

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 979 125**

51 Int. Cl.:

F02B 33/22	(2006.01) F02M 31/08	(2006.01)
F02B 41/06	(2006.01) F02M 26/01	(2006.01)
F02B 47/04	(2006.01) F02D 41/00	(2006.01)
F02B 75/02	(2006.01) F02D 35/02	(2006.01)
F02D 13/02	(2006.01) F02D 19/12	(2006.01)
F02B 51/02	(2006.01) F02B 47/02	(2006.01)
F02M 21/02	(2006.01) F02M 31/04	(2006.01)
F02M 25/00	(2006.01) F02B 51/00	(2006.01)
F02M 27/02	(2006.01)	
F02B 33/06	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2017** **PCT/GB2017/053831**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.06.2018** **WO18115863**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2017** **E 17829004 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024** **EP 3559428**

54 Título: **Motor de ciclo dividido**

30 Prioridad:

23.12.2016 GB 201622114
28.04.2017 GB 201706792

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
24.09.2024

73 Titular/es:

DOLPHIN N2 LIMITED (100.0%)
c/o Ricardo plc, Shoreham Technical Centre,
Old Shoreham Road
Shoreham-by-Sea BN43 5FG, GB

72 Inventor/es:

MORGAN, ROBERT;
EATWELL, JAMES;
ATKINS, ANDREW y
GURR, ADAM

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 979 125 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Motor de ciclo dividido

5 **Campo de la invención**

[0001] La presente descripción se refiere a un motor de combustión interna de ciclo dividido y un procedimiento para operar el mismo.

10 **Antecedentes**

[0002] En un motor de combustión interna de ciclo dividido, un fluido de trabajo que comprende aire se comprime en un primer cilindro de compresión y se proporciona a un segundo cilindro de combustión, donde se inyecta combustible y la mezcla del combustible y el fluido de alta presión se quema para producir el accionamiento. Beneficios termodinámicos pueden derivarse de separar los procedimientos de compresión y expansión/combustión de esta manera. El documento WO 2010/067080 describe un motor de ciclo dividido y ventajas termodinámicas asociadas.

[0003] En un motor de ciclo dividido, se pueden lograr beneficios termodinámicos adicionales inyectando un fluido criogénico en el cilindro de compresión durante la carrera de compresión. Dicho sistema y procedimiento se describe en el documento WO 2016/016664.

[0004] El documento US2013160726 A1 describe un motor de ciclo dividido donde el calor se añade mediante un intercambiador de calor externo para que el cilindro de expansión no sea un cilindro de combustión.

[0005] En particular, en motores donde se usa un criógeno, puede proporcionarse un recuperador, que tiene una primera trayectoria de fluido que transporta fluido comprimido desde el cilindro de compresión hasta el cilindro de expansión, y una segunda trayectoria de fluido que transporta gases de escape desde una salida del cilindro de combustión, con el fin de calentar el fluido comprimido en su camino hacia el cilindro de combustión. Esto puede ayudar a garantizar que el fluido comprimido que llega al cilindro de combustión esté lo suficientemente caliente como para que pueda producirse una combustión cuando se inyecte el combustible.

Resumen de la invención

[0006] El inventor en el presente caso ha apreciado que se pueden encontrar dificultades para lograr una combustión eficiente durante el arranque del motor ("arranque en frío"), cuando hay poco o ningún calor de escape en el recuperador, lo que lleva a que el fluido comprimido llegue al cilindro de combustión a una temperatura subóptima para la combustión.

[0007] Las realizaciones descritas en esta solicitud abordan estas dificultades.

[0008] La invención se establece en las reivindicaciones adjuntas a la presente.

[0009] En la siguiente descripción, el término fluido o líquido "criogénico" se usa para referirse a un fluido que se ha condensado en su fase líquida a través de un procedimiento de refrigeración.

[0010] Los ejemplos descritos en esta solicitud se refieren a un motor de ciclo dividido donde se inyecta un fluido criogénico durante la carrera de compresión. En otros ejemplos, los procedimientos descritos en esta invención podrían implementarse sin la inyección de un criógeno. Además, se pueden añadir otros fluidos, agua como ejemplo, al recuperador para controlar la temperatura terminal a la salida del recuperador.

[0011] Como se describe en esta invención, el motor de ciclo dividido tiene un controlador que está dispuesto para recibir una indicación de un parámetro asociado con el cilindro de combustión y/o un fluido asociado con el mismo y para controlar una característica del motor según el parámetro indicado.

[0012] El parámetro puede ser uno o más de una temperatura, presión y concentración de oxígeno, por lo tanto, una indicación de un parámetro puede comprender uno o más de datos de temperatura, datos de presión y datos de concentración de oxígeno.

[0013] El controlador puede recibir datos de temperatura y presión, datos de temperatura y concentración de oxígeno, datos de presión y concentración de oxígeno o datos de temperatura, presión y concentración de oxígeno y usar estos datos para controlar una o más de la inyección de criógeno, la sincronización de la válvula de escape y la inyección de agua del recuperador, individualmente o en combinación.

[0014] En el caso donde el parámetro sea una temperatura, la temperatura indicada podría ser al menos una de una temperatura dentro del cilindro de combustión, una temperatura dentro del recuperador del motor, en particular

una superficie del recuperador que está recubierta con un catalizador, una temperatura del fluido comprimido en el recuperador, una temperatura del fluido comprimido en la entrada del cilindro de combustión o una temperatura del gas de escape.

