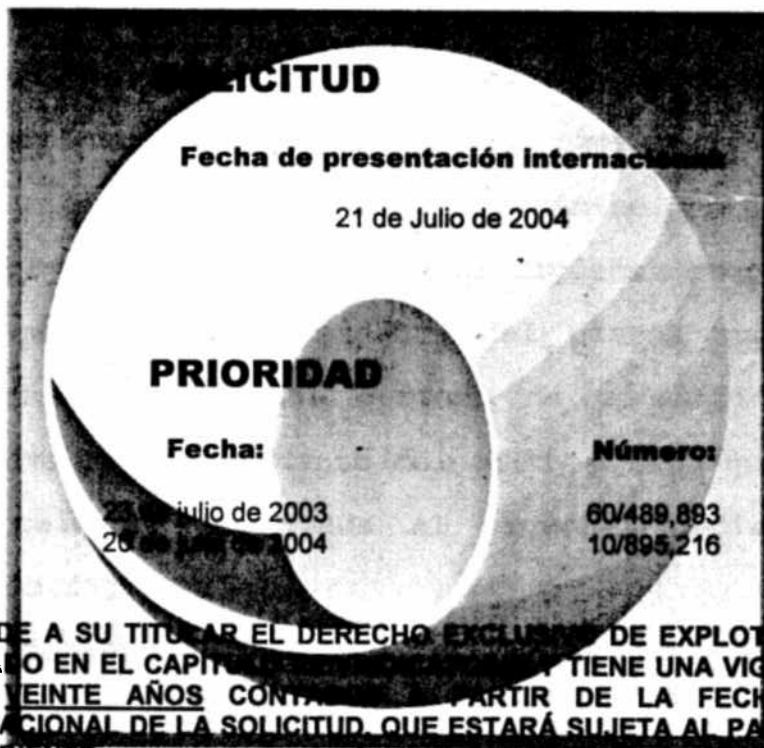




TÍTULO DE PATENTE NO. 267427

Titular(es): SCUDERI GROUP, LLC
Domicilio(s): 1111 Elm Street, Suite 4, West Springfield, Massachusetts, 01089, E.U.A.
Denominación: MOTOR DE CICLO DIVIDIDO CON MOVIMIENTO DE PISTON DE REPOSO.
Clasificación: Int.CI.8: F02B33/22; F02B75/02; F02B75/34
Inventor(es): SALVATORE C. SCUDERI; DAVID P. BRANYON



ESTA PATENTE CONCEDE A SU TITULAR EL DERECHO EXCLUSIVO DE EXPLOTACIÓN DEL INVENTO RECLAMADO EN EL CAPÍTULO I DE LA LEY DE PATENTES Y TIENE UNA VIGENCIA IMPRORRÓGABLE DE VEINTE AÑOS CONTADOS A PARTIR DE LA FECHA DE PRESENTACIÓN INTERNACIONAL DE LA SOLICITUD, QUE ESTARÁ SUJETA AL PAGO DE LA TARIFA CORRESPONDIENTE.

Fecha de expedición: 12 de junio de 2009

EL DIRECTOR DIVISIONAL DE PATENTES


QUÍM. FABIAN R. SALAZAR GARCÍA



MOTOR DE CICLO DIVIDIDO CON MOVIMIENTO DE PISTÓN DE REPOSO

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a motores de combustión interna. Más específicamente, la presente
5 invención se refiere a un motor de ciclo dividido que tiene un par de pistones en el cuál un pistón se utiliza para las carreras de admisión y compresión y el otro pistón se utiliza para las carreras de expansión (o potencia) y de escape, con cada una de las cuatro carreras siendo completada en una
10 revolución del cigüeñal. Un varillaje mecánico que conecta operativamente el pistón de expansión al cigüeñal proporciona un período de movimiento descendente del pistón mucho más lento durante una porción del período de combustión, con relación al movimiento descendente del mismo pistón que tiene
15 una biela pivotalmente conectada al cigüeñal mediante la conexión de muñón fijo.

Los motores de combustión interna son cualquiera de un grupo de dispositivos en el cual los reactivos de la combustión, por ejemplo, oxidante y combustible, y los
20 productos de la combustión funcionan como los fluidos de trabajo del motor. Los componentes básicos de un motor de combustión interna se conocen bien en la técnica e incluyen el bloque de motor, la cabeza de cilindro, los cilindros, los pistones, las válvulas, el cigüeñal y el árbol de levas. Las
25 cabezas de cilindro, los cilindros y las puntas de los

pistones típicamente forman las cámaras de combustión dentro de las cuales el combustible y oxidante (por ejemplo, aire) se introducen y tiene lugar la combustión. Tal motor gana su energía del calor liberado durante la combustión de los fluidos de trabajo que no han reaccionado, por ejemplo, la mezcla de oxidante-combustible. Este proceso ocurre dentro del motor y es parte del ciclo termodinámico del dispositivo. En todos los motores de combustión interna, el trabajo útil se genera a partir de productos gaseosos, calientes de la combustión que actúan directamente sobre las superficies en movimiento del motor, tal como la punta o corona de un pistón. Generalmente, el movimiento oscilante de los pistones se transfiere al movimiento giratorio de un cigüeñal mediante las bielas.

Los motores de combustión interna (IC) pueden categorizarse en motores de ignición por chispa (SI) e ignición por compresión (CI). Los motores de SI, es decir, los motores de gasolina típicos, utilizan una chispa para encender la mezcla de aire/combustible, mientras el calor de la compresión enciende la mezcla de aire/combustible en los motores de CI, es decir, típicamente motores a diesel.

El motor de combustión interna más común es el motor de ciclo de cuatro carreras, un concepto cuyo diseño básico no ha cambiado por más de 100 años. Esto es debido a su simplicidad y rendimiento excelente como máquina motriz en

el transporte terrestre y otras industrias. En un motor de ciclo de cuatro carreras, la energía se recupera del proceso de combustión en cuatro movimientos (carreras) separados del pistón de un solo pistón. Por consiguiente, un motor de ciclo
5 de cuatro carreras se define en la presente por ser un motor que requiere cuatro carreras completas de uno de más pistones para cada carrera de expansión (o potencia), es decir, para cada carrera que suministra energía a un cigüeñal.

Con referencia a las Figuras 1-4, una modalidad
10 ejemplar de un motor de combustión interna de ciclo de cuatro carreras convencional de la técnica anterior se muestra en 10. El motor 10 incluye un bloque 12 de motor que tiene el cilindro 14 extendiéndose a través del mismo. El cilindro 14 se dimensiona para recibir el pistón 16 oscilante dentro del
15 mismo. Fijada a la parte superior del cilindro 14 se encuentra la cabeza 18 de cilindro, que incluye una válvula 20 de entrada y una válvula 22 de salida. La parte inferior de la cabeza 18 de cilindro, el cilindro 14 y la punta (o corona 24) del pistón 16 forman una cámara 26 de combustión.
20 En la carrera de entrada (Figura 1), una mezcla de aire/combustible se introduce dentro de la cámara 26 de combustión a través de un pasaje 28 de admisión y la válvula 20 de entrada, en donde la mezcla se enciende mediante una bujía 30. Los productos de la combustión se expulsan
25 posteriormente a través de la válvula 22 de salida y el

pasaje 32 de salida en la carrera de escape (Figura 4). Una biela 34 se fija pivotalmente en su extremo 36 distante superior al pistón 16. Un cigüeñal 38 incluye una porción de desplazamiento mecánico llamada cigüeña 40 del cigüeñal, la cual se fija pivotalmente al extremo 42 distante inferior de la biela 34. La unión mecánica de la biela 34 al pistón 16 y la cigüeña 40 de cigüeñal sirve para convertir el movimiento oscilante (como se indica por la flecha 44) del pistón 16 al movimiento giratorio (como se indica por la flecha 46) del cigüeñal 38. El cigüeñal 38 se enlaza mecánicamente (no mostrado) a un árbol de levas 48 de entrada y un árbol de levas 50 de salida, los cuales controlan precisamente la abertura y cierre de la válvula 20 de entrada y la válvula 22 de salida respectivamente. El cilindro 14 tiene una línea central 52 (eje del pistón-cilindro), la cual también es la línea central de oscilación del pistón 16. El cigüeñal 38 tiene un centro de rotación 54 (eje de cigüeñal).

Con referencia a la Figura 1, con la válvula 20 de entrada abierta, el pistón 16 primero desciende (como se indica por la dirección de la flecha 44) en la carrera de admisión. Una masa predeterminada de una mezcla de combustible flamable (por ejemplo, vapor de gasolina) y aire se succiona dentro de la cámara 26 de combustión mediante el vacío parcial de este modo creado. El pistón continúa descendiendo hasta que alcanza su centro muerto inferior

(BDC), es decir, el punto en el cual el pistón está más lejos de la cabeza 18 de cilindro.

Con referencia a la Figura 2, tanto con las válvulas cerradas de entrada 20 y de salida 22, la mezcla se comprime a medida que el pistón 16 asciende (como lo indica la dirección de la flecha 44) en la carrera de compresión. A medida que el final de la carrera alcanza el centro muerto superior (TDC), es decir, el punto en el cual el pistón 16 está más cerca de la cabeza 18 de cilindro, el volumen de la mezcla se comprime en esta modalidad a un octavo de su volumen inicial (debido a una Relación de Compresión de 8 a 1). A medida que el pistón alcanza el TDC, una chispa eléctrica se genera a través del entrehierro de la bujía (30), que inicia la combustión.

Con referencia a la Figura 3, la carrera de potencia sigue con ambas válvulas 20 y 22 aún cerradas. El pistón 16 se mueve (como se indica por la flecha 44) hacia el centro muerto inferior (BDC), debido a la expansión de los gases de combustión que presionan sobre la corona 24 del pistón 16. El comienzo de la combustión en el motor convencional generalmente ocurre ligeramente antes de que el pistón 16 alcance el TDC para poder mejorar la eficiencia. Cuando el pistón 16 alcanza el TDC, existe un volumen de huelgo significativo entre la parte inferior de la cabeza 18 de cilindro y la corona 24 del pistón 16.

Con referencia a la Figura 4, durante la carrera de escape, el pistón 16 ascendente fuerza los productos consumidos de la combustión a través de la válvula 22 de salida abierta (o de escape). El ciclo entonces se repite.

5 Para este motor 10 de ciclo de cuatro carreras de la técnica anterior, cuatro carreras de cada pistón 16, es decir, entrada, compresión, expansión y escape, y dos revoluciones del cigüeñal 38 se requieren para completar un ciclo, es decir, para proporcionar una carrera de potencia.

10 Problemáticamente, la eficiencia termodinámica total del motor 10 de cuatro carreras típico es sólo de aproximadamente un tercio ($1/3$). Es decir, aproximadamente $1/3$ de la energía del combustible se suministra al cigüeñal como trabajo útil, $1/3$ se pierde en calor de desperdicio, y
15 $1/3$ se pierde fuera del escape.

Con referencia a la Figura 5, una alternativa al motor de cuatro carreras convencional antes descrito es un motor de cuatro carreras de ciclo dividido. El motor de ciclo dividido se describe generalmente en la Patente
20 Norteamericana No. 6,543,225 para Scuderi, titulada Motor de Combustión Interna de Cuatro Carreras Dividido, presentada el 20 de julio de 2001 la cual se incorpora en la presente para referencia en su totalidad.

Una modalidad ejemplar del concepto de motor de
25 ciclo dividido se muestra generalmente en 70. El motor 70 de

ciclo dividido reemplaza dos cilindros adyacentes de un motor de cuatro carreras convencional con una combinación de un cilindro 72 de compresión y un cilindro 74 de expansión. Estos dos cilindros 72, 74 realizan sus funciones respectivas una vez por revolución del cigüeñal 76. La carga de admisión se succiona dentro del cilindro 72 de compresión a través de las válvulas 78 típicas de tipo resorte. El pistón 73 de cilindro de compresión presuriza la carga y acciona la carga a través del pasaje 80 de cruzamiento, el cual actúa como la lumbrera de admisión para el cilindro 74 de expansión. Una válvula 82 de retención en la entrada se utiliza para evitar el flujo inverso del pasaje 80 de cruzamiento. La o las válvulas 84, en la salida del pasaje 80 de cruzamiento, controlan el flujo de la carga de admisión presurizada dentro del cilindro 74 de expansión. La bujía 86 se enciende poco después de que la carga de admisión entra en el cilindro 74 de expansión, y la combustión resultante baja el pistón 75 de cilindro de expansión. Los gases de escape se bombean fuera del cilindro de expansión a través de las válvulas 88 de resorte.

Con el concepto de motor de ciclo dividido, los parámetros de motor geométricos (es decir, diámetro interno, carrera, longitud de la biela, relación de compresión, etc.) de los cilindros de compresión y de expansión generalmente son independientes entre sí. Por ejemplo, las cigüeñas 90, 92

del cigüeñal para cada cilindro pueden tener diferentes radios y se sincronizan separadas una de la otra con el centro muerto superior (TDC) del pistón 75 de cilindro de expansión que ocurre antes del TDC del pistón 73 de cilindro de compresión. Esta independencia permite que el motor de ciclo dividido logre potencialmente niveles de eficiencia más altos que los motores de cuatro carreras más típicos previamente descritos en la presente.

Sin embargo, existen muchos parámetros geométricos y combinaciones de parámetros, en el motor de ciclo dividido. Por lo tanto, optimización adicional de estos parámetros es necesaria para maximizar el rendimiento y eficiencia del motor.

La presente invención ofrece ventajas y alternativas sobre la técnica anterior al proporcionar un motor de ciclo dividido con un varillaje mecánico que conecta operativamente un pistón de expansión a un cigüeñal para proporcionar un período de movimiento descendente de pistón mucho más lento, o de reposo, con relación al movimiento descendente del mismo pistón que tiene una biela conectada pivotalmente al cigüeñal mediante la conexión de muñón fijo. Este movimiento de reposo resulta en presión pico más alta del cilindro de expansión durante la combustión sin incrementar la relación de expansión del cilindro de expansión o la presión pico del cilindro de compresión. Por

consiguiente, el motor de ciclo dividido de modelo de reposo se espera proporcione ganancias de eficiencia térmica mejoradas.

Estas y otras ventajas se logran en una modalidad
5 ejemplar de la invención al proporcionar un motor, el cual incluye un cigüeñal que tiene una cigüeña de cigüeñal, el cigüeñal girando sobre un eje de cigüeñal. Un pistón de compresión se recibe deslizadamente dentro de un cilindro de compresión y se conecta operativamente al cigüeñal de manera
10 que el pistón de compresión oscila a través de una carrera de admisión y una carrera de compresión de un ciclo de cuatro carreras durante una sola rotación del cigüeñal. Un pistón de expansión se recibe deslizadamente dentro de un cilindro de expansión. Una biela se conecta pivotalmente al pistón de
15 expansión. Un varillaje mecánico conecta rotativamente la cigüeña del cigüeñal a la biela sobre un eje de biela/cigüeña del cigüeñal de manera que el pistón de expansión oscila a través de una carrera de expansión y una carrera de escape del ciclo de cuatro carreras durante la misma rotación
20 del cigüeñal. Se establece una trayectoria mediante el varillaje mecánico a la cual el eje de biela/cigüeña del cigüeñal viaja alrededor del eje de cigüeñal. La distancia entre el eje de biela/cigüeña del cigüeñal y el eje de cigüeñal en cualquier punto en la trayectoria define un radio
25 de cigüeña del cigüeñal efectivo. La trayectoria incluye una

primera región de transición desde un primer radio de cigüeña del cigüeñal efectivo hasta un segundo radio de cigüeña del cigüeñal efectivo a través del cual el eje de cigüeña del cigüeñal/biela pasa durante por lo menos una porción de un
5 evento de combustión en el cilindro de expansión.

En una modalidad ejemplar alternativa de la invención, la trayectoria comienza un número predeterminado de grados CA pasando el centro muerto superior, y el primer radio de cigüeña del cigüeñal efectivo es menor que el
10 segundo radio de cigüeña del cigüeñal efectivo.