5 **[0015]** En el caso de que el parámetro sea una presión, la presión indicada podría ser al menos una de una presión dentro del cilindro de combustión, una presión dentro del recuperador del motor, una presión del fluido comprimido en el recuperador, una presión del fluido comprimido en la entrada del cilindro de combustión o una presión del gas de escape.

10 **[0016]** En el caso de que el parámetro sea una concentración de oxígeno, la concentración de oxígeno indicada podría ser al menos una de una concentración de oxígeno dentro del cilindro de combustión, una concentración de oxígeno dentro del recuperador del motor, una concentración de oxígeno del fluido comprimido en el recuperador, una concentración de oxígeno del fluido comprimido en la entrada del cilindro de combustión o una concentración de oxígeno de los gases de escape.

15 **[0017]** Como se establece en las reivindicaciones adjuntas, la característica del motor que se controla es el tiempo de cierre de la válvula de escape. En los ejemplos descritos en esta invención, esa característica puede ser la cantidad o velocidad de inyección de criógeno durante la carrera de compresión y la velocidad, cantidad o sincronización de la inyección de combustible en el cilindro de combustión.

20 **[0018]** La característica del motor se puede controlar según una comparación entre la indicación del parámetro y un valor diana para el parámetro.

[0019] La característica del motor puede controlarse según una diferencia entre la indicación del parámetro y un valor diana para el parámetro.

[0020] El controlador puede estar dispuesto para recibir una indicación de una temperatura del fluido comprimido en la entrada del cilindro de combustión y para controlar el cierre de la válvula de escape del cilindro de combustión según una comparación entre la temperatura indicada y una temperatura diana para el fluido comprimido en la entrada del cilindro de combustión. La temperatura diana puede definirse según una temperatura deseada para la combustión en el cilindro. Como se describe en esta solicitud, el controlador está dispuesto para hacer que la válvula de escape se cierre durante la carrera de retorno del pistón de combustión (108, 128), antes de que el pistón de combustión haya alcanzado su posición de punto muerto superior (PMS), cuando la temperatura indicada es inferior a una temperatura; y cerrar al finalizar la carrera de retorno del pistón de combustión, a medida que el pistón de combustión alcanza su posición de punto muerto superior (PMS), cuando la temperatura indicada es igual o superior a la temperatura diana.

[0021] El cierre de la válvula de escape antes de que el pistón de combustión haya alcanzado su posición de punto muerto superior (PMS), cuando la temperatura indicada es inferior a una temperatura, puede describirse como un modo de funcionamiento de "arranque en frío". Esto corresponde a que la temperatura indicada es subóptima para la combustión, lo que puede deberse a la falta de calor disponible para la recolección en el recuperador. Al cerrar la válvula de escape antes de que el pistón de combustión alcance el PMS, una porción de los gases de escape calientes de la combustión puede retenerse dentro del cilindro de combustión y comprimirse para elevar la temperatura del cilindro para ayudar a la combustión en el siguiente ciclo del motor.

45 **[0022]** El cierre del escape al finalizar la carrera de retorno del pistón de combustión, a medida que el pistón de combustión alcanza su posición de punto muerto superior (PMS), se puede describir como un "modo normal" de operación, que corresponde a la temperatura indicada que es aceptable para la combustión. Por lo general, se esperaría alcanzar esta condición después de que el recuperador y, por lo tanto, la temperatura del fluido comprimido suministrado a la entrada del cilindro de combustión se haya calentado a medida que los gases de escape calientes fluyen a través del recuperador. La válvula de escape puede, en esta condición, cerrarse a medida que el pistón de combustión completa su carrera de retorno, expulsando todos los gases de escape del cilindro de combustión y hacia la trayectoria del recuperador.

55 **[0023]** En otros ejemplos, el control de sincronización de la válvula se basa en la medición de una presión y/o una concentración de oxígeno, opcionalmente además de una medición de temperatura.

[0024] En los ejemplos descritos en esta invención, el controlador puede estar dispuesto para recibir una indicación de una temperatura del fluido comprimido en la entrada del cilindro de combustión y para controlar la cantidad de fluido criogénico proporcionado al cilindro de compresión durante la carrera de compresión. Esto reduce la limitación en el aumento de temperatura del fluido comprimido durante los ciclos "fríos" donde no hay suficiente calor en el recuperador para elevar el fluido comprimido a una temperatura de combustión diana en la entrada del cilindro de combustión.

65 **[0025]** El control puede basarse en una comparación entre la temperatura indicada y una temperatura diana

para el fluido comprimido en la entrada del cilindro de combustión. La temperatura diana puede definirse según una temperatura deseada para la combustión en el cilindro. En los ejemplos descritos en esta solicitud, el controlador puede disponerse para controlar la cantidad de fluido criogénico inyectado en el cilindro de compresión de modo que se proporcione una cantidad de líquido criogénico de "modo normal" al cilindro de compresión cuando la temperatura
5 indicada es igual o mayor que una temperatura diana, y se proporciona una cantidad de líquido criogénico de "modo frío" al cilindro de compresión cuando la temperatura indicada es menor que la temperatura diana, donde la cantidad de "modo frío" es menor que la cantidad de "modo normal".

[0026] La cantidad de criógeno en "modo normal" se entenderá generalmente como la velocidad y cantidad de
10 inyección de criógeno de modo que el líquido criogénico se vaporice en su fase gaseosa durante la carrera de compresión del pistón de compresión, de modo que un aumento de la temperatura causado por la carrera de compresión se limite a aproximadamente cero por la absorción de calor por el líquido criogénico. Esto puede permitir una compresión más eficiente. Esto también puede permitir que se recupere una cantidad máxima de calor de los gases de escape.

[0027] Cuando la temperatura indicada es mayor que una temperatura diana para el funcionamiento en "modo normal", se puede habilitar un "modo caliente" de funcionamiento. En este modo, la cantidad de líquido criogénico
añadido puede optimizarse según la temperatura en la entrada, por lo que en condiciones de alta carga cuando hay más calor disponible, la temperatura es menor al final de la compresión que antes de realizar el trabajo de compresión.
20 La cantidad de criógeno en "modo caliente" se entenderá como una cantidad y/o tasa de inyección de criógeno por carrera de compresión más alta que la cantidad en "modo normal", de modo que se permita controlar la temperatura del fluido dentro del cilindro de compresión dentro de los límites de seguridad. Para un control adicional de la temperatura y la protección del hardware, se podría añadir agua al recuperador en condiciones de alta carga.

[0028] Se entenderá que la cantidad de criógeno en "modo frío" es una cantidad y/o tasa de inyección de
25 criógeno por carrera de compresión inferior a la cantidad en "modo normal", de modo que se permita que la temperatura del fluido dentro del cilindro de compresión aumente como resultado de la compresión. Esto permite que el fluido comprimido salga del cilindro de compresión en un estado más caliente, para compensar la falta de calor disponible en el recuperador.

[0029] En otros ejemplos descritos en esta invención, el control de inyección de criógeno se basa en la medición
30 de una presión y/o una concentración de oxígeno, opcionalmente además de una medición de temperatura.

[0030] En otros ejemplos, la sincronización de la válvula de escape y la inyección de criógeno se controlan
35 según uno o más parámetros medidos del motor.

Breve descripción de las figuras

[0031] A continuación, se describirán ejemplos de la presente divulgación, a modo de ejemplo, con referencia
40 a los dibujos adjuntos.

La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de un motor de combustión interna de ciclo dividido.

La Figura 2a muestra las etapas en el funcionamiento de un cilindro de combustión del motor de ciclo dividido durante un modo de arranque en frío.

La Figura 2b muestra las etapas en el funcionamiento del cilindro de combustión durante un modo de
45 funcionamiento normal

La Figura 3 muestra un gráfico de decisión para controlar una válvula de escape del cilindro de combustión.

La Figura 4 representa los tiempos relativos de las válvulas en el cilindro de combustión.

La Figura 5a muestra ejemplos de posiciones de cierre de la válvula de escape ilustradas por posiciones del pistón de combustión dentro del cilindro de combustión.

La Figura 5b muestra un procedimiento de decisión del controlador para controlar la válvula de escape.

La Figura 5c muestra una tabla de consulta para su uso en el control de la válvula de escape.

La Figura 6 muestra un procedimiento de decisión para controlar una válvula de entrada de criógeno de un cilindro de compresión del motor de ciclo dividido.

La Figura 7 muestra ejemplos de disposiciones de válvulas dentro de la culata del cilindro de combustión.

La Figura 8 muestra un diagrama esquemático de un motor de combustión interna de ciclo dividido.

La Figura 9a muestra las etapas en el funcionamiento de un cilindro de combustión del motor de ciclo dividido durante un modo de arranque en frío.

La Figura 9b muestra las etapas en el funcionamiento del cilindro de combustión durante un modo de funcionamiento normal.

La Figura 10a muestra las etapas en el funcionamiento de un cilindro de combustión del motor de ciclo dividido durante un modo de arranque en frío.

La Figura 10b muestra las etapas en el funcionamiento del cilindro de combustión durante un modo de funcionamiento normal.

La Figura 11 muestra una traza de presión ideal para el funcionamiento óptimo del motor de combustión interna de ciclo dividido durante un modo de funcionamiento normal.

La Figura 12 muestra una gráfica que ilustra los resultados de variar la temporización de la apertura de la válvula de entrada y el cierre de la válvula de escape.

La Figura 13 muestra una gráfica que ilustra los resultados de variar la temporización de la apertura de la válvula de entrada y el cierre de la válvula de escape.

5

Descripción detallada de las figuras

[0032] La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de un motor de combustión interna de ciclo dividido 101. Como se ilustra, el motor comprende un cilindro de compresión 104 y un cilindro de combustión 126, cada cilindro
10 tiene un pistón asociado configurado para moverse en vaivén dentro de él. Como apreciará el experto en la materia, pueden estar presentes múltiples cilindros de compresión y cilindros de combustión similares. El cilindro de compresión 104 comprende una válvula de entrada de criógeno 110 que está conectada a un depósito de criógeno 112. El cilindro de compresión 104 tiene una válvula de entrada de fluido 106 conectada a un turbocompresor 102 para recibir un suministro de aire comprimido y una válvula de salida de fluido 116. Una válvula de entrada de fluido 124 del cilindro
15 de combustión 126 está acoplada a la válvula de salida de fluido 116 para recibir fluido comprimido del cilindro de compresión 104. El cilindro de combustión también tiene una válvula de entrada de combustible 130 acoplada a una fuente de combustible 132 y una válvula de escape 134.