Otra modalidad ejemplar alternativa de la invención proporciona un motor, el cual incluye un cigüeñal que tiene una cigüeña del cigüeñal, la cigüeña del cigüeñal tiene una ranura dispuesta en la misma, el cigüeñal gira
15 sobre un eje de cigüeñal. Un pistón de compresión se recibe deslizablemente dentro de un cilindro de compresión y se conecta operativamente al cigüeñal de manera que el pistón de compresión oscila a través de una carrera de admisión y una carrera de compresión de
20 un ciclo de cuatro carreras durante una sola rotación del cigüeñal. Un pistón de expansión se recibe deslizablemente dentro de un cilindro de expansión. Una biela se conecta pivotalmente al pistón de expansión. Un muñón de cigüeñal conecta rotativamente la cigüeña del
25 cigüeñal a la biela sobre un eje de biela/cigüeña del

cigüeñal para permitir que el pistón de expansión oscile a través de una carrera de expansión y una carrera de escape del ciclo de cuatro carreras durante la misma rotación del cigüeñal. El muñón de cigüeñal se captura deslizadamente por la ranura en la cigüeña del cigüeñal para permitir el movimiento radial del muñón de cigüeñal con relación al cigüeñal. Una plantilla se une a una porción estacionaria del motor. La plantilla incluye una guía de muñón de cigüeñal en la cual se extiende el muñón de cigüeñal. La guía de muñón de cigüeñal captura en forma móvil el cigüeñal de manera que el eje de biela/cigüeña del cigüeñal se guía a través de una trayectoria sobre el eje de cigüeñal.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un motor de combustión interna de cuatro carreras convencional de la técnica anterior durante la carrera de admisión;

la Figura 2 es un diagrama esquemático del motor de la técnica anterior de la Figura 1 durante la carrera de compresión;

la Figura 3 es un diagrama esquemático del motor de la técnica anterior de la Figura 1 durante la carrera de expansión;

la Figura 4 es un diagrama esquemático del motor de la técnica anterior de la Figura 1 durante la carrera de

escape;

la Figura 5 es un diagrama esquemático de un motor de combustión interna de cuatro carreras de ciclo dividido de la técnica anterior;

5 la Figura 6A es un diagrama esquemático de una modalidad ejemplar de un motor de combustión interna de cuatro carreras de ciclo dividido de modelo de línea base acuerdo con la presente invención durante la carrera de admisión;

10 la Figura 6B es un diagrama esquemático de una modalidad ejemplar de un motor de combustión interna de cuatro carreras de ciclo dividido de modelo de reposo de acuerdo con la presente invención durante la carrera de admisión;

15 la Figura 7A es una vista expandida frontal del varillaje de biela/cigüeña del cigüeñal del pistón de expansión para el cigüeñal en el motor de modelo de reposo de la Figura 6B;

20 la Figura 7B es una vista expandida lateral del varillaje de biela/cigüeña del cigüeñal del pistón de expansión para el cigüeñal en el motor de modelo de reposo de la Figura 6B;

25 la Figura 8 es un diagrama esquemático del motor de ciclo dividido de modelo de reposo de la Figura 6B durante la compresión parcial de la carrera de compresión;

la Figura 9 es un diagrama esquemático del motor de ciclo dividido de modelo de reposo de la Figura 6B durante la compresión completa de la carrera de compresión;

la Figura 10 es un diagrama esquemático del motor de ciclo dividido de modelo de reposo de la Figura 6B durante el inicio del evento de combustión;

la Figura 11 es un diagrama esquemático del motor de ciclo dividido de modelo de reposo de la Figura 6B durante la carrera de expansión;

la Figura 12 es un diagrama esquemático del motor de ciclo dividido de modelo de reposo de la Figura 6B durante la carrera de escape;

la Figura 13 es un diagrama esquemático del movimiento del muñón de cigüeñal del motor de modelo de reposo de la Figura 6B;

la Figura 14 es un gráfica del movimiento del muñón de cigüeñal del motor de modelo de línea base de la Figura 6A y el motor de modelo de reposo de la Figura 6B;

la Figura 15 es una gráfica del movimiento del pistón de expansión del motor de modelo de línea base de la Figura 6A y el motor de modelo de reposo de la Figura 6B;

la Figura 16 es una gráfica de la velocidad del pistón de expansión del motor de modelo de línea base de la Figura 6A y el motor de modelo de reposo de la Figura 6B;

la Figura 17A es un diagrama de Presión versus

Volumen del motor de modelo de línea base de la Figura 6A;

la Figura 17B es un diagrama de Presión versus Volumen del motor de modelo de reposo de la Figura 6B; y

la Figura 18 es una gráfica del ángulo de presión
5 versus el cigüeñal del cilindro de expansión del motor de modelo de línea base de la Figura 6A y el motor de modelo de reposo de la Figura 6B.

I. Revisión

El Grupo Scuderi comisionó al Southwest Research
10 Institute ® (SwRI ®) de San Antonio, Texas para realizar un par de estudios computarizados. El primer estudio involucró construir un modelo computarizado que representara varias modalidades de un motor de ciclo dividido, el cual se comparó con un modelo computarizado de un motor de combustión interna
15 convencional que tiene la misma masa atrapada por ciclo. El reporte final del primer estudio (SwRI® Proyecto No. 03.05932, fechado el 24 de julio de 2003, titulado "Evaluación del Concepto de Motor de Cuatro Carreras de Ciclo Dividido") se incorpora en la presente para referencia en su
20 totalidad. El primer estudio resultó en la solicitud de la patente norteamericana no. de serie 10/864748, presentada el 9 de junio de 2004, titulada Motor de Cuadro Carreras de Ciclo Dividido para Branyon et al.; la cual también se incorpora en la presente para referencia. El primer estudio
25 identificó parámetros específicos (por ejemplo, relación de

compresión, relación de expansión, duración de la válvula de cruzamiento, ángulo de fase, y solapamiento entre el evento de válvula de cruzamiento y el evento de combustión), que cuando se aplica en la configuración apropiada, tiene una influencia importante sobre la eficiencia del motor de ciclo dividido.

El segundo estudio computarizado comparó un modelo del motor de ciclo dividido con parámetros optimizados por el primer estudio, es decir, el modelo de línea base, para un motor de ciclo dividido que tiene los mismos parámetros optimizados más un movimiento de pistón único, es decir, el modelo de reposo. Este modelo de reposo se pretendió para representar un movimiento simplificado que se puede obtener por dispositivos mecánicos tales como aquéllos representados en esta patente. El modelo de reposo mostró ganancias de eficiencia térmica indicadas de 4.4 por ciento sobre el modelo de línea base. (Los efectos de fricción no se consideraron en este estudio). El reporte final del segundo estudio (SwRI® Proyecto No. 03.05932, fechado el 11 de julio de 2003, titulado "Evaluación del Movimiento de Pistón de Reposo Para el Concepto de Motor de Cuatro carreras de Ciclo Dividido, Fase 801") se incorpora en la presente para referencia en su totalidad y forma la base de la presente invención.

(En este reporte, las ganancias de eficiencia

establecidas en términos de "por ciento" (ó %) indican un tipo de valor de porcentaje delta, o cambio en la eficiencia dividida por la eficiencia original. Las ganancias de eficiencia establecidas en términos de "puntos de porcentaje" (o "puntos") representan cambios actuales en la eficiencia 5 térmica por esa cantidad, o simplemente el cambio en la eficiencia térmica de una configuración a otra. Para una eficiencia térmica base de 30%, un incremento en 33% de la eficiencia térmica puede ser 3 puntos o 10% de incremento).

10 La diferencia termodinámica básica entre el modelo de línea base y el modelo de reposo está en el movimiento del pistón, el cual ya no se confina en un movimiento de un mecanismo de corredera-cigüeñal. Este movimiento se pretendió para representar aquel que puede lograrse mediante varillajes 15 entre la biela y la cigüeña del cigüeñal del pistón de expansión. En el modelo de línea base, el movimiento representa una cigüeña del cigüeñal que se conecta pivotalmente a la biela (es decir, el varillaje de biela/cigüeña del cigüeñal) mediante el muñón de cigüeñal 20 fijo estándar, en dónde el radio de la cigüeña del cigüeñal (es decir, la distancia entre el eje de biela/cigüeña del cigüeñal y el eje de cigüeñal) es sustancialmente constante. El movimiento del modelo de reposo requiere una conexión diferente entre la biela y la cigüeña del cigüeñal para 25 obtener el perfil de movimiento único. En otras palabras, el

muñón de cigüeñal puede reemplazarse por un varillaje mecánico, que permite que el radio de cigüeña del cigüeñal efectivo haga transición de un primer radio más pequeño a un segundo radio más grande después de que la cigüeña del
5 cigüeñal gira un número predeterminado de grados de ángulo de cigüeñal pasando el centro muerto superior (TDC). El movimiento del pistón en el modelo de reposo proporciona un período de movimiento descendente del pistón de expansión mucho más lento durante una porción de un período de
10 combustión (es decir, el evento de combustión), con relación al movimiento descendente del pistón de expansión en el modelo de línea base.

Al bajar el movimiento del pistón, se le da más tiempo a la presión del cilindro para acumularse durante el
15 evento de combustión. Esto produce una presión pico del cilindro de potencia más alta sin incrementar la relación de expansión del cilindro de potencia o la presión pico del cilindro de compresión. Por consiguiente, la eficiencia térmica general del motor de ciclo dividido de modelo de
20 reposo se incrementa significativamente, por ejemplo, aproximadamente 4%.

II. Glosario

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

Relación de Aire/Combustible: proporción de aire a combustible en la carga de admisión.

Centro Muerto Inferior (BDC): la posición más lejos del pistón desde la cabeza de cilindro, dando como resultado el
5 volumen de la cámara de combustión más grande del ciclo.

Ángulo de Cigüeñal (CA): el ángulo de rotación de la cigüeña del cigüeñal, típicamente referido como su posición cuando se alinea con el diámetro de cilindro.

Muñón de Cigüeñal (o Chumacera de Biela): La parte del
10 cigüeñal que orbita la línea central del cigüeñal sobre la cual la parte inferior de la biela se une. En el modelo de reposo, ésta puede ser realmente una parte de la biela en lugar del cigüeñal.

Chumacera del cigüeñal: es la parte de un cigüeñal giratorio
15 que gira en un cojinete.

Cigüeña del cigüeñal-Modelo de Línea Base: Las almas y muñón de cigüeñal del cigüeñal, el muñón de cigüeñal que soporta el extremo inferior de la biela.

Cigüeña del Cigüeñal (o Almas de Cigüeñal)-modelo de reposo:
20 En el modelo de reposo, puesto que las almas y el muñón de cigüeñal son piezas separadas, las referencias en la presente a la cigüeña del cigüeñal indican las almas.

Duración de la Combustión: definida para este texto como el
25 intervalo de ángulo de cigüeñal entre los puntos de 10% y 90% del inicio del evento de combustión.

Evento de Combustión: el proceso de la combustión del combustible, típicamente en la cámara de expansión de un motor.

Relación de Compresión: relación del volumen de cilindro de compresión en BDC con aquel en TDC

Cierre de Válvula de Cruzamiento (XVC)

Apertura de Válvula de Cruzamiento (XVO)

Desplazamiento de Cilindro: es la distancia lineal entre la línea central del diámetro y el eje de cigüeñal.

Volumen de Desplazamiento: se define como el volumen que el pistón desplaza de BDC a TDC. Matemáticamente, si la carrera es definida como la distancia de BDC a TDC, entonces el volumen de desplazamiento es igual a $\pi/4 \cdot \text{diámetro interno}^2 \cdot \text{carrera}$.

Radio de la Cigüeña del cigüeñal Efectivo: la distancia instantánea entre el eje de rotación de la cigüeña del cigüeñal (el eje de biela/cigüeña del cigüeñal) y el eje de árbol de cigüeñal. En el motor 100 de modelo de línea base, el radio de cigüeña del cigüeñal efectivo para el pistón de expansión sustancialmente es constante, en el motor de modelo de reposo, el radio de cigüeña del cigüeñal efectivo es variable para el pistón de expansión.

Cierre de Válvula de Escape (EVC)

Apertura de Válvula de Escape (EVO)

Relación de expansión: es el término equivalente a la

Relación de Compresión, pero para el cilindro de expansión. Es la relación del volumen de cilindro en BDC al volumen de cilindro en TDC.

Potencia Indicada: la salida de potencia como distribuida a la parte superior del pistón, antes de que se expliquen las pérdidas de fricción.

Presión Efectiva de la Media Indicada (IMEP): la integración del área dentro de la curva de P-dV, que también es igual al par de fuerzas del motor indicado dividido por el volumen de desplazamiento. De hecho, todo el par de fuerzas indicado y los valores de potencia son derivados de este parámetro. Este valor también representa el nivel de presión constante a través de la carrera de expansión que puede proporcionar la misma salida del motor como la curva de presión actual. Puede especificarse como neto indicado (NIMEP) o grueso indicado (GIMEP) aunque cuando no se especifica totalmente, NIMEP se asume.

Eficacia Térmica Indicada (ITE): relación de la salida de potencia indicada con la velocidad de entrada de energía de combustible.

Par de Fuerzas Indicado: la salida de par de fuerzas como se distribuye a la parte superior del pistón, antes de que se expliquen las pérdidas de fricción.

Cierre de Válvula de Admisión (IVC)

25 Apertura de Válvula de Admisión (IVO)

Presión de Cilindro Pico (PCP): la presión máxima lograda dentro de la cámara de combustión durante el ciclo de motor.

Encendido por Chispa (SI): se refiere a un motor en el cual el evento de combustión se inicia por una chispa eléctrica
5 dentro de la cámara de combustión.

Centro Muerto Superior (TDC): la posición más cercana a la cabeza de cilindro que el pistón alcanza a través del ciclo, proporcionando el volumen de la cámara de combustión más bajo.

10 Fase de TDC (también referida en la presente como el ángulo de fase entre los cilindros de compresión y de expansión (véase elemento 172 de la Figura 6)): es el desplazamiento rotacional, en grados, entre la cigüeña del cigüeñal para los dos cilindros. Un desplazamiento de cero grados puede
15 significar que las cigüeñas de cigüeñal eran co-lineales, mientras un desplazamiento de 180° puede significar que estaban en lados opuestos del cigüeñal (es decir, un muñón en la parte superior mientras el otro estaba en la parte inferior).

20 Duración de Válvula (o Duración de Evento de Válvula): el intervalo de ángulo de cigüeñal entre una apertura de válvula y un cierre de válvula.

Evento de Válvula: el proceso para abrir y cerrar una válvula para realizar una tarea.

25 III. Modalidades Del Motor De Ciclo Dividido De Modelo De

Reposo Que Resulta Del Segundo Estudio Computarizado

Con referencia a las Figuras 6A y B, modalidades ejemplares de motores de ciclo dividido de modelo de línea base y de modelo de reposo de acuerdo con la presente
5 invención se muestran generalmente en 100 y 101 respectivamente. Ambos motores 100 y 101 incluyen un bloque 102 de motor que tiene un cilindro 104 de expansión (o de potencia) y un cilindro 106 de compresión que se extiende a través del mismo. Un cigüeñal 108 se conecta pivotalmente
10 para rotación sobre un eje 110 de cigüeñal (que se extiende en perpendicular al plano del papel).

El bloque 102 de motor es el miembro estructural principal de los motores 100 y 101 y se extiende hacia arriba desde el cigüeñal 108 hasta la unión con una cabeza 112 de
15 cilindro. El bloque 102 de motor sirve como la infraestructura estructural de los motores 100 y 101, y típicamente lleva el cojinete de montaje mediante el cual los motores se soportan en el chasis (no mostrado). El bloque 102 de motor generalmente es una pieza fundida con superficies
20 maquinadas apropiadas y orificios roscados para unir la cabeza 112 de cilindro y otras unidades de los motores 100 y 101.

Los cilindros 104 y 106 son aberturas de sección transversal generalmente circular, que se extienden a través
25 de la porción superior del bloque 102 de motor. El diámetro

de los cilindros 104 y 106 se conoce como el diámetro interno. Las paredes internas de los cilindros 104 y 106 se perforan y rectifican para formar superficies de soporte precisas, lisas dimensionadas para recibir un primer pistón 5 114 de expansión (o de potencia), y un segundo pistón 116 de compresión respectivamente.

El pistón 114 de expansión oscila a lo largo de un primer eje 113 de cilindro de pistón de expansión, y el pistón 116 de compresión oscila a lo largo de un segundo eje 10 115 de cilindro de pistón de compresión. En estas modalidades, los cilindros 104 y 106 de expansión y compresión se desplazan con relación al eje 110 de cigüeñal. Es decir, el primer y segundo ejes 113 y 115 de cilindro de pistón pasan en lados opuestos del eje 110 de cigüeñal sin 15 entrecruzar el eje 110 de cigüeñal. Sin embargo, alguien de experiencia en la técnica reconocerá que los motores de ciclo dividido sin eje de cilindro-pistón de desplazamiento también están dentro del alcance de esta invención.

Los pistones 114 y 116 son piezas de fundición 20 cilíndricas típicamente o forjaduras de hierro, acero o aleación de aluminio. Los extremos cerrados superiores, es decir, las puntas, de los pistones 114 y 116 de potencia y compresión son la primera y segunda corona 118 y 120 respectivamente. Las superficies exteriores de los pistones 25 114, 116 generalmente se maquinan para ajustarse al diámetro

del cilindro estrechamente y se ranura típicamente para recibir anillos de pistón (no mostrados) que sellan el entrehierro entre los pistones y las paredes del cilindro.

La cabeza 112 de cilindro incluye un pasaje 122 de cruzamiento de gas que interconecta los cilindros 104 y 106 de expansión y compresión. El pasaje de cruzamiento incluye una válvula 124 de retención de entrada dispuesta en una porción extrema del pasaje 122 de cruzamiento próximo al cilindro 106 de compresión. Una válvula 126 de cruzamiento de salida de tipo resorte también se dispone en una porción extrema opuesta del pasaje 122 de cruzamiento próximo a la parte superior del cilindro 104 de expansión. La válvula 124 de retención y la válvula 126 de cruzamiento definen una cámara 128 de presión entre las mismas. La válvula 124 de retención permite el flujo de una vía de gas comprimido desde el cilindro 106 de compresión hasta la cámara 128 de presión. La válvula 126 de cruzamiento permite el flujo de gas comprimido desde la cámara 128 de presión hasta el cilindro 104 de expansión. Aunque las válvulas de tipo retención y de resorte se describen como las válvulas 124 y 126 de retención de entrada y de cruzamiento de salida respectivamente, cualquier diseño de válvula apropiado para la aplicación puede utilizarse de hecho, por ejemplo, la válvula 124 de entrada también puede ser del tipo de resorte.

La cabeza 112 de cilindro también incluye una

válvula 130 de admisión de tipo de resorte dispuesta sobre la parte superior del cilindro 106 de compresión, y una válvula 132 de escape de tipo de resorte dispuesta sobre la parte superior del cilindro 104 de expansión. Las válvulas 126, 130
5 y 132 de resorte típicamente tienen un eje 134 de metal (o vástago) con un disco 136 en un extremo ajustado para bloquear la apertura de la válvula. El otro extremo de los ejes 134 de las válvulas 130, 126 y 132 de resorte se enlaza mecánicamente a los árboles de levas 138, 140 y 142
10 respectivamente. Los árboles de levas 138, 140 y 142 típicamente son una barra redonda con lóbulos en forma generalmente ovalada localizados dentro del bloque 102 de motor, o en la cabeza 112 de cilindro.

Los árboles de levas 138, 140 y 142 se conectan
15 mecánicamente al cigüeñal 108, típicamente a través de una rueda de engranaje, banda o eslabones de cadena (no mostrados). Cuando el cigüeñal 108 obliga a girar a los árboles de levas 138, 140 y 142, los lóbulos en los árboles de levas 138, 140 y 142 provocan que las válvulas 130, 126 y
20 132 se abran y cierren en momentos precisos en el ciclo del motor.

La corona 120 del pistón 116 de compresión, las paredes del cilindro 106 de compresión y la cabeza 112 de cilindro forman una cámara 144 de compresión para el cilindro
25 106 de compresión. La corona 118 del pistón 114 de expansión,

las paredes del cilindro 104 de expansión y la cabeza 112 de cilindro forman una cámara 146 de combustión separada para el cilindro 104 de expansión. Una bujía 148 se dispone en la cabeza 112 de cilindro sobre el cilindro 104 de expansión y se controla por un dispositivo de control (no mostrado), que cronometra precisamente el encendido de la mezcla de aire-gas comprimida en la cámara 146 de combustión.

La construcción del motor 100 de modelo de línea base y el motor 101 de modelo de reposo difieren termodinámicamente en el movimiento del pistón de expansión. Este movimiento se pretendió para representar lo que puede lograrse mediante varillajes entre la biela y la cigüeña del cigüeñal del pistón de expansión tal como se discute en la presente. Por consiguiente, los varillajes de biela/cigüeña del cigüeñal para cada motor 100 y 101 se discutirán separadamente.

Con referencia a la Figura 6A, el motor 100 de ciclo dividido de modelo de línea base incluye primera y segunda bielas 150 y 152 de compresión y de expansión, las cuales se unen pivotalmente a sus extremos superiores mediante los muñones 154 y 156 de pistón a los pistones 114 y 116 de potencia y compresión respectivamente. El cigüeñal 108 incluye un par de porciones mecánicamente desplazadas llamadas primera y segunda cigüeñas 158 y 160 de cigüeñal de expansión y compresión, los cuales se unen pivotalmente a los

extremos opuestos inferiores de las bielas 150, 152 mediante los muñones 162 y 164 de cigüeñal respectivamente. Los varillajes mecánicos de las bielas 150 y 152 de los pistones 114, 116 y las cigüeñas 158, 160 de cigüeñal sirven para
5 convertir el movimiento oscilante de los pistones (como se indica por la flecha 166 direccional para el pistón 114 de expansión, y la flecha 168 direccional para el pistón 116 de compresión) al movimiento rotativo (como se indica por la flecha 170 direccional) del cigüeñal 108.

10 Es importante observar que, contrario al motor 101 de modelo de reposo, el radio de cigüeña del cigüeñal para el pistón 116 de compresión y el pistón 114 de expansión en el motor 100 de modelo de línea base, es decir, la distancia de centro a centro entre los muñones 162, 164 de cigüeñal y el
15 eje 110 de cigüeñal, permanece sustancialmente constante. Por consiguiente, la trayectoria a la que los muñones 162 y 164 de cigüeñal viajan alrededor del eje 110 de cigüeñal en el motor 100 de línea base es sustancialmente circular.

Con referencia a la Figura 6B, el varillaje de
20 biela/cigüeña del cigüeñal del pistón 116 de compresión en el cigüeñal 108 en el motor 101 de ciclo dividido de modelo de reposo es idéntico a aquel del motor 100 de línea base. Por consiguiente, los números de referencia permanecen iguales para los elementos similares en los dos motores 100 y 101. Es
25 decir, el motor 101 de reposo incluye una biela 152 de

compresión, la cual se une pivotalmente en su extremo superior mediante el muñón 156 de pistón de compresión al pistón 116 de compresión. El cigüeñal 108 tiene una cigüeña 160 de cigüeñal de compresión, la cual se une pivotalmente al extremo contrario inferior de la biela 152 de compresión mediante el muñón 164 de cigüeñal de compresión. Por consiguiente, la trayectoria a la cual el muñón 164 de cigüeñal viaja alrededor del eje 110 de cigüeñal en el motor 101 de reposo es sustancialmente circular.

Con referencia a las Figuras 7A y B, vistas frontal y lateral expandidas del varillaje de biela/cigüeña del cigüeñal del pistón 114 de expansión para el cigüeñal 108 en el motor 101 de modelo de reposo se muestra generalmente en 200. El varillaje 200 incluye un par opuesto de chumaceras 202 de cigüeñal principales, que comprenden una sección del cigüeñal 108, ambas chumaceras principales de cigüeñal se alinean con el eje (o línea central) 110 de cigüeñal. Unidos a los extremos internos de cada una de las chumaceras 202 principales se encuentran las cigüeñas (o secciones de alma) 206 de cigüeñal, que son uniones tipo placa generalmente oblongas que sobresalen radialmente de las chumaceras 202 principales. Una chumacera (o muñón de cigüeñal) 210 de biela se captura deslizadamente entre un par de ranuras 212 radiales dispuestas dentro de las almas (o cigüeñas) 206 de cigüeñal de manera que el muñón 210 de cigüeñal se orienta en

paralelo a las chumaceras 202, 204 principales, pero se desplaza radialmente del eje 110 de cigüeñal. Las ranuras 212 se dimensionan para permitir el movimiento radial del muñón 210 de cigüeñal con relación al eje 110 de cigüeñal.

5 Una biela 214 de expansión se une pivotalmente en su extremo superior mediante el muñón 216 de pistón de expansión al pistón 114 de expansión. El extremo opuesto inferior (o extremo grande) de la biela 214 de expansión se monta pivotalmente al muñón 210 de cigüeñal.

10 Alternativamente, el muñón 210 de cigüeñal y la biela 214 de expansión pueden unirse integralmente como una sola pieza.

 En contraste distinto al motor 100 de línea base, cuando el cigüeñal 108 gira, el muñón 210 de cigüeñal del motor 101 de modelo de reposo es libre de moverse a lo largo

15 de la ranura 212 radial en las cigüeñas 206 de cigüeñal y al hacerlo así, es capaz de cambiar el radio de cigüeña del cigüeñal efectivo (indicado por la flecha 218 de doble cabeza) del muñón 210 de cigüeñal del eje 110 de cigüeñal. El radio 218 de cigüeña del cigüeñal efectivo en esta modalidad

20 es la distancia instantánea entre el eje de rotación 110 del cigüeñal y la posición del centro 220 de muñón de cigüeñal. En el motor 100 de modelo de línea base, el radio de cigüeña del cigüeñal efectivo para el pistón 114 de expansión sustancialmente es constante, en el motor 101 de modelo de

25 reposo, el radio 218 de cigüeña del cigüeñal efectivo es

variable para el pistón 114 de expansión.

Aunque el radio 218 de cigüeña del cigüeñal efectivo se hace disponible mediante la ranura 212 en la cigüeña 206 de cigüeñal, alguien con experiencia en la
5 técnica puede reconocer que otros medios pueden utilizarse para variar el radio 218. Por ejemplo, una ranura radial puede disponerse en la biela 214, mientras el muñón 210 de cigüeñal puede unirse fijamente a la cigüeña 206 de cigüeñal.

La posición del muñón 210 de cigüeñal en la ranura
10 212 se controla por un par de plantillas 222, las cuales se fijan a la estructura de motor estacionaria (no mostrada) del motor 101. Las plantillas 222 generalmente son placas circulares, las cuales están justo afuera axialmente de las cigüeñas 206 de cigüeñal. Las plantillas 222 se orientan como
15 planos generalmente radiales con respecto al cigüeñal 108, e incluyen un orificio en la parte media lo suficientemente grande para despejar el cigüeñal 108 y el hardware asociado (no mostrado).

Una guía 224 de muñón de cigüeñal para guiar el
20 muñón 210 de cigüeñal se dispone en las plantillas 222, y el muñón 210 de cigüeñal sobresale a través de las cigüeñas 206 de cigüeñal en las plantillas 222. Las guías 224 definen una trayectoria predeterminada (indicada mediante la flecha 226), la cual el muñón 210 de cigüeñal debe seguir conforme se
25 revuelve sobre el eje 110 de cigüeñal.

Como se explicará en mayor detalle en la presente (véase sub-sección VI. "Concepto de Movimiento de Pistón de Reposo"), el varillaje 200 mecánico proporciona un período de movimiento descendente de pistón de expansión mucho más lento o "de reposo", cuando se compara con el pistón de expansión en el motor 100 de ciclo dividido de modelo de línea base, durante un período de combustión. Este movimiento de descanso resulta en presión pico de cilindro más alta sin incrementar la relación de expansión del cilindro de expansión o la presión pico del cilindro de compresión. Por consiguiente, el motor 101 de modelo de reposo demostró ganancias de eficiencia térmica de aproximadamente 4% sobre aquella del motor 100 de modelo de línea base.

IV. Operación Básica del Motor de Línea Base y de Reposo

Excepto para el varillaje 200 de biela/cigüeña del cigüeñal del pistón 114 de expansión, la operación del motor 100 de modelo de línea base y el motor 101 de modelo de reposo sustancialmente es la misma. Por consiguiente, la operación de ambos motores 100 y 101 se ilustrará con referencia al motor 101 de modelo de reposo solamente.

La Figura 6B ilustra el pistón 114 de expansión cuando ha alcanzado su posición de centro muerto inferior (BDC) y acaba de comenzar a ascender (como se indica por la flecha 166) en su carrera de escape. El pistón 116 de compresión está descendiendo (flecha 168) a través de su

carrera de admisión y está retardando el pistón 114 de expansión.

Durante la operación, el pistón 114 de expansión va al pistón 116 de compresión mediante un ángulo 172 de fase, 5 definido por los grados de la rotación del ángulo de cigüeñal (CA), el cigüeñal 108 debe girar después de que el pistón 114 de expansión ha alcanzado su posición de centro muerto superior para que el pistón 116 de compresión alcance su posición de centro muerto superior respectiva. Como se 10 determina en el primer estudio computarizado (véase subsección I. "Revisión"), para poder mantener niveles de eficiencia térmica ventajosos, el ángulo 172 de fase típicamente se establece en aproximadamente 20 grados. Además, el ángulo de fase de preferencia es menor que o igual 15 a 50 grados, de mayor preferencia menor que o igual a 30 grados y aún de mayor preferencia menor que o igual a 25 grados.

La válvula 130 de entrada se abre para permitir un volumen predeterminado de mezcla de combustible y aire para 20 extraerse en la cámara 144 de compresión y para atraparse en la misma (es decir, la masa atrapada como se indica por los puntos en la Figura 6B). La válvula 132 de escape también se abre permitiendo que el pistón 114 fuerce los productos consumidos de la combustión fuera de la cámara 146 de 25 combustión.

La válvula 124 de retención y la válvula 126 de cruzamiento del pasaje 122 de cruzamiento se cierran para evitar la transferencia de combustible inflamable y productos de combustión consumidos entre las dos cámaras 144 y 146. Adicionalmente durante las carreras de escape y de admisión, la válvula 124 de retención y la válvula 126 de cruzamiento sellan la cámara 128 de presión para mantener sustancialmente la presión de cualquier gas atrapado en la misma de las carreras de compresión y de potencia previos.

Con referencia a la Figura 8, la compresión parcial de la masa atrapada está en progreso. Es decir, la válvula 130 de entrada se cierra y el pistón 116 de compresión está ascendiendo (flecha 168) hacia su posición de centro muerto superior (TDC) para comprimir la mezcla de aire/combustible. Simultáneamente, la válvula 132 de escape se abre y el pistón 114 de expansión también está ascendiendo (flecha 166) para expulsar los productos de combustible consumidos.

Con referencia a la Figura 9, la masa atrapada (puntos) se comprime adicionalmente y está comenzando a entrar al pasaje 122 de cruzamiento a través de la válvula 124 de retención. El pistón 114 de expansión ha alcanzado su posición de centro muerto superior (TDC) y está a punto de descender hacia su carrera de expansión (indicado por la flecha 166), mientras el pistón 116 de compresión aún está ascendiendo a través de su carrera de compresión (indicado

por la flecha 168). En este punto, la válvula 124 de retención se abre parcialmente. La válvula 126 de salida de cruzamiento, la válvula 130 de admisión y la válvula 132 de escape todas se cierran.

5 La relación del volumen de cilindro de expansión (es decir, la cámara 146 de combustión) cuando el pistón 114 está en BDC con el volumen de cilindro de expansión cuando el pistón está en TDC se define en la presente como la Relación de Expansión. Como se determina en el primer estudio
10 computarizado (referido en la sub-sección I, titulada "Revisión") para poder mantener los niveles de eficiencia ventajosos, la Relación de Expansión típicamente se establece en aproximadamente 120 a 1. Además, la Relación de Expansión de preferencia es igual a o mayor que 20 a 1, de mayor
15 preferencia igual a o mayor que 40 a 1, y aún de mayor preferencia igual a o mayor que 80 a 1.

 Con referencia a la Figura 10, el inicio de la combustión de la masa atrapada (sección punteada) se ilustra. El cigüeñal 108 ha girado un número predeterminado adicional
20 de grados pasando la posición de TDC del pistón 114 de expansión para alcanzar su posición de disparo. En este punto, la bujía 148 se enciende y se inicia la combustión. El pistón 116 de compresión está a punto de completar su carrera de compresión y está cerca de su posición de TDC. Durante
25 esta rotación, el gas comprimido dentro del cilindro 116 de

compresión alcanza una presión de umbral que obliga a la válvula 124 de retención a abrirse completamente, mientras la leva 140 se sincroniza también para abrir la válvula 126 de cruzamiento. Por lo tanto, cuando el pistón 114 de expansión
5 desciende y el pistón 116 de compresión asciende, una masa sustancialmente igual de gas comprimido se transfiere desde la cámara de compresión 144 del cilindro 106 de compresión hasta la cámara de combustión 146 del cilindro 104 de expansión.