[0033] A lo largo de la trayectoria 120 entre la válvula de salida de fluido del cilindro de compresión 116 y la
20 válvula de entrada de fluido del cilindro de combustión 124, el fluido comprimido pasa a través de un recuperador 118. Este recuperador 118 es calentado por los gases de escape de la válvula de escape del cilindro de combustión 134 que pasan a lo largo de una vía de escape 136 a una salida de escape 138.

[0034] El motor de ciclo dividido 101 comprende un controlador 100. Este controlador 100 está conectado a al
25 menos un sensor 122. En ejemplos, al menos un sensor 122 podría ser un sensor de temperatura, un sensor de presión, un sensor de concentración de oxígeno o cualquier combinación de los mismos. En el ejemplo ilustrado, un sensor de temperatura 122 está dispuesto cerca de la admisión de fluido del cilindro de combustión 126, en un punto a lo largo de la trayectoria 120 del fluido comprimido entre el recuperador 118 y la válvula de admisión de fluido del cilindro de combustión 124. Este sensor 122 es operable para detectar la temperatura del fluido comprimido e informar
30 los datos de temperatura detectados al controlador 100. El controlador 100 está dispuesto para recibir estos datos de temperatura y controlar la sincronización de la válvula de escape 134 en el cilindro de combustión 126 basándose al menos en parte en los datos de temperatura recibidos. El controlador 100 también puede ser operable para ajustar el funcionamiento de la válvula de entrada de criógeno 110 para controlar la cantidad de criógeno que se inyecta en el cilindro de compresión 104.

35

[0035] Después de que se produce la combustión en el cilindro de combustión 126, el gas de escape abandona el cilindro de combustión 126 a través de la válvula de escape 134 y se desplaza a lo largo de la vía de escape 136
entrando en comunicación térmica con el recuperador 118 para calentar el fluido comprimido que se desplaza a lo largo de la vía 120 entre la válvula de salida del cilindro de compresión 116 y la válvula de entrada del cilindro de
40 combustión 124.

[0036] El sensor o sensores mencionados anteriormente se pueden ubicar en una multitud de lugares. En particular, uno o más sensores pueden colocarse cerca de la válvula de entrada 124 en el cilindro de combustión como se muestra en la Figura 1, en el recuperador 118 o cerca de la válvula de salida del cilindro de compresión 116.

45

[0037] La Figura 2a muestra esquemáticamente un procedimiento de control del cilindro de combustión durante un modo de funcionamiento de arranque en frío, que incluye las etapas 200a, 202a, 204a, 206a y 208a en comparación con la Figura 2b, que muestra las etapas 200b, 202b, 204b, 206b y 208b de un modo de funcionamiento normal. En la etapa 200a, la mezcla de fluido-combustible comprimido se enciende cuando el pistón de combustión 128 está en
50 PMS. Dependiendo del tipo de combustible del motor, este encendido podría iniciarse mediante una bujía o un autoencendido. El aumento de la presión debido a la energía liberada de la combustión de combustible impulsa el pistón de combustión hacia el punto muerto inferior (PMI), impulsando aún más el cigüeñal 114. Una vez que el pistón alcanza el PMI, la mezcla quemada se ha expandido para llenar el cilindro de combustión 126 y la válvula de escape 134 se abre (etapa 202a). El pistón de combustión a continuación avanza hacia el PMS, expulsando los gases de
55 escape por la válvula de escape 134.

[0038] En el modo de arranque en frío, la válvula de escape 134 se cierra antes de que el pistón de combustión alcance el PMS. Esto se muestra en la etapa 204a, donde la válvula de escape 134 está cerrada cuando el pistón está aproximadamente al 65 % del camino desde el PMI hasta el PMS. El gas de escape restante a continuación se comprime a medida que el pistón alcanza el PMS y, como se muestra en la etapa 206a, la válvula de entrada se abre para permitir que el fluido comprimido entre en el cilindro de combustión 126. La válvula de entrada 124 se cierra y se enciende el combustible inyectado (etapa 208a), iniciando el ciclo nuevamente. Los gases de escape que quedan en el cilindro de combustión 126 cuando la válvula de escape 134 está cerrada calentarán el fluido comprimido. Esto puede conducir a un aumento en la eficiencia del motor al compensar la falta de calor en el motor, y en particular en
60 el recuperador 188. Por lo tanto, el fluido comprimido llega a la entrada del cilindro de combustión a una temperatura

65

suficientemente alta, habiendo recuperado el calor de los gases de escape.

[0039] Esto contrasta con el modo de funcionamiento normal de la Figura 2b. En este ciclo, las etapas 200b, 202b, 206b y 208b corresponden a 200a, 202a, 206a y 208a respectivamente. La diferencia entre el modo de arranque en frío y el modo de funcionamiento normal se resalta en la etapa 204B. Aquí, la válvula de escape 134 está abierta hasta que el pistón de combustión alcanza el PMS, de modo que la mayor parte de los gases de escape se expulsan del cilindro. En este modo, el motor funciona "normalmente", por lo que todos o la mayoría de los gases de escape se expulsan al recuperador.

10 **[0040]** La Figura 3 muestra un diagrama de flujo para un procedimiento de control que ocurre en el controlador 100. El controlador 100 recibe una indicación de la temperatura de entrada del cilindro de combustión 126 desde un sensor de temperatura ubicado cerca de la entrada del cilindro de combustión 126. Esta temperatura, T_i , se compara a continuación con una temperatura diana, T_{diana} . En este ejemplo, T_{diana} es una temperatura deseada para el fluido comprimido en la entrada del cilindro de combustión 124, que permitirá una combustión eficiente cuando se inyecte el combustible.