10 Es ventajoso que la duración de válvula de la válvula 126 de cruzamiento, es decir, el intervalo de ángulo de cigüeñal (CA) entre la apertura de la válvula de cruzamiento (XVO) y el cierre de la válvula de cruzamiento (XVC), sea muy pequeño comparado con la duración de válvula de
15 la válvula 130 de admisión y la válvula 132 de escape. Una duración de válvula típica para las válvulas 130 y 132 típicamente está en exceso de 160 grados CA. Como se determina en el primer estudio computarizado, para poder mantener los niveles de eficiencia ventajosos, la duración de la válvula de
20 cruzamiento típicamente se establece en aproximadamente 25 grados CA. Además, la duración de la válvula de cruzamiento de preferencia es igual a o menor que 69 grados CA, de mayor preferencia igual a o menor que 50 grados CA, y aún de mayor preferencia igual a o menor que 35 grados CA.

25 Adicionalmente, como también se determina en el

primer estudio computarizado, si la duración de la válvula de de cruzamiento y el solapamiento de la duración de combustión por un porcentaje mínimo predeterminado de la duración de combustión, entonces la duración de combustión se disminuye sustancialmente (es decir, la proporción de combustión de la masa atrapada se incrementa sustancialmente). Específicamente, la válvula 150 de cruzamiento debe permanecer abierta de preferencia durante al menos 5% del evento de combustión total (es decir, desde el punto de 0% hasta el punto de 100% de combustión) antes del cierre de la válvula de cruzamiento, de mayor preferencia durante el 10% del evento de combustión total, y aún de mayor preferencia durante el 15% del evento de combustión total. Entre más carrera la válvula 126 de cruzamiento pueda permanecer abierta durante la carrera en que la mezcla de aire/combustible está en combustión (es decir, el evento de combustión), mayor será el incremento en la proporción de combustión y los niveles de eficiencia serán, asumiendo que otras precauciones se han tomado como se observa en el primer estudio computarizado con respecto a evitar la propagación de la llama en el pasaje de cruzamiento y/o la pérdida de masa del cilindro de expansión nuevamente en el pasaje de cruzamiento debido a una elevación importante de presión en el cilindro de expansión antes del cierre de la válvula de cruzamiento.

La relación del volumen de cilindro de compresión (es decir, la cámara 144 de compresión) cuando el pistón 116 está en BDC al volumen de cilindro de compresión cuando el pistón está en TDC se define en la presente como la Relación de Compresión. Nuevamente, como se determina en el primer estudio computarizado, para poder mantener niveles de eficiencia ventajosos, la Relación de Compresión típicamente se establece en aproximadamente 100 a 1. Además, la Relación de Compresión de preferencia es igual a o mayor que 20 a 1, de mayor preferencia igual a o mayor que 40 a 1, y aún de mayor preferencia igual a o mayor que 80 a 1.

Con referencia a la Figura 11, la carrera de expansión en la masa atrapada se ilustra. Cuando se hace combustión la mezcla de aire/combustible, los gases calientes bajan el pistón 114 de expansión. Simultáneamente, el proceso de admisión ha comenzado en el cilindro de compresión.

Con referencia a la Figura 12, la carrera de escape en la masa atrapada se ilustra. Cuando el cilindro de expansión alcanza BDC y comienza a ascender nuevamente, los gases de combustión se expulsan fuera de la válvula 132 abierta para comenzar otro ciclo.

Aunque las modalidades anteriores muestran los pistones 114 y 116 de expansión y de compresión conectados directamente al cigüeñal 108 a través de las bielas 214 y 150 respectivamente, está dentro del alcance de esta invención

que otros medios también pueden emplearse para conectar operativamente los pistones 114 y 116 al cigüeñal 108. Por ejemplo, un segundo cigüeñal puede utilizarse para enlazar mecánicamente los pistones 114 y 116 al primer cigüeñal 108.

5 Aunque esta modalidad describe un motor de ignición por chispa (SI), alguien de experiencia en la técnica puede reconocer que motores de ignición por compresión (CI) también están dentro del alcance de este tipo de motor. Adicionalmente, alguien con experiencia en la técnica puede
10 reconocer que un motor de ciclo dividido de acuerdo con la presente invención puede utilizarse para funcionar en una variedad de combustibles diferentes a la gasolina, por ejemplo, diesel, hidrógeno y gas natural.

V. Parámetros del Motor de Ciclo Dividido de Reposo y de
15 Línea Base Utilizados En El Segundo Estudio Computarizado

El primer y segundo estudios computarizados se realizaron utilizando un paquete de software comercialmente disponible llamado GT-Power, propiedad de Gamma Technologies, Inc., de Westmont, IL. GT-Power es un disolvente de fluidos
20 computacional 1-d que se utiliza comúnmente en la industria para llevar a cabo simulaciones de motor.

El propósito principal del segundo estudio computarizado fue evaluar los efectos de una moción (o movimiento) de "reposo" del pistón de expansión único sobre el
25 rendimiento del motor 101 de ciclo dividido de modelo de reposo

como comparado con el motor 100 de ciclo dividido de modelo de línea base sin el movimiento de reposo. El movimiento de reposo, en las modalidades ejemplares en la presente, se produce por el varillaje 200 mecánico, el cual se agrega al
5 ensamblaje de biela/cigüeñal del cilindro 114 de expansión, es decir, el varillaje de la biela/cigüeña del cigüeñal. El varillaje 200 mecánico proporciona un período de movimiento descendente del pistón de expansión mucho más lento "de reposo", cuando se compara con el pistón de expansión en el
10 motor 100 de ciclo dividido de modelo de línea base, durante un período de combustión. Utilizando un perfil de movimiento de pistón único pretendido para representar el movimiento que tal mecanismo puede proporcionar resultó en presión pico de cilindro más alta sin incrementar la relación de expansión del
15 cilindro de expansión o la presión pico del cilindro de compresión, así como niveles de eficiencia térmica más altos.

Para poder asegurar una comparación válida entre los modelos 100 y 101 de línea base y de reposo, tuvo que tenerse cuidado en la selección de parámetros para ambos
20 motores. La Tabla 1 muestra los parámetros de compresión utilizados para la comparación del motor 100, 101 de línea base y de reposo (nótese que no se hicieron cambios al cilindro de compresión para el concepto de reposo). La Tabla 2 muestra los parámetros utilizados para el cilindro de
25 expansión en el motor 100 de línea base. Véase Tabla 4 para

los parámetros utilizados en el cilindro de expansión del motor 101 de modelo de reposo.

Tabla 1. Parámetros de Motor de Línea Base y de Reposo de Ciclo Dividido (Cilindro de Compresión)

| | Parámetro | Valor |
|----|------------------------------|----------------------------------------|
| 5 | Diámetro interno | 4.410 pulgadas (112.0 mm) |
| | Carrera | 4.023 pulgadas (102.2 mm) |
| | Longitud de Biela | 9.6 pulgadas (243.8 mm) |
| | Radio de Cigüeña de Cigüeñal | 2.000 pulgadas (50.8 mm) |
| 10 | Volumen de Desplazamiento | 61.447 pulgadas ³ (1.007 L) |
| | Volumen de Huelgo | 0.621 pulgadas ³ (0.010 L) |
| | Relación de Compresión | 100:1 |
| | Desplazamiento de Cilindro | 1.00 pulgada (25.4 mm) |
| | Fase de TDC | 20 grados CA |
| 15 | Velocidad de Motor | 1400 rpm |

Tabla 2. Parámetros de Motor de Línea Base de Ciclo Dividido (Cilindro de Expansión)

| | Parámetro | Valor |
|----|------------------------------|----------------------------------------|
| | Diámetro interno | 4.000 pulgadas (101.6 mm) |
| 20 | Carrera | 5.557 pulgadas (141.1 mm) |
| | Longitud de Biela | 9.25 pulgadas (235.0 mm) |
| | Radio de Cigüeña de Cigüeñal | 2.75 pulgadas (69.85 mm) |
| | Volumen de Desplazamiento | 69.831 pulgadas ³ (1.144 L) |
| | Volumen de Huelgo | 0.587 pulgadas ³ (0.010 L) |
| 25 | Relación de Expansión | 120: 1 |
| | Desplazamiento de Cilindro | 1.15 pulgadas (29.2 mm) |
| | Relación Aire:Combustible | 18: 1 |

La Tabla 3 resume los eventos de válvula y los parámetros de combustión, referidos en TDC del pistón de expansión, con la excepción de los eventos de válvula de admisión, que se refieren en TDC del pistón de compresión. Estos parámetros se utilizaron para ambos motores 100 y 101 de modelo de línea base y modelo de reposo.

Tabla 3 Parámetros de Desgasificación y Reposo del Motor de Línea Base y de Reposo de Ciclo Dividido

| | Parámetro | Valor |
|----|------------------------------------------------|---------------------------|
| 10 | Apertura de Válvula de Admisión (IVO) | 2 grados ATDC |
| | Cierre de Válvula de Admisión (IVC) | 170 grados ATDC |
| | Elevación Pico de Válvula de Admisión | 0.412 pulgadas (10.47 mm) |
| | Apertura de Válvula de Escape (EVO) | 134.2 grados ATDC |
| | Cierre de Válvula de Escape (EVC) | 2 grados BTDC |
| 15 | Elevación Pico de Válvula de Escape | 0.362 pulgadas (9.18 mm) |
| | Apertura de Válvula de Cruzamiento (XVO) | 5 grados BTDC |
| | Cierre de Válvula de Cruzamiento (XVC) | 22 grados ATDC |
| | Elevación Pico de Válvula de Cruzamiento | 0.089 pulgadas (2.27 mm) |
| | Punto de Combustión 50% (Evento de Combustión) | 32 grados ATDC |
| 20 | Duración de Combustión (10-90%) | 22 grados CA |

VI. Concepto de Movimiento del Pistón de Reposo

Con referencia a la Figura 13, una vista en despiece de la trayectoria 226 tomada por el muñón 210 de cigüeñal sobre el eje 110 de cigüeñal se ilustra. La trayectoria 226 se

define por la guía 224 de muñón de cigüeñal del varillaje 200 mecánico, que guía el muñón 210 de cigüeñal (mejor visto en las Figuras 7A y B) del motor 101 de modelo de reposo.

La trayectoria 226 incluye una primera región 228 de transición, la cual mueve el muñón 210 de cigüeñal desde un círculo 230 interior, que tiene un primer radio 232 de cigüeña del cigüeñal efectivo interior, hasta un círculo 234 exterior, que tiene un segundo radio 236 de cigüeña del cigüeñal efectivo exterior. La región 228 de transición comienza un número predeterminado de grados CA después del centro muerto superior, y ocurre durante por lo menos una porción del evento de combustión y durante la carrera descendente del pistón 114 de expansión. La trayectoria 226 entonces permanece en el ciclo 234 exterior por el resto de la carrera descendente y la mayor parte de la carrera ascendente del pistón 114 de expansión. La trayectoria 226 entonces incluye una segunda región 238 de transición, la cual mueve el muñón 210 de cigüeñal desde el círculo 234 exterior hasta el círculo 230 interior cerca del final de la carrera ascendente del pistón 114 de expansión. El movimiento del muñón 210 de cigüeñal del pistón de expansión del motor 101 de modelo de reposo básico para el segundo estudio computarizado se estableció como sigue:

1. Desde TDC del pistón hasta 24 grados CA después de TDC, el muñón 210 de cigüeñal puede estar en el círculo

230 interior.

2. Desde 24 grados CA después de TDC hasta 54 grados después de TDC, el muñón 210 de cigüeñal puede viajar a través de la primera región 228 de transición linealmente
5 contra el ángulo de cigüeñal desde el radio 232 de cigüeña del cigüeñal efectivo interior hasta el radio 236 de cigüeña del cigüeñal efectivo exterior.

3. Desde 54 grados CA después de TDC a través del resto de la carrera descendente y la mayor parte de la
10 carrera ascendente hasta 54 grados antes de TDC, el muñón 210 de cigüeñal puede permanecer en el círculo 234 exterior.

4. Desde 54 grados CA antes de TDC hasta 24 grados antes de TDC, el muñón 210 de cigüeñal puede viajar a través de la segunda región 238 de transición linealmente contra el
15 ángulo de cigüeñal desde el radio 236 de cigüeña del cigüeñal efectivo exterior hasta el radio 232 de cigüeña del cigüeñal efectivo interior.

5. Desde 24 grados CA antes de TDC hasta 24 grados CA después de TDC, el muñón de cigüeñal 210 puede permanecer
20 en el círculo 230 interior.

Aunque la trayectoria 226 antes descrita se utilizó en el segundo estudio computarizado, alguien de experiencia en la técnica puede reconocer que varios varillajes de biela/cigüeña del cigüeñal para varios motores de ciclo
25 dividido pueden diseñarse para proporcionar cualquier número

de otras trayectorias conformadas y movimientos de pistón de expansión de reposo.

Para mantener la misma carrera y las posiciones del pistón relativas como el motor 100 de línea base mientras sigue la trayectoria 226, el radio 232 de cigüeña del cigüeñal efectivo interior se disminuyó de la línea base de 2.75 pulgadas (69.85 mm) (como se muestra en la Tabla 2) hasta 2.50 pulgadas (63.50 mm), y el radio 236 de cigüeña del cigüeñal efectivo exterior se incrementó de 2.75 pulgadas (69.85 mm) hasta 3.00 pulgadas (76.20 mm). Adicionalmente, la longitud de la biela se incrementó de 9.25 pulgadas (235.0 mm) (Tabla 2) hasta 9.50 pulgadas (241.3 mm). La Tabla 4 resume los parámetros utilizados para el cilindro 104 de expansión en el motor 101 de reposo.

Tabla 4 Parámetros de Motor de Reposo de Ciclo Dividido
(Cilindro de Expansión)

15

| Parámetro | Valor |
|---------------------------------------|----------------------------------------|
| Diámetro interno | 4.000 pulgadas (101.6 mm) |
| Carrera | 5.557 pulgadas (141.1 mm) |
| Longitud de Biela | 9.50 pulgadas (235.0 mm) |
| Radio de Cigüeña de Cigüeñal Interior | 2.50 pulgadas (63.5 mm) |
| Radio de Cigüeña de Cigüeñal Exterior | 3.00 pulgadas (76.2 mm) |
| Volumen de Desplazamiento | 69.831 pulgadas ³ (1.144 L) |
| Volumen de Huelgo | 0.587 pulgadas ³ (0.010 L) |
| Relación de Expansión | 120:1 |
| Desplazamiento de Cilindro | 1.15 pulgadas (29.2 mm) |
| Relación Aire : Combustible | 18:1 |

25

Con referencia a la Figura 14, el movimiento del muñón 210 de cigüeñal de pistón de expansión resultante del motor 101 de reposo cuando se compara con el movimiento del muñón de cigüeñal del motor 100 de línea base se ilustra. La gráfica 240 representa el movimiento del muñón de cigüeñal de motor de reposo, y la gráfica 242 representa el movimiento del muñón de cigüeñal de motor de línea base.

Con referencia a la Figura 15, el movimiento del pistón de expansión resultante del motor 101 de reposo como comparado con el movimiento del pistón de expansión del motor de línea base se ilustra. La gráfica 244 representa el movimiento del pistón de expansión de motor de reposo, y la gráfica 246 representa el movimiento del pistón de expansión de motor de línea base.

Con referencia a la Figura 16, la velocidad del pistón de expansión resultante del motor 101 de reposo como comparado con la velocidad del pistón de expansión del motor de línea base se ilustra. La gráfica 248 representa la velocidad del pistón de expansión de motor de reposo, y la gráfica 250 representa la velocidad del pistón de expansión de motor de línea base.

Al comparar las gráficas 248 y 250, puede observarse que tanto el pistón de expansión modelo de línea base (pistón de línea base) como el pistón de expansión de

modelo de reposo (pistón de reposo) están viajando esencialmente a la velocidad cero (0) en los puntos 251 de TDC y el punto 252 de BDC. Ambos pistones de línea base y de reposo viajan descendentemente (el signo negativo representa la velocidad descendente y el signo positivo representa la velocidad ascendente) en aproximadamente la misma velocidad inicialmente de TDC. Sin embargo, cuando el pistón de reposo inicialmente entra en la primera sección de transición de la gráfica 253 de reposo (aproximadamente 24 grados ATDC), la velocidad descendente del pistón de reposo desacelera rápidamente como se indica por la porción 254 casi vertical de la primera sección 253 de transición de la gráfica de reposo. Esto es debido a que el movimiento descendente del pistón de reposo sustancialmente se desciende cuando el muñón 210 de cigüeñal de reposo comienza a moverse radialmente a lo largo de las ranuras 212 de cigüeña del cigüeñal desde el radio 232 de cigüeña del cigüeñal efectivo interior hasta el radio 236 de cigüeña del cigüeñal efectivo interior. Además, durante toda la región 253 de transición, la velocidad descendente del pistón de reposo sustancialmente es más lenta que aquella del pistón de línea base.

Puesto que la primera sección 253 de transición se sincroniza para coincidir con por lo menos una porción del evento de combustión, el movimiento descendente más lento

del pistón de reposo durante la primera sección 253 de transición proporciona más tiempo para que la combustión se propague y para que se acumule la presión con relación al incremento en el volumen de la cámara de combustión. Como
5 resultado, se alcanzan presiones pico del cilindro de expansión más altas, y la presión del cilindro de expansión se mantiene durante un período más largo de tiempo, en el motor 101 de modelo de reposo que en el motor 100 de línea base. Por consiguiente, el motor 101 de modelo de reposo
10 experimenta una ganancia importante en la eficiencia sobre el motor 100 de línea base, por ejemplo, aproximadamente 4%.

Al final de la primera sección 253 de transición (aproximadamente 54 grados ATDC), el muñón 210 de cigüeñal ha
15 alcanzado el extremo radial exterior de las ranuras 212, y la transición desde el radio 232 de cigüeña del cigüeñal efectivo interior hasta el radio 236 de cigüeña del cigüeñal efectivo exterior esencialmente está completa. En este punto, el pistón de reposo experimenta una aceleración rápida (como
20 se indica por la línea 255 casi vertical), donde su velocidad descendente se alcanza rápidamente y excede el pistón de línea base.

La velocidad del pistón de reposo esencialmente permanecerá más grande que la velocidad del pistón de línea
25 base para esa porción de la trayectoria 226 del muñón de

cigüeñal, que tiene el radio 236 de cigüeña del cigüeñal efectivo exterior. Sin embargo, cuando el pistón de reposo inicialmente entra en la segunda sección de transición de la gráfica 256 de reposo (aproximadamente 24 grados BTDC), la
5 velocidad ascendente del pistón de reposo desacelera rápidamente menos que la velocidad del pistón de línea base como se indica por la porción 257 casi vertical de la segunda sección 256 de transición. Esto es debido a que el movimiento ascendente del pistón de reposo baja sustancialmente cuando
10 el muñón 210 de cigüeñal de reposo comienza a moverse radialmente a lo largo de las ranuras 212 de cigüeña del cigüeñal desde el radio 236 de cigüeña del cigüeñal efectivo exterior hasta el radio 234 de cigüeña del cigüeñal efectivo interior.

15 Al final de la segunda sección 256 de transición (aproximadamente 54 grados BTDC), el muñón 210 de cigüeñal ha alcanzado el extremo radial interior de las ranuras 212, y la transición desde el radio 236 de cigüeña del cigüeñal efectivo exterior hasta el radio 232 de cigüeña del cigüeñal
20 efectivo interior esencialmente está completa. En este punto, el pistón de reposo nuevamente experimenta una aceleración rápida (como se indica por la línea 258 casi vertical), de donde su velocidad ascendente casi se alcanza en el pistón de línea base. Las velocidades ascendentes del pistón de reposo
25 y de línea base entonces bajan a cero conforme alcanzan TDC

para comenzar el ciclo nuevamente.

VII. Sumario De Los Resultados

Al bajar el movimiento del pistón, se da más tiempo a la presión del cilindro para acumularse durante el evento de combustión con relación al incremento en el volumen de la cámara de combustión. Esto produce presión pico de cilindro de expansión más altas sin incrementar la relación de expansión del cilindro de expansión o la presión pico del cilindro de compresión. Por consiguiente, la eficiencia térmica general del motor 101 de ciclo dividido de modelo de reposo se incrementa significativamente, por ejemplo, aproximadamente 4% sobre el motor 100 de ciclo dividido de línea base.

La Tabla 6 resume los resultados de las corridas de rendimiento del motor 100 de modelo de línea base y el motor 101 de modelo de reposo. La eficiencia térmica indicada (ITE) del motor 101 de modelo de reposo se pronostica para incrementar por 1.7 puntos sobre el motor 100 de línea base. Es decir, el motor 100 de línea base tuvo una ITE pronosticada de 38.8% cuando se compara con una ITE pronosticada de 40.5% para el motor 101 de modelo de reposo. Esto representa un incremento pronosticado de 4.4% (es decir, $1.7 \text{ puntos} / 38.8\% * 100 = 4.4\%$) sobre el motor de modelo de línea base.

Tabla 5. Sumario del Rendimiento del Motor de Línea Base y de Reposo Pronosticado

| | Parámetro | de Línea Base | de Reposo |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------|
| 5 | Par de Fuerzas Indicado (ft-lb.) [kg-m] | 94.0 [12.99] | 96.6 [13.35] |
| | Potencia Indicada (hp) [Joules/seg]. | 25.1 [18,714.12] | 25.8 [19,239.11] |
| | IMEP Neto (psi) [kg/cm ²] | 54.4 [3.82] | 55.5 [3.90] |
| 10 | ITE (puntos) | 38.8 | 40.5 |
| | Presión de Cilindro Pico, Cilindro de Compresión (psi) [kg/cm ²] | 897 [63.065] | 940 [66.089] |
| | Presión de Cilindro Pico, Cilindro de Expansión (psi) [kg/cm ²] | 868 [61.026] | 915 [64.331] |
| 15 | | | |

Con referencia a las Figuras 17 A y B, los cambios en la presión del cilindro versus volumen creado por el movimiento del pistón de reposo versus movimiento del pistón de línea base se ilustra. Las gráficas 262 y 264 de la Figura 17A representan la compresión de línea base y el movimiento de pistón de expansión respectivamente. Las gráficas 266 y 268 de la Figura 17B representan la compresión de reposo y el movimiento del pistón de expansión respectivamente. Nótese que las curvas de compresión de línea base (gráfica 262) y la

compresión de reposo (gráfica 266) sustancialmente son iguales.

Con referencia a la Figura 18, la presión de cilindro de expansión versus ángulo del cigüeñal para el motor 100 de modelo de línea base y el motor 101 de modelo de reposo se ilustran en las gráficas 270 y 272 respectivamente. Como las gráficas 270 y 272 indican, el motor 101 de modelo de reposo fue capaz de obtener presiones pico de cilindro de expansión más altas, y mantener esas presiones sobre un margen de ángulo de cigüeñal más grande, que el motor 100 de modelo de línea base. Esto contribuyó a las ganancias de eficiencia pronosticadas del motor de modelo de reposo.

Nótese que las gráficas 270 y 272 se toman con una proporción de combustión más rápida (o velocidad de llama) que las pruebas previas. Es decir, las gráficas 270 y 272 se esquematizaron utilizando una duración de combustión de 16 grados CA, mientras los cálculos y gráficas del rendimiento previo del segundo estudio computarizado utilizaron una duración de combustión CA de 22 grados. Esto se hizo debido a que el motor de ciclo dividido se pronostica que es capaz potencialmente de obtener estas velocidades de llama más rápidas. Además, no hubo nada que indicara que los resultados comparativos entre el motor 100 de modelo de línea base y el motor 101 de modelo de reposo serían algo menos válido en las velocidades de llama más rápidas.

Mientras varias modalidades se muestran y describen en la presente, varias modificaciones y sustituciones pueden hacerse a la misma sin apartarse del espíritu y alcance de la invención. Por consiguiente, se entenderá que la presente
5 invención se ha descrito por medio de la ilustración y no de limitación.

REIVINDICACIONES

1. Un motor caracterizado porque comprende:

un cigüeñal que tiene una cigüeña del cigüeñal, el cigüeñal gira sobre un eje de cigüeñal;

5 un pistón de compresión recibido deslizablemente dentro de un cilindro de compresión y conectado operativamente al cigüeñal de manera que el pistón de compresión oscila a través de una carrera de admisión y una carrera de compresión de un ciclo de cuatro carreras durante
10 una sola rotación del cigüeñal;

un pistón de expansión recibido deslizablemente dentro de un cilindro de expansión;

una biela de conexión conectada pivotalmente al pistón de expansión;

15 un varillaje mecánico que conecta rotacionalmente la cigüeña del cigüeñal a la biela de conexión sobre un eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal de manera que el pistón de expansión oscila a través de una carrera de expansión y una carrera de escape del ciclo de cuatro
20 carreras durante la misma rotación del cigüeñal; y

una trayectoria no circular establecida por el varillaje mecánico cuyo eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal viaja alrededor del eje de cigüeñal, la distancia entre el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal y el
25 eje de cigüeñal en cualquier punto en la trayectoria define

un radio de cigüeña del cigüeñal efectivo, la trayectoria incluye una primera región de transición desde un primer radio de cigüeña del cigüeñal efectivo hasta un segundo radio de cigüeña del cigüeñal efectivo a través del cual el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal pasa durante por lo menos una porción de un evento de combustión en el cilindro de expansión.

2. El motor de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque la velocidad del pistón de expansión disminuye la velocidad cuando el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal está viajando a través de por lo menos una porción de la primera región de transición.

3. El motor de conformidad con la reivindicación 2, caracterizado porque la velocidad del pistón de expansión disminuye la velocidad cuando el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal inicialmente entra en la primera región de transición y acelera cuando el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal sale de la primera región de transición.

4. El motor de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el primer radio de cigüeña del cigüeñal efectivo es menor que el segundo radio de cigüeña del cigüeñal efectivo.

5. El motor de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque la primera región de transición empieza

un número predeterminado de grados de ángulo de cigüeñal CA pasando el centro muerto superior.

6. El motor de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque la trayectoria incluye una segunda
5 región de transición del segundo radio de cigüeña del cigüeñal efectivo al primer radio de cigüeña del cigüeñal efectivo.

7. El motor de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el varillaje mecánico comprende:

10 un muñón de cigüeñal unido a la biela de conexión, el muñón del cigüeñal tiene el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal como una línea central del mismo; y

una ranura dispuesta en la cigüeña del cigüeñal que
15 captura deslizablemente el muñón de cigüeñal, la ranura se dimensiona para permitir el movimiento radial del muñón de cigüeñal en relación con el eje de cigüeñal.

8. El motor de conformidad con la reivindicación 7, caracterizado porque el varillaje mecánico comprende:

20 una plantilla unida a una porción estacionaria del motor, la plantilla incluye una guía de muñón de cigüeñal en la cual se extiende el muñón de cigüeñal, la guía de muñón de cigüeñal captura el muñón de cigüeñal en forma móvil de manera que el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal
25 se guía a través de la trayectoria.

9. El motor de conformidad con la reivindicación 8, caracterizado porque el varillaje mecánico comprende:

un par de cigüeñas de cigüeñal se extienden de un par opuesto de chumaceras de cigüeñal del cigüeñal, cada
5 cigüeña del cigüeñal tiene una ranura dispuesta en la misma;
y

el muñón de cigüeñal se captura deslizadamente por las ranuras de manera que el muñón del cigüeñal se orienta en paralelo a, pero desplazado del cigüeñal.

10 **10.** El motor de conformidad con la reivindicación 9, caracterizado porque el varillaje mecánico comprende;

un par opuesto de plantillas, cada una con una guía de muñón de cigüeñal para capturar en forma móvil el muñón del cigüeñal y para guiar el eje de biela de conexión/cigüeña
15 del cigüeñal a través de la trayectoria.

11. Un motor caracterizado porque comprende:

un cigüeñal que tiene una cigüeña del cigüeñal, el cigüeñal gira sobre un eje de cigüeñal;

un pistón de compresión recibido deslizadamente
20 dentro de un cilindro de compresión y conectado operativamente al cigüeñal de manera que el pistón de compresión oscila a través de una carrera de admisión y una carrera de compresión de un ciclo de cuatro carreras durante una sola rotación del cigüeñal;

25 un pistón de expansión recibido deslizadamente

dentro de un cilindro de expansión;

una biela de conexión conectada pivotalmente al pistón de expansión;

un varillaje mecánico que conecta rotacionalmente
5 la cigüeña del cigüeñal a la biela de conexión sobre un eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal de manera que el pistón de expansión oscila a través de una carrera de expansión y una carrera de escape del ciclo de cuatro carreras durante la misma rotación del cigüeñal; y

10 una trayectoria no circular establecida por el varillaje mecánico cuyo eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal viaja alrededor del eje de cigüeñal, la distancia entre el eje de biela de conexión/cigüeña de cigüeñal y el eje de cigüeñal en cualquier punto en la trayectoria define
15 un radio de cigüeña del cigüeñal efectivo, la trayectoria incluye una primera región de transición que comienza a un número predeterminado de grados CA pasando el centro muerto superior, la primera región de transición que hace transición desde un primer radio de cigüeña del cigüeñal efectivo hasta
20 un segundo radio de cigüeña del cigüeñal efectivo más grande a través del cual el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal pasa durante por lo menos una porción de un evento de combustión en el cilindro de expansión.

12. El motor de conformidad con la reivindicación
25 11, caracterizado porque la velocidad del pistón de expansión

disminuye la velocidad cuando el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal está viajando a través de por lo menos una porción de la primera región de transición.

13. El motor de conformidad con la reivindicación 5 11, caracterizado porque la velocidad del pistón de expansión disminuye la velocidad cuando el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal inicialmente entra en la primera región de transición y acelera cuando el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal sale de la primera región de 10 transición.

14. El motor de conformidad con la reivindicación 11, caracterizado porque la trayectoria incluye una segunda región de transición desde el segundo radio de cigüeña del cigüeñal efectivo hasta el primer radio de cigüeña del 15 cigüeñal efectivo.

15. El motor de conformidad con la reivindicación 11, caracterizado porque el varillaje mecánico comprende:

un muñón de cigüeñal unido a la biela de conexión, el muñón de cigüeñal tiene el eje de biela de 20 conexión/cigüeña del cigüeñal como una línea central del mismo;

una ranura dispuesta en la cigüeña del cigüeñal que captura deslizablemente el muñón de cigüeñal, la ranura se dimensiona para permitir el movimiento radial del muñón de 25 cigüeñal en relación con el eje de cigüeñal; y

una plantilla unida a una porción estacionaria del motor, la plantilla incluye una guía de muñón de cigüeñal en la cual se extiende el muñón de cigüeñal, la guía de muñón de cigüeñal captura el muñón de cigüeñal en forma móvil de
5 manera que el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal se guía a través de la trayectoria.

16. El motor de conformidad con la reivindicación 15, caracterizado porque el varillaje mecánico comprende:

un par de cigüeñas de cigüeñal se extienden de un
10 par opuesto de chumaceras de cigüeña del cigüeñal, cada cigüeña del cigüeñal tiene una ranura dispuesta en la misma;

el muñón de cigüeñal se captura deslizablemente por las ranuras de manera que el muñón del cigüeñal se orienta en paralelo a, pero desplazado del cigüeñal; y

15 un par opuesto de plantillas, cada una con una guía de muñón de cigüeñal para capturar en forma móvil el muñón del cigüeñal y para guiar el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal a través de la trayectoria.

17. Un motor caracterizado porque comprende:

20 un cigüeñal que tiene una cigüeña del cigüeñal, la cigüeña de cigüeñal tiene una ranura dispuesta en la misma; el cigüeñal gira sobre un eje de cigüeñal.

un pistón de compresión recibido deslizablemente dentro de un cilindro de compresión y conectado
25 operativamente al cigüeñal de manera que el pistón de

compresión oscila a través de una carrera de admisión y una carrera de compresión de un ciclo de cuatro carreras durante una sola rotación del cigüeñal;

5 un pistón de expansión recibido deslizadamente dentro de un cilindro de expansión;

una biela de conexión conectada pivotalmente al pistón de expansión;

10 un muñón de cigüeñal que conecta rotacionalmente la cigüeña del cigüeñal a la biela de conexión sobre un eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal para permitir que el cilindro de expansión oscile a través de una carrera de expansión y una carrera de escape del ciclo de cuatro carreras durante la misma rotación del cigüeñal; el muñón de cigüeñal se captura en forma deslizable por la ranura en la
15 cigüeña de cigüeñal para permitir el movimiento radial del muñón de cigüeñal en relación con el cigüeñal; y

una plantilla unida a una porción estacionaria del motor, la plantilla incluye una guía de muñón de cigüeñal en la cual se extiende el muñón de cigüeñal, la guía de muñón de
20 cigüeñal captura en forma móvil el muñón del cigüeñal, de manera que el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal se guía a través de una trayectoria sobre el eje de cigüeñal.