15 **[0041]** Si T_i no es mayor o igual que T_{diana} (correspondiente a un modo de "funcionamiento normal"), el controlador controla la sincronización de la válvula de escape 134 de modo que la válvula de escape 134 se cierre antes de que el pistón de combustión alcance el PMS, haciendo que una parte del gas de escape quede atrapado en el cilindro de combustión 126.

20 **[0042]** Si T_i es mayor o igual que T_{diana} (correspondiente a un modo de "arranque en frío"), el controlador controla el tiempo de funcionamiento de la válvula de escape 134 de modo que la válvula de escape 134 se cierre en el punto donde el pistón de combustión está en PMS, en cuyo punto, la mayor parte del gas de escape se habrá expulsado a medida que el gas comprimido se calienta suficientemente por el recuperador.

25 **[0043]** La Figura 4 muestra una representación de los tiempos relativos (como ángulos de fase/ángulos de cigüeñal) de las operaciones de apertura y cierre de las válvulas del cilindro de combustión en un modo de funcionamiento normal. Las líneas radiales más largas (400, 404 y 408) representan eventos de control de la válvula. Un recorrido completo del círculo en el sentido de las agujas del reloj de 360° representa un ciclo completo del pistón.

30 **[0044]** En el ángulo de fase 408, todas las válvulas del cilindro de combustión 126 están cerradas y una mezcla combustible está presente en el cilindro de combustión. El pistón de combustión está en PMS. A continuación, la mezcla se enciende y el pistón se mueve hacia el PMI.

35 **[0045]** Moviéndose en el sentido de las agujas del reloj, el ángulo de fase 400 representa la apertura de la válvula de escape (AVE), que ocurre un corto período de tiempo antes de que el pistón de combustión alcance el PMI. Esta posición se puede describir mediante la cantidad de grados en el sentido de las agujas del reloj desde la línea vertical, correspondiente al desplazamiento del ángulo de fase del pistón de combustión desde el PMS. Por ejemplo, la AVE puede ocurrir a 170° como en el ejemplo que se muestra en la Figura 4.

40 **[0046]** La válvula de escape 134 está abierta hasta el ángulo de fase 404, aproximadamente 340° en el ejemplo mostrado, en cuyo punto se produce el evento de cierre de la válvula de escape (CVEs). Esto es justo antes del evento de apertura de la válvula de admisión (AVA) de fluido que ocurrirá inmediatamente después del CVEs. En la Figura 4, la línea para este evento no se muestra por separado, ya que el tiempo entre este evento y el evento de cierre de la válvula de escape (CVEs) es demasiado corto para mostrarse claramente. La válvula de entrada se abre a continuación hasta que se completa el ciclo completo a 360°, momento donde tiene lugar el cierre de la válvula de entrada (CVEN), el pistón de combustión está en el PMS y la mezcla combustible se enciende a 0°/360° y a continuación se repite el ciclo.

50 **[0047]** En un modo de arranque en frío, el ángulo de fase del CVEs/AVA cambia a medida que se reduce el tiempo que la válvula de escape 134 está abierta. Esto significa que CVEs/AVA se produce en un desplazamiento de ángulo de fase más pequeño. Este desplazamiento del ángulo de fase puede describirse como un número de grados antes del PMS (0°). Un ejemplo se muestra como una línea discontinua 403 en la Figura 4, donde la AVEs/AVA ocurre aproximadamente 60° antes del PMS.

55 **[0048]** La Figura 5a muestra un pistón de combustión 128 dentro del cilindro de combustión 126. Se muestran varias posiciones posibles del pistón de combustión 128, indicadas por líneas discontinuas, correspondientes a las posiciones de cierre temprano de la válvula de escape 134.

60 **[0049]** El PMS se indica mediante la línea discontinua superior 500. Esta es la posición del pistón que corresponde a la posición de "cierre normal" de la válvula de escape, donde se encuentra que la temperatura indicada es lo suficientemente alta y todos los gases de escape son expulsados del cilindro de combustión durante el transcurso de una carrera de retorno completa del pistón de combustión (128). Las posiciones del pistón para varias posiciones tempranas de cierre de la válvula de escape, correspondientes a varios modos de funcionamiento de arranque en frío,

se indican mediante líneas discontinuas adicionales (501, 502 y 503).

[0050] Una primera posición de cierre temprano de la válvula de escape está representada por la línea 501, que corresponde a que el pistón de combustión está en un ángulo de fase de x° antes del PMS. (En este ejemplo, la posición marcada x° representa una posición $(360-x)^\circ$ en el sentido de las agujas del reloj alrededor del círculo descrito en referencia a la Figura 4).

[0051] Una segunda posición de cierre temprano de la válvula de escape está representada por la línea (502), que corresponde a que el pistón de combustión está en un ángulo de fase de y° antes del PMS, donde y° es un ángulo mayor con respecto al desplazamiento del PMS que x° . Esta posición corresponde a una posición de cierre de válvula anterior a la primera posición de cierre.

[0052] Una tercera posición de cierre temprano de la válvula de escape está representada por la línea 503, que corresponde a que el pistón de combustión está en un ángulo de fase de z° antes del PMS. PMS, donde z° es un mayor desplazamiento angular del PMS que y° . Esta posición corresponde a una posición de cierre de la válvula de escape anterior a la primera y segunda posiciones de cierre de la válvula de escape. En este ejemplo, la tercera posición de cierre temprano de la válvula de escape representa la posición máxima de cierre temprano de la válvula de escape. Esta es la primera vez que la válvula de escape 134 puede cerrarse y deja la mayor cantidad de gases de escape en el cilindro de combustión 126, lo que permitirá que el fluido comprimido, que se lleva al cilindro cuando se abre la válvula de entrada, se caliente tanto como sea posible. Sin embargo, la retención de cualquier cantidad mayor de gases de escape puede tener un efecto perjudicial.

[0053] La elección de la posición donde se cierra la válvula de escape 134 varía según los datos que el controlador 100 recibe de cualquier sensor conectado. Tal como se analizó anteriormente, el punto donde se cierra la válvula de escape 134 puede variar dependiendo de los datos de temperatura de un sensor de temperatura. Cuando el sensor de temperatura indica una temperatura que es superior o igual a la temperatura diana, se utiliza un modo de funcionamiento normal y la válvula de escape 134 se cierra en el PMS. Esta temperatura diana podría ser una temperatura diana para la combustión de modo que la mezcla de combustible fluido esté a esta temperatura antes de la ignición.

[0054] Si la temperatura es inferior a T_{diana} , la válvula de escape 134 se puede cerrar en una posición (ángulo de fase) z° , y° o x° , por ejemplo, antes del PMS. La selección del punto de cierre temprano apropiado de la válvula de escape (modo de arranque en frío) puede determinarse por referencia a una tabla de consulta, tal como la que se muestra en la Figura 5c, donde se mapean diferentes posiciones de cierre temprano en diferentes intervalos de temperatura indicados. En general, al arrancar, cuando T_i está generalmente en su punto más bajo, el controlador 100 puede seleccionar la posición máxima de cierre temprano de la válvula de escape z° 503, para retener la cantidad máxima aceptable de gas de escape dentro del cilindro de combustión para un efecto de calentamiento máximo. En un ciclo de motor posterior cuando T_i ha aumentado, pero aún está por debajo de T_t , el controlador puede seleccionar una posición intermedia de cierre temprano de la válvula de escape, como y° 502. De nuevo en un ciclo posterior cuando T_i ha aumentado aún más, pero aún está por debajo de T_{diana} , el controlador 100 puede seleccionar otra posición de cierre temprano de la válvula de escape, x° 501, que está más cerca del PMS. En un ciclo de motor posterior cuando T_i coincide o excede T_{diana} , el controlador puede seleccionar la posición de cierre normal, con el pistón en PMS, donde todos los gases de escape son expulsados al finalizar la carrera de retorno, ya que no se requiere calentamiento adicional.

[0055] El procedimiento de decisión del controlador se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 5b. El controlador 100 recibe datos de temperatura del sensor de temperatura. La temperatura indicada, T_i , se compara con la temperatura diana, T_{diana} . Si la temperatura indicada, T_i , es mayor o igual que T_{diana} , el controlador 100 controlará que la válvula de escape 134 se cierre cuando el pistón de combustión alcance el PMS. Si T_i es menor que T_{diana} , a continuación, el controlador 100 comparará T_i con una segunda temperatura, T_x , que es menor que la temperatura diana. Si T_i es mayor que T_x , a continuación, el controlador 100 controla la válvula de escape 134 para que se cierre en un ángulo de fase de x° antes de que el pistón de combustión alcance el PMS, como se puede observar en la Figura 5a. Después de esta comparación, el controlador 100 verifica si T_x es la temperatura de corte, T_{corte} . Si estas temperaturas coinciden, el controlador 100 controla la válvula de escape para que se cierre en la posición correspondiente, ya que esta es la posición de corte, o "posición máxima de cierre temprano de la válvula de escape", para el motor. Este árbol de decisión continúa en la Figura 5b con T_i siendo comparado sucesivamente con T_y y T_z . Cada uno de estos tiene una posición asociada, que corresponde respectivamente al pistón de combustión que tiene un ángulo de fase de y° y z° antes del PMS. En los ejemplos, podría haber umbrales de temperatura adicionales que van desde T_{diana} hasta T_{corte} . Finalmente, T_z es igual a la temperatura de corte correspondiente a la posición máxima de cierre temprano y, por lo tanto, el controlador 100 controla la válvula de escape 134 para que se cierre en una posición máxima de cierre temprano de la válvula de escape donde el cilindro de combustión está en un ángulo de fase z° antes de PMS.

[0056] La posición máxima de cierre temprano de la válvula de escape puede definirse como el punto donde no se derivaría un valor mayor de retener más gases de escape dentro del cilindro de combustión, o en cuyo punto

los efectos negativos de retener los gases de escape superarían el beneficio de temperatura. Este procedimiento de decisión puede ocurrir después de cada ciclo del pistón de combustión, de modo que el controlador 100 pueda proporcionar una posición de cierre anticipado actualizada para cada ciclo del pistón.

5 **[0057]** La Figura 5c muestra una tabla de consulta de estos valores, con los puntos de temperatura establecidos y sus posiciones de cierre de la válvula de escape 134 correspondientes. El controlador 100 puede almacenar esto en una memoria, lo que permite que la temperatura diana y otras temperaturas umbral se recuperen de una tabla de consulta y se comparen con la temperatura indicada. Por ejemplo, podría haber una situación donde $z^\circ = 120^\circ$, $y^\circ = 80^\circ$ y $x^\circ = 40^\circ$. En otros ejemplos, podría haber más o menos posiciones intermedias entre la posición máxima de
10 cierre temprano y el PMS.