18. El motor de conformidad con la reivindicación 17, caracterizado porque la distancia entre el eje de biela de conexión/cigüeña del cigüeñal y el eje de cigüeñal en
25

cualquier punto en la trayectoria define un radio de cigüeña del cigüeñal efectivo, y la trayectoria comprende una primera región de transición de un primer radio de cigüeña del cigüeñal efectivo hasta un segundo radio de cigüeña del cigüeñal efectivo.

19. El motor de conformidad con la reivindicación 18, caracterizado porque el primer radio de cigüeña del cigüeñal efectivo es menor que el segundo radio de cigüeña del cigüeñal efectivo.

20. El motor de conformidad con la reivindicación 19, caracterizado porque la primera región de transición comienza a un número predeterminado de grados CA pasando el centro muerto superior.

21. Un método para disminuir la velocidad de un pistón de expansión de un motor, el método caracterizado porque comprende las etapas de:

proporcionar un motor, el motor incluye un cigüeñal, que gira sobre un eje del cigüeñal del motor, un pistón de expansión recibido deslizadamente dentro de un cilindro de expansión y conectado de manera operativa al cigüeñal de manera que el pistón de expansión oscile a través de una carrera de expansión y una carrera de escape de un ciclo de cuatro carreras durante una sola rotación del cigüeñal, un pistón de compresión recibido deslizadamente dentro de un cilindro de compresión y conectado de manera

operativa al cigüeñal de manera que el pistón de compresión oscile a través de una carrera de admisión y una carreta de compresión del mismo ciclo de cuatro carreras durante la misma rotación del cigüeñal;

5 acelerar el pistón de expansión durante la carrera de expansión desde la posición del pistón muerto superior del pistón de expansión;

 disminuir la velocidad del pistón de expansión durante una porción del intervalo del ángulo del cigüeñal de
10 la carrera de expansión de entre 0 grado y 60 grados después de un centro muerto superior; y

 volver a acelerar el pistón de expansión después de que el pistón de expansión ha disminuido su velocidad durante una porción del intervalo del ángulo del cigüeñal de carrera
15 de expansión de 0 grados y 60 grados después del centro muerto superior.

22. El método de conformidad con la reivindicación 21, caracterizado porque comprende la etapa de:

 disminuir la velocidad del pistón de expansión
20 durante una porción de un evento de combustión en el cilindro de expansión.

23. El método de conformidad con la reivindicación 21, caracterizado porque comprende la etapa de:

 disminuir la velocidad del pistón de expansión
25 durante una porción del intervalo del ángulo del cigüeñal de

carrera de expansión de entre 5 grados y 50 grados después del centro muerto superior.

24. El método de conformidad con la reivindicación 21, caracterizado porque comprende la etapa de:

5 disminuir la velocidad del pistón de expansión durante una porción del intervalo del ángulo del cigüeñal de carrera de expansión de entre 10 grados y 40 grados después del centro muerto superior.

25. El método de conformidad con la reivindicación 10 21, caracterizado porque comprende las etapas de:

 disminuir la velocidad del pistón de expansión durante una porción del intervalo del ángulo del cigüeñal de carrera de escape de entre 60 grados y 0 grados antes del centro muerto superior; y

15 acelerar el pistón de expansión después de que el pistón de expansión ha disminuido su velocidad durante una porción del intervalo del ángulo del cigüeñal de carrera de escape de entre 60 grados y 0 grados antes del centro muerto superior.

20 **26.** El método de conformidad con la reivindicación 25, caracterizado porque comprende la etapa de:

 volver a disminuir la velocidad del pistón de expansión después de que el pistón de expansión se ha acelerado durante una porción del intervalo del ángulo del 25 cigüeñal de carrera de escape de entre 0 grados y 60 grados

antes del centro muerto superior.

27. El método de conformidad con la reivindicación 25, caracterizado porque comprende la etapa de:

5 acelerar el pistón de expansión durante una porción del intervalo del ángulo del cigüeñal de carrera de escape de entre 50 grados y 5 grados antes del centro muerto superior.

28. El método de conformidad con la reivindicación 25, caracterizado porque comprende la etapa de:

10 acelerar el pistón de expansión durante una porción del intervalo del ángulo del cigüeñal de carrera de escape de entre 40 grados y 10 grados antes del centro muerto superior.

29. Un método para disminuir la velocidad de un pistón de expansión de un motor, el método caracterizado porque comprende las etapas de:

15 proporcionar un motor, el motor incluye un cigüeñal, que gira sobre un eje del cigüeñal del motor, un pistón de expansión recibido deslizablemente dentro de un cilindro de expansión y conectado de manera operativa al cigüeñal de manera que el pistón de expansión oscile a través
20 de una carrera de expansión y una carrera de escape de un ciclo de cuatro carreras durante una sola rotación del cigüeñal, un pistón de compresión recibido deslizablemente dentro de un cilindro de compresión y conectado de manera operativa al cigüeñal de manera que el pistón de compresión
25 oscile a través de una carrera de admisión y una carrera de

compresión del mismo ciclo de cuatro carreras durante la misma rotación del cigüeñal;

iniciar un evento de combustión en el cilindro de expansión;

5 disminuir la velocidad del pistón de expansión durante una porción del evento de combustión; y

 acelerar el pistón de expansión después de que el pistón de expansión ha disminuido su velocidad durante una porción del intervalo del ángulo del cigüeñal de carrera de expansión de 0 grados y 60 grados después del centro muerto superior.

30. El método de conformidad con la reivindicación 29, caracterizado porque comprende la etapa de:

 disminuir la velocidad del pistón de expansión durante una porción del intervalo del ángulo del cigüeñal de carrera de expansión de entre 0 grados y 60 grados del centro muerto superior.

31. El motor de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado además porque comprende:

20 un perfil de velocidad impartido al pistón de expansión por el varillaje mecánico de manera que, mientras el pistón de expansión viaja de manera descendente desde una posición del centro muerto superior a través de la primera región de transición, el pistón de expansión acelera, 25 disminuye su velocidad y vuelve a acelerar de manera

secuencial durante por lo menos una porción del evento de combustión.

32. El motor de conformidad con la reivindicación 11, caracterizado además porque comprende:

5 un perfil de velocidad impartido al pistón de expansión por el varillaje mecánico de manera que, mientras el pistón de expansión viaja de manera descendente desde una posición del centro muerto superior a través de la primera región de transición, el pistón de expansión acelera,
10 disminuye su velocidad y vuelve a acelerar de manera secuencial durante por lo menos una porción del evento de combustión.

33. El motor de conformidad con la reivindicación 17, caracterizado además porque comprende:

15 un perfil de velocidad impartido al pistón de expansión por el varillaje mecánico de manera que, mientras el pistón de expansión viaja de manera descendente desde una posición del centro muerto superior a través de la primera región de transición, el pistón de expansión acelera,
20 disminuye su velocidad y vuelve a acelerar de manera secuencial durante por lo menos una porción de un evento de combustión en el cilindro de expansión.

RESUMEN

Un motor incluye un cigüeñal, que tiene un desplazamiento de cigüeñal, el cigüeñal gira alrededor de un eje de cigüeñal. Un pistón de presión se recibe deslizablemente dentro de un cilindro de compresión y se conecta operativamente al cigüeñal de modo que el pistón de compresión oscila a través de un tiempo de admisión y un tiempo de compresión de un ciclo de cuatro tiempos durante una sola rotación del cigüeñal. Un pistón de expansión se recibe deslizablemente dentro de un cilindro de expansión. Una biela se conecta pivotalmente al pistón de expansión. Un varillaje mecánico conecta rotacionalmente el desplazamiento de cigüeñal a la biela alrededor de un eje de desplazamiento de biela/cigüeñal de modo que el pistón de expansión oscila a través de un tiempo de expansión y un tiempo de escape del ciclo de cuatro tiempos durante la misma rotación del cigüeñal. Se establece una trayectoria mediante el varillaje mecánico a la cual el eje de desplazamiento de biela/cigüeñal viaja alrededor del eje de cigüeñal. La distancia entre el eje de desplazamiento de biela/cigüeñal y el eje de cigüeñal en cualquier punto en la trayectoria define un radio de desplazamiento de cigüeñal efectivo. La trayectoria incluye una primera región de transición del primer radio de desplazamiento de cigüeñal efectivo a un segundo radio de desplazamiento de cigüeñal efectivo a través de la cual el

eje de desplazamiento de biela/cigüeñal pasa durante al menos una porción de un evento de combustión en el cilindro de expansión.