[0058] En otras realizaciones, la posición de cierre anterior se calcula según un algoritmo que tiene en cuenta la temperatura indicada y/o una temperatura diana. Esta puede ser una simple relación de dependencia proporcional o de una forma más compleja.

15 **[0059]** La Figura 6 muestra un procedimiento de decisión ejemplar para controlar una válvula de entrada de criógeno de un cilindro de compresión de un motor de ciclo dividido donde la cantidad de criógeno inyectado en el cilindro de compresión se controla dependiendo de una indicación de temperatura. Al recibir una indicación de temperatura, el controlador 100 compara T_i con una temperatura diana, T_{diana} . Si la temperatura indicada es mayor, el
20 controlador 100 controla la entrada de criógeno al cilindro de compresión 104 para permitir una cantidad de criógeno de "funcionamiento normal" en el cilindro de compresión 104. La cantidad puede ser controlada por el controlador que determina la cantidad de criógeno.

[0060] Esto puede usar los mismos datos de temperatura que el controlador para operar la sincronización de la válvula de escape y se puede hacer además de la sincronización de la válvula y la inyección de agua del recuperador. En otros ejemplos, el controlador puede usar datos de temperatura separados, recopilados por un sensor diferente. Por supuesto, esto se aplica tanto a los datos del sensor de presión como de concentración de oxígeno y a los sensores correspondientes donde se recopilan estos datos.

30 **[0061]** Si la temperatura indicada es menor que la temperatura diana, el controlador 100 puede controlar la entrada de criógeno para permitir un "arranque en frío" de la cantidad de criógeno en el cilindro de compresión 104. Esta cantidad puede determinarse mediante una toma de decisiones adicional, como comparar la temperatura indicada con un intervalo de valores de temperatura establecidos, o mediante un cálculo. No se puede inyectar criógeno en el cilindro de compresión 104 durante el modo de arranque en frío.

35 **[0062]** El procedimiento descrito anteriormente donde el parámetro detectado es la temperatura indicada que se compara con las temperaturas diana se puede aplicar en la circunstancia donde el parámetro detectado es la presión o la concentración de oxígeno. En estos casos, la indicación del sensor de presiones o concentraciones de oxígeno se compararía, por supuesto, con las presiones o concentraciones de oxígeno diana, según sea el caso, lo
40 que permitiría al controlador 100 determinar una posición de cierre de escape temprana para la válvula de escape 134 según estos parámetros o indicaciones.

[0063] Cuando la temperatura indicada es mayor que una temperatura diana para el funcionamiento en "modo normal", se puede habilitar un "modo caliente" de funcionamiento. En este modo, la cantidad de líquido criogénico
45 añadido puede optimizarse según la temperatura en la entrada, por lo que en condiciones de alta carga cuando hay más calor disponible, la temperatura es menor al final de la compresión que antes de realizar el trabajo de compresión. La cantidad de criógeno en "modo caliente" se entenderá como una cantidad y/o tasa de inyección de criógeno por carrera de compresión más alta que la cantidad en "modo normal", de modo que se permita controlar la temperatura del fluido dentro del cilindro de compresión dentro de los límites de seguridad. Para un control adicional de la temperatura y la protección del hardware, se podría añadir agua al recuperador en condiciones de alta carga. La Figura
50 7 muestra una vista en sección transversal que ilustra un ejemplo de la culata del cilindro de combustión 126 que se puede usar en el motor de ciclo dividido y que incluye las válvulas de entrada 124 y salida 134. En este diagrama, la válvula de entrada 124 se abre en una dirección contraria al cilindro de combustión 126. La válvula de entrada 124 es operable para moverse entre una primera posición cerrada 710 y una segunda posición abierta 712. La válvula de escape 134 es una válvula que se abre hacia adentro que es operable para permitir que el gas de escape salga del cilindro de combustión 126, hacia la vía de escape 136 que está acoplada al recuperador 118. Las válvulas son operadas por el aparato de control de válvulas que está conectado al controlador 100 al que se hace referencia en la Figura 1.

60 **[0064]** La Figura 8 muestra un esquema de un motor de combustión interna de ciclo dividido 101. La Figura 8 es similar a la Figura 1 y con los mismos elementos o similares que tienen la misma funcionalidad o similar. La Figura 8 ilustra un controlador 100 conectado a la válvula de entrada 124. En el ejemplo ilustrado, un sensor de temperatura 122 está dispuesto cerca de una admisión de fluido del cilindro de combustión 126, en un punto a lo largo de la trayectoria 120 del fluido comprimido entre el recuperador 118 y la válvula de admisión de fluido del cilindro de
65 combustión 124. Este sensor 122 es operable para detectar la temperatura del fluido comprimido e informar los datos

de temperatura detectados al controlador 100. En el motor de ejemplo 101 de la Figura 8, el controlador 100 está dispuesto para recibir estos datos de temperatura y controlar la sincronización de la válvula de entrada 124 en el cilindro de combustión 126 basándose al menos en parte en los datos de temperatura recibidos. Se debe apreciar en el contexto de esta descripción que el sensor podría colocarse en cualquier ubicación adecuada para detectar una indicación de un parámetro asociado con el cilindro de combustión y/o un fluido asociado con el mismo. Por ejemplo, el sensor puede colocarse en el recuperador o en una salida de escape del cilindro de combustión.