FIG. 2

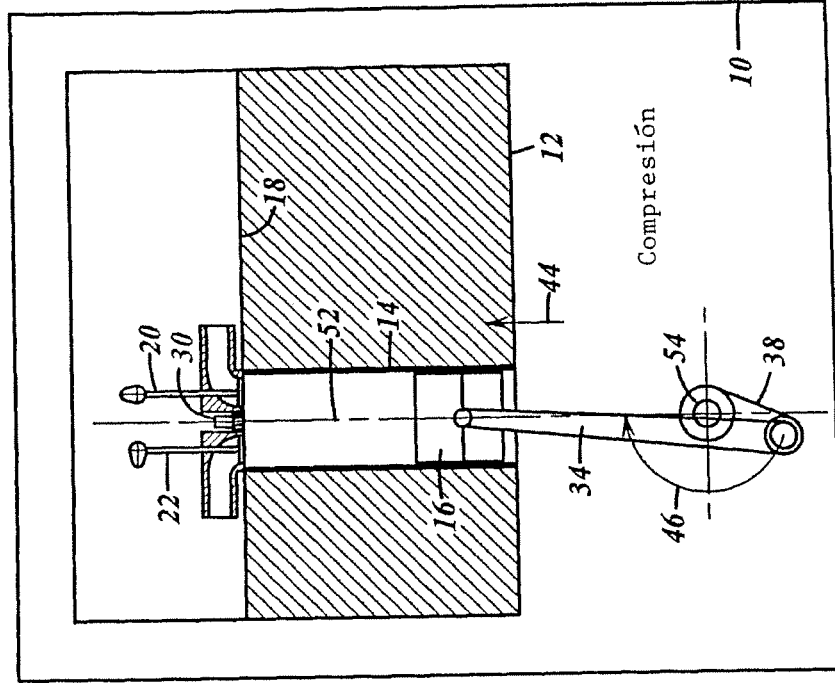


FIG. 1

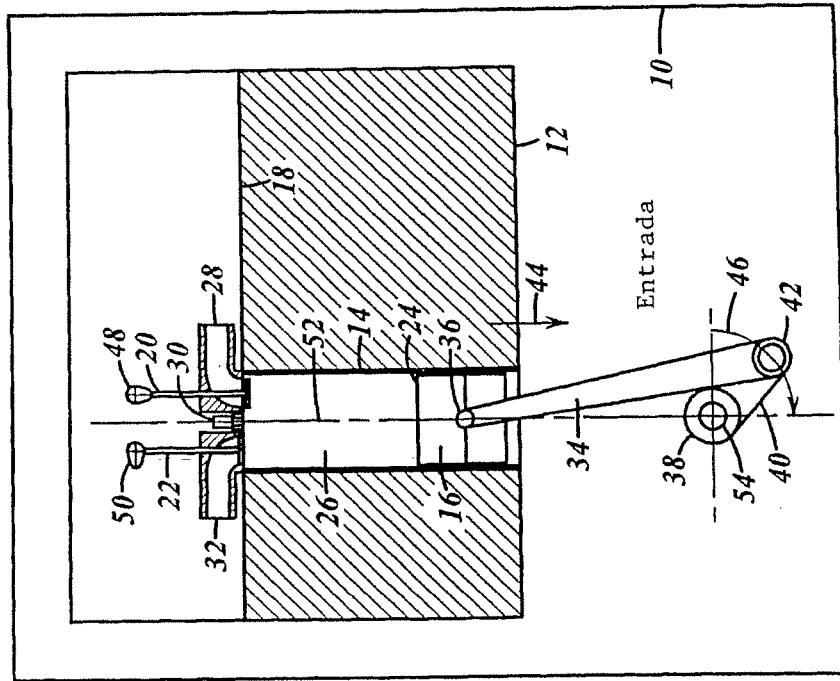


FIG. 4

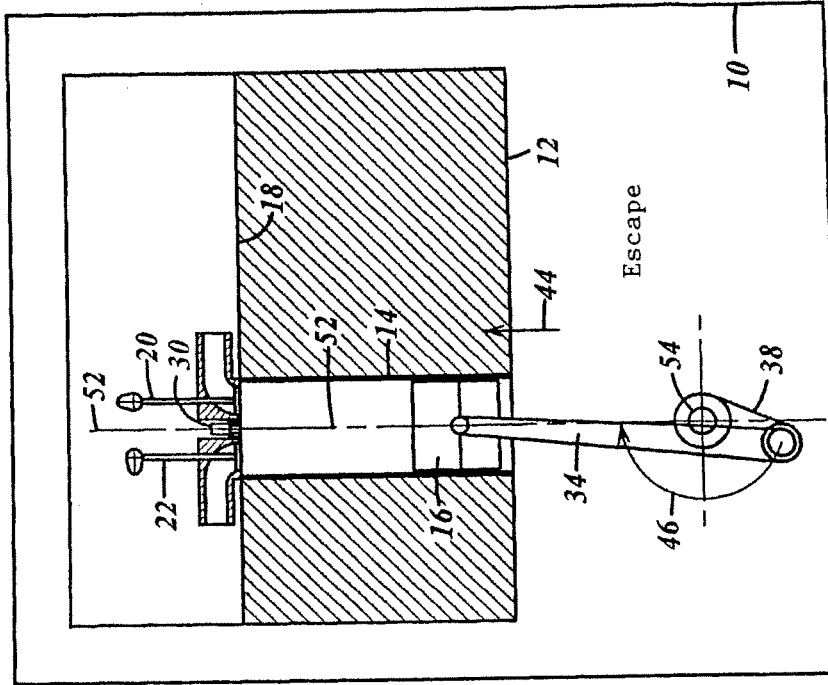


FIG. 3

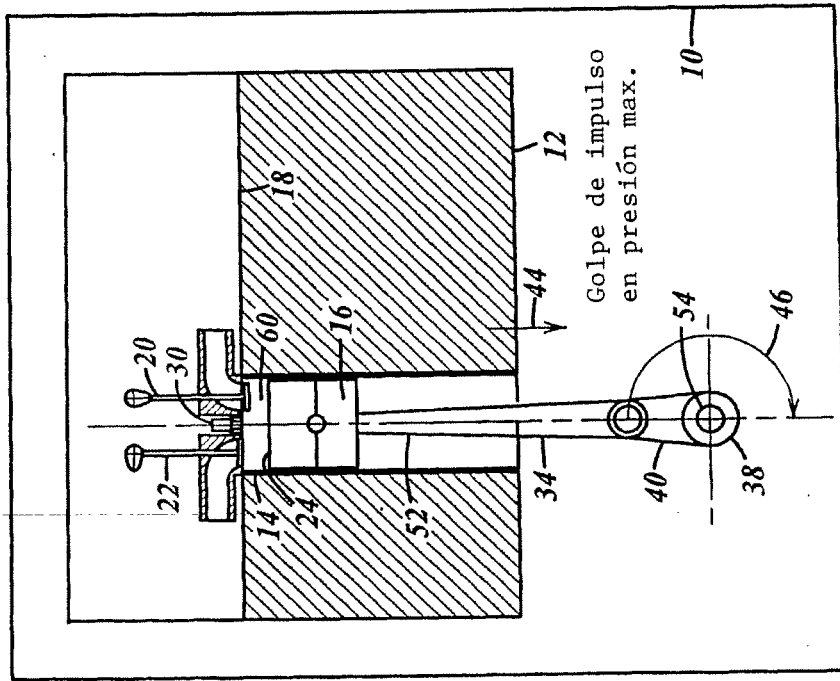


FIG. 5

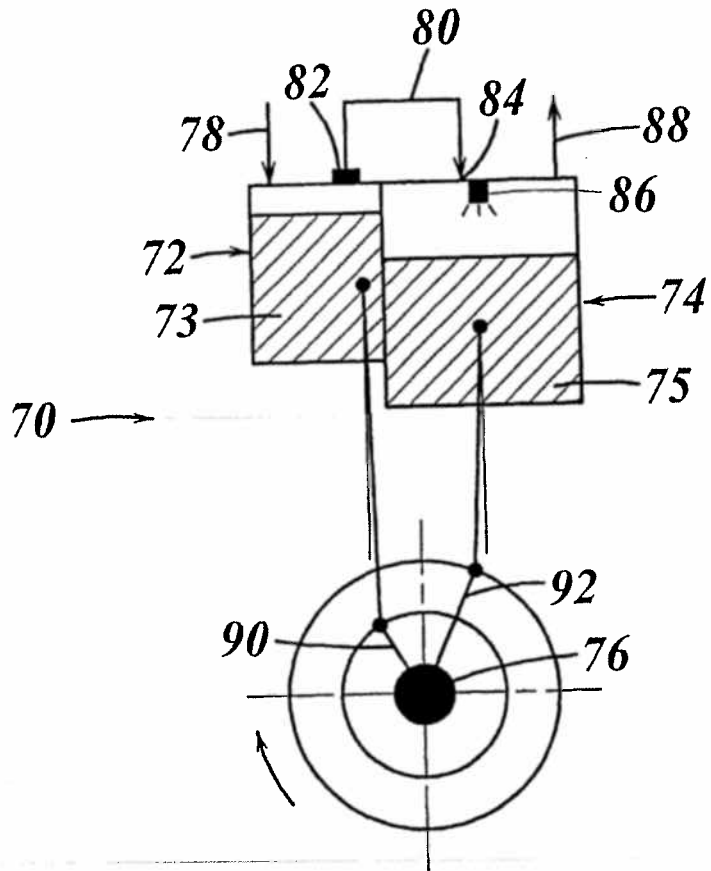


FIG. 6B

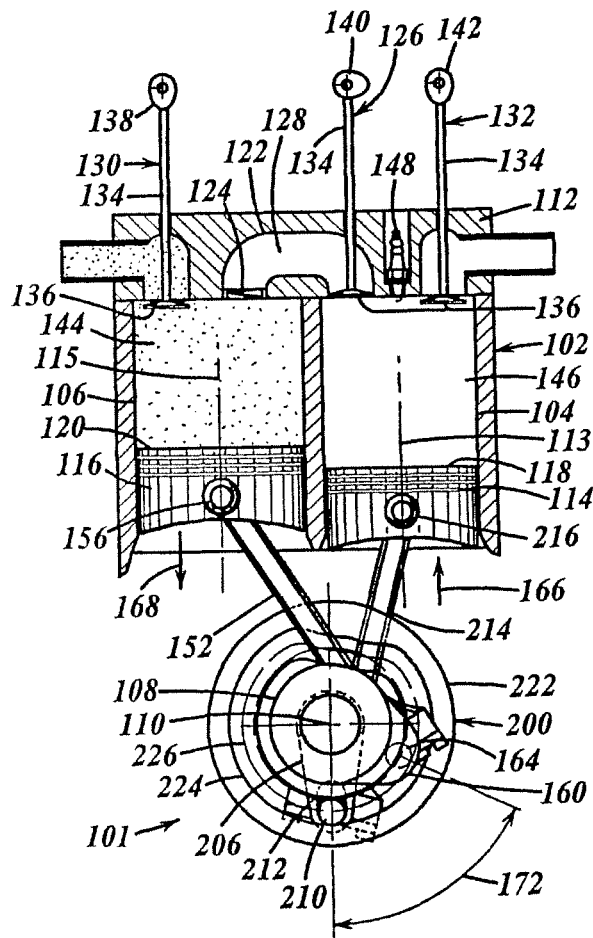


FIG. 8

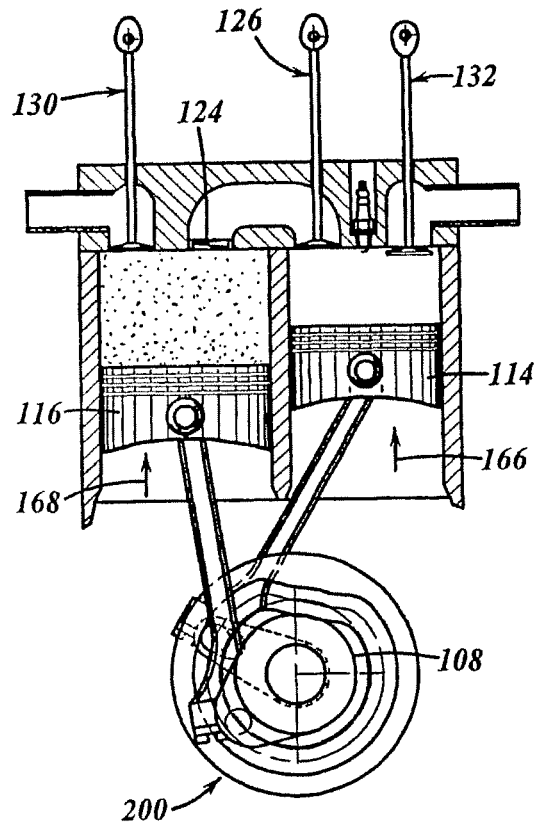


FIG. 9

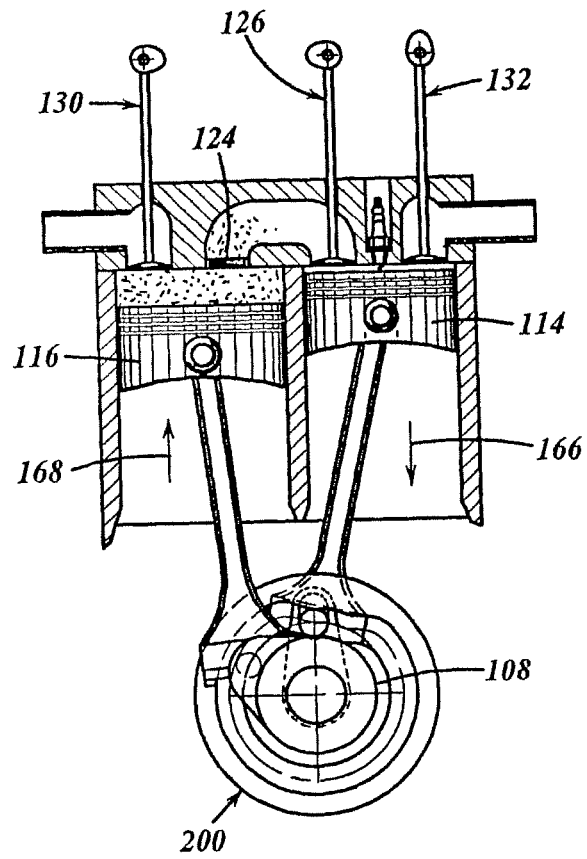


FIG. 10

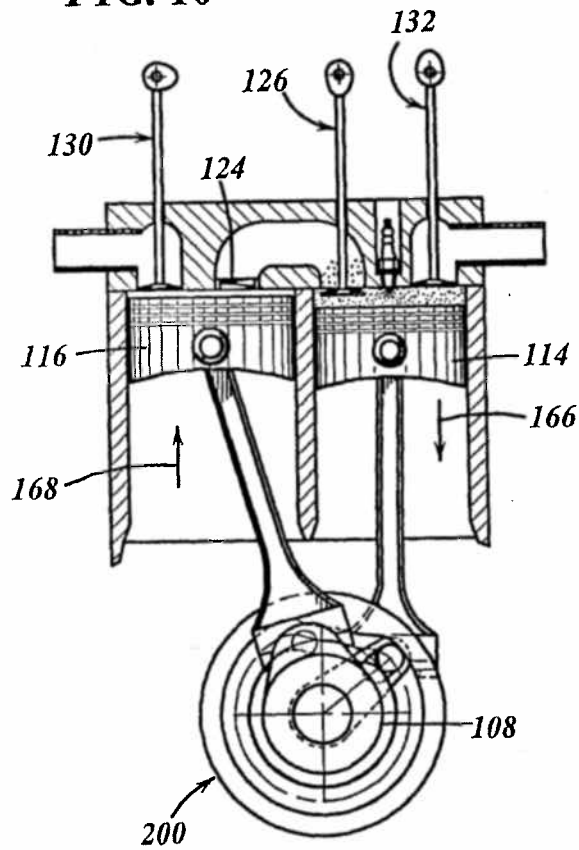


FIG. 11

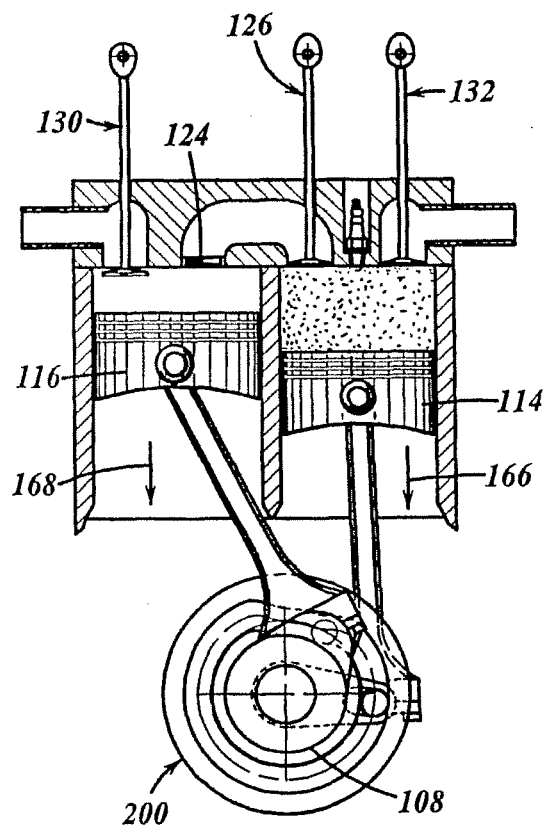


FIG. 12

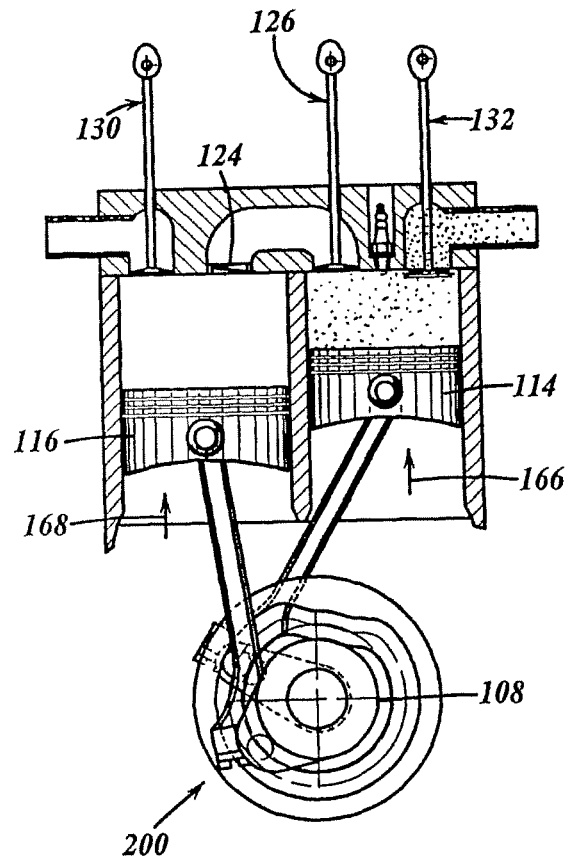
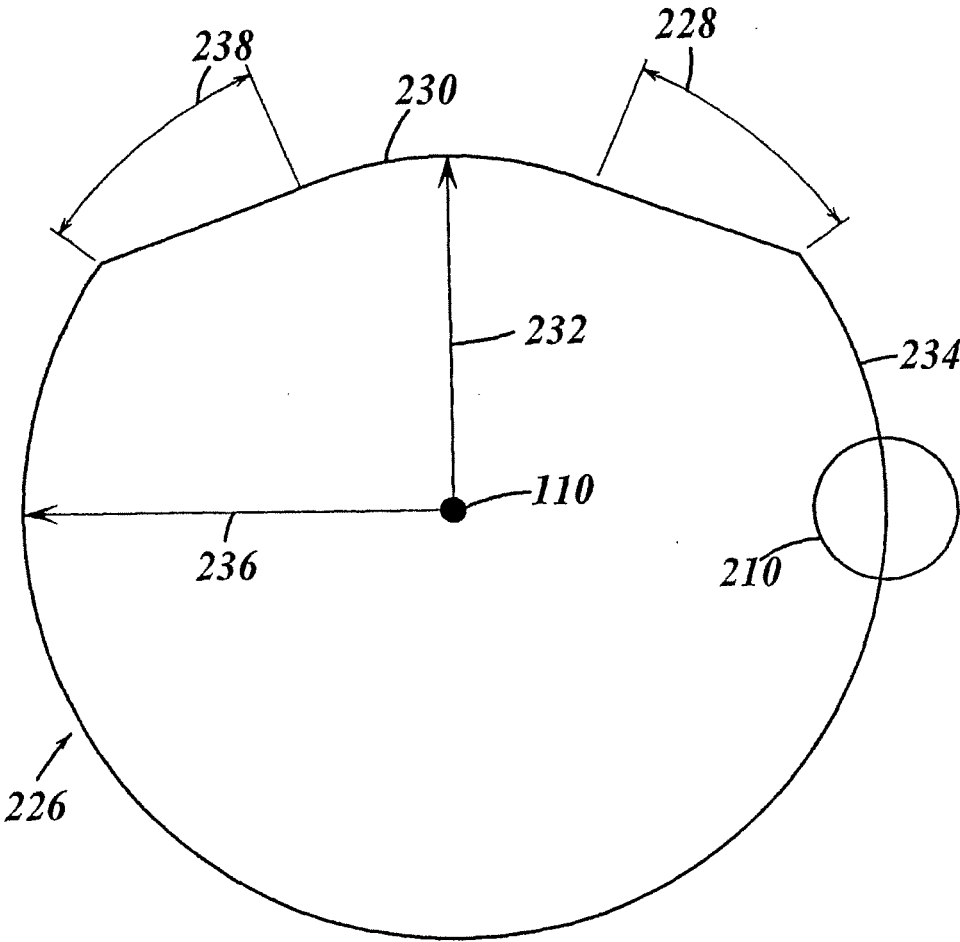


FIG. 13



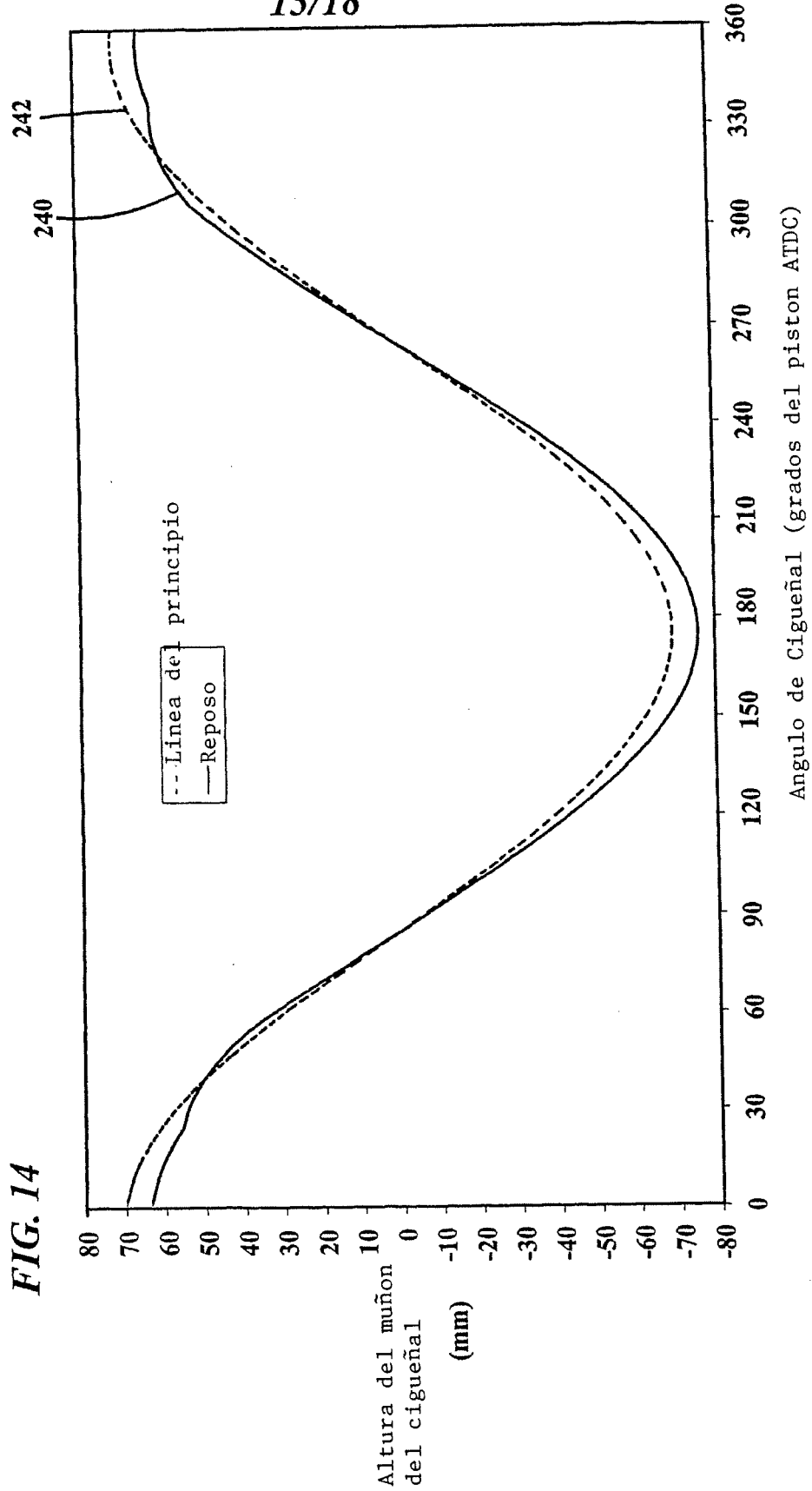


FIG. 14

FIG. 15

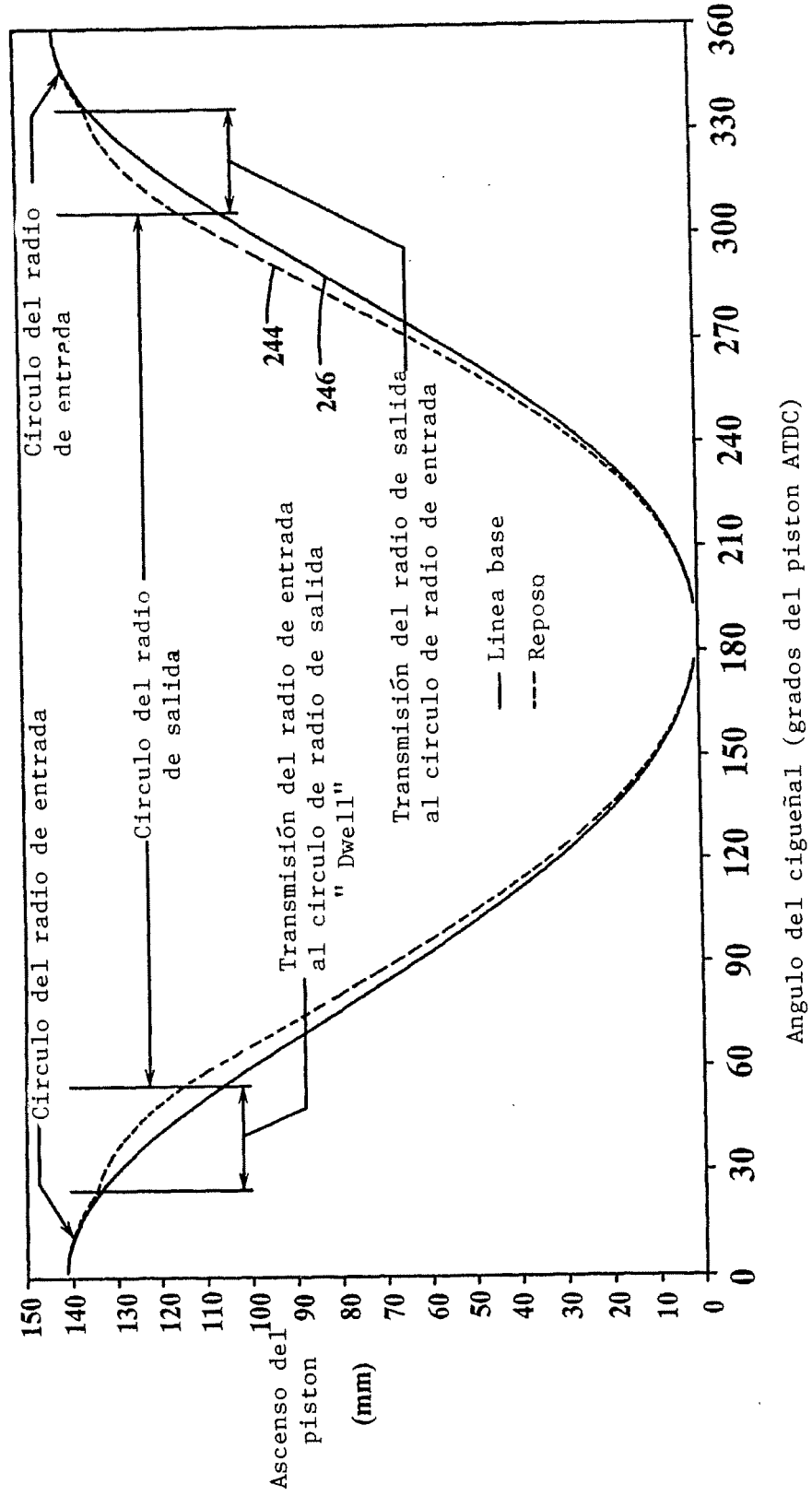


FIG. 16

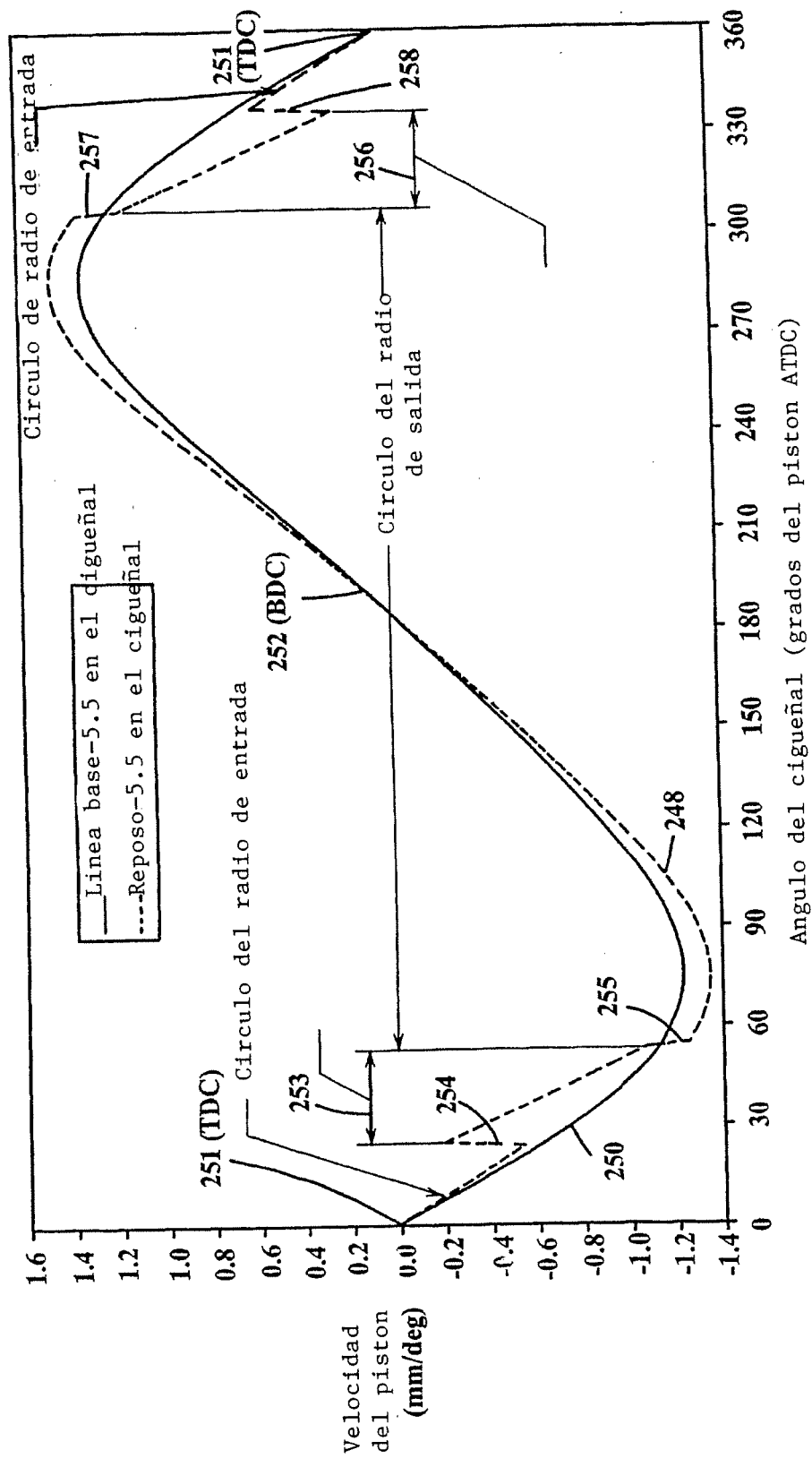


FIG. 17A

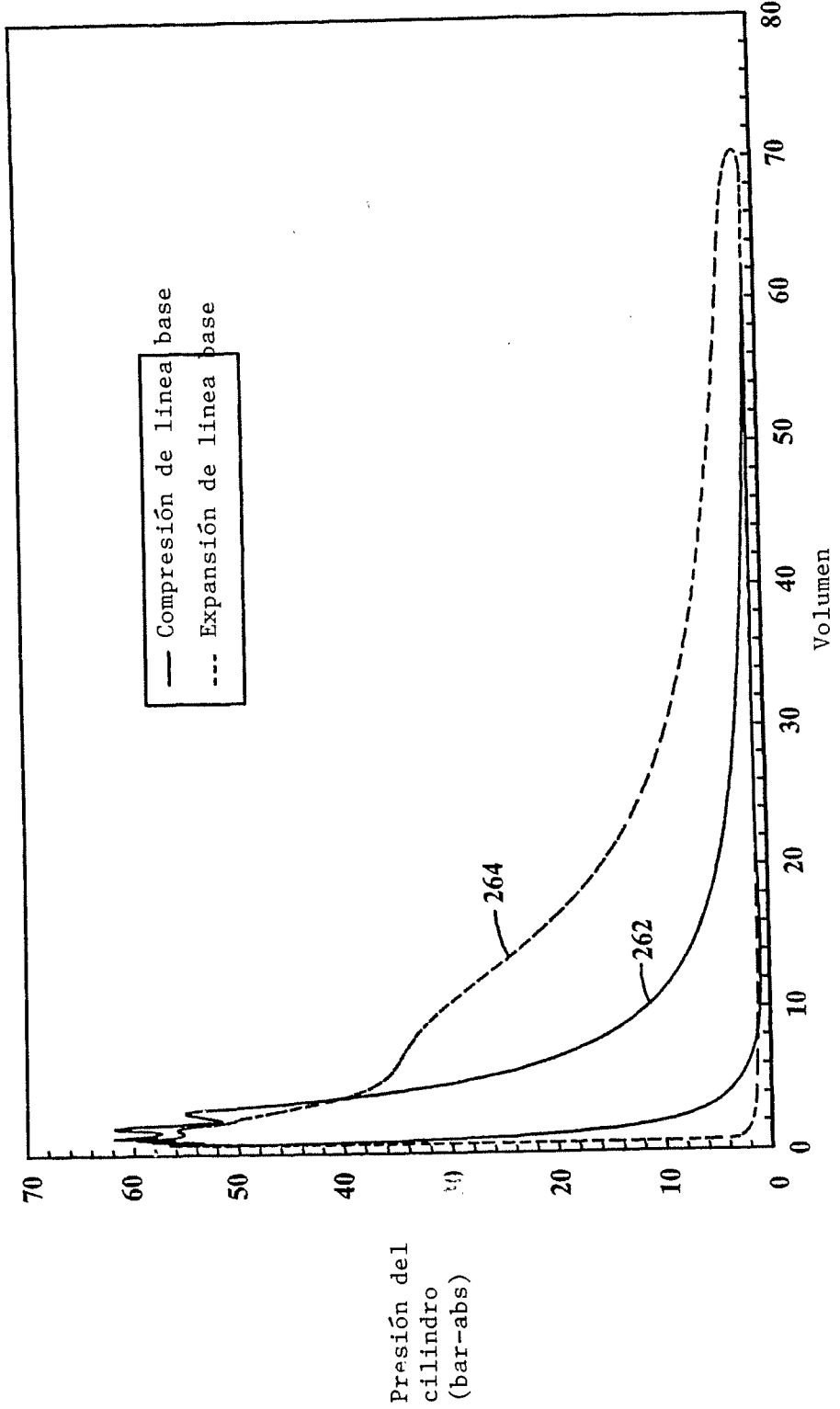


FIG. 17B

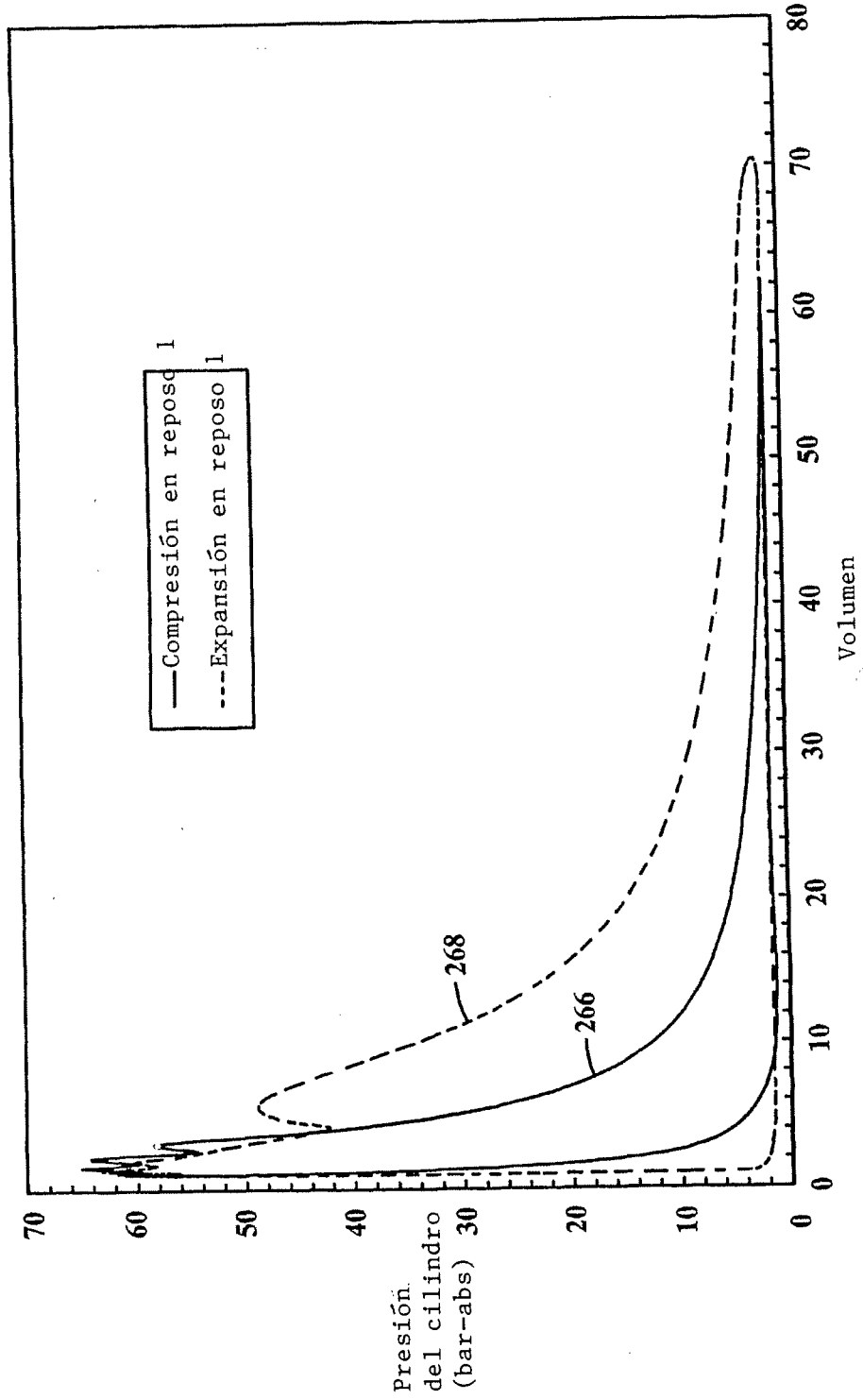


FIG. 18