[0065] La válvula de entrada 124 está configurada para controlar el flujo de fluido hacia el cilindro de combustión. En funcionamiento, el controlador está dispuesto para recibir una indicación de un parámetro asociado con el cilindro de combustión y/o un fluido asociado con el mismo. En respuesta a la recepción de la indicación, el controlador está configurado para determinar si el parámetro indicado satisface los criterios de umbral, por ejemplo, si un valor para el parámetro indicado es igual o superior a un valor diana. El controlador 100 está conectado a la válvula de entrada 124 para controlar la apertura y el cierre de la válvula de entrada.

[0066] En este ejemplo, se puede considerar que el ciclo del pistón comienza con el pistón de combustión 128 en su posición de punto muerto inferior ('PMI'). Según la rotación del cigüeñal 114, el pistón de combustión 128 se mueve hacia arriba desde el PMI hacia su posición de punto muerto superior ('PMS'), antes de regresar al PMI. Por consiguiente, se puede considerar que el ciclo del pistón comprende que el pistón de combustión 128 se mueva del PMI al PMI a través del PMS. El pistón de combustión 128 está obligado a moverse a lo largo de un solo eje, que es el eje longitudinal del cilindro de combustión. Este movimiento del pistón de combustión 128 está según la rotación del cigüeñal 114, que gira de forma circular, por lo que el movimiento del pistón de combustión cerca del PMS y del PMI es más lento a medida que el movimiento circular del cigüeñal produce solo un pequeño movimiento en la dirección de dicho eje para cada grado de rotación en esa región. Por lo tanto, cerca del PMS y del PMI, el cambio en el volumen del cilindro encerrado por el pistón de combustión cambia lentamente, y el cambio en la presión en el cilindro de combustión 126 por rotación unitaria del cigüeñal 114 (es decir, el "ángulo de fase" o "ángulo de cigüeñal") disminuye. Se debe apreciar que la posición del pistón de combustión 128 en el cilindro de combustión 126 se puede expresar en términos de grados de rotación del cigüeñal.

[0067] El controlador 100 está configurado para controlar la apertura y el cierre de la válvula de entrada 124 dinámicamente de modo que la válvula de entrada 124 pueda abrirse cuando el pistón de combustión 128 está en diferentes posiciones en el cilindro de combustión 126. Por lo tanto, la válvula de entrada 124 se puede abrir en diferentes etapas durante el ciclo del pistón. Durante un "arranque en frío" del motor, el controlador 100 se dispondrá para hacer que la válvula de entrada 124, por ejemplo, para controlar la válvula de entrada 124, se abra en una posición de apertura temprana durante el ciclo del pistón. Durante las condiciones de funcionamiento "normales" del motor, cuando el fluido de trabajo está lo suficientemente caliente como para que se produzca una combustión suficiente, el controlador 100 controlará la válvula de entrada 124 para que se abra en una posición de apertura tardía. El controlador 100 está configurado para determinar si se debe operar el motor en el modo de arranque en frío o en el modo normal según el parámetro indicado recibido.

[0068] El parámetro indicado recibido por el controlador 100 será indicativo de una propiedad del cilindro de combustión y/o el fluido asociado con el mismo. Lograr una combustión estable y rápida ha sido problemático con los motores de combustión interna de ciclo dividido. En particular, durante el arranque en frío del motor, el fluido de trabajo puede estar relativamente frío, lo que a menudo da como resultado una combustión inferior, por lo que dichos motores pueden no ser capaces de arrancar adecuadamente. Además, la presencia de demasiada agua y/o insuficiente oxígeno puede impedir que se produzca una combustión adecuada.

[0069] Para tener en cuenta esto, el parámetro indicado recibido por el controlador 100 puede comprender uno de: una temperatura, una presión, una concentración de oxígeno o una concentración de agua asociada con el fluido de trabajo en el cilindro de combustión 126. El valor diana para el parámetro corresponderá al parámetro indicado. El parámetro indicado que satisface el valor diana representará el parámetro indicado que indica que las condiciones en el cilindro de combustión 126 son adecuadas para la combustión. En consecuencia, cuando el valor diana es una temperatura, presión o concentración de oxígeno, un valor mayor o igual que el parámetro diana indicará condiciones de combustión adecuadas. Si el parámetro indicado es una concentración de agua, un valor menor que el parámetro diana indicará condiciones de combustión adecuadas.

[0070] Cuando el parámetro indicado recibido indica que el valor diana no se ha cumplido, y que las condiciones no son adecuadas para la combustión, el controlador 100 controlará la válvula de entrada 124 para que funcione según un modo de operación de "arranque en frío". En este modo, el controlador 100 controlará la válvula de entrada 124 para que se abra en una "posición de apertura temprana" durante el ciclo del pistón. La posición de apertura temprana será antes del PMS, durante la carrera de retorno del pistón de combustión 128 antes de que dicho pistón de combustión 128 alcance su posición del PMS. La ubicación de la posición de apertura temprana es tal que el movimiento continuo del pistón de combustión 128 proporcionará un efecto de compresión sustancial en el fluido de trabajo. El controlador 100 está configurado para abrir la válvula de entrada 124 en la posición de apertura temprana donde el pistón de combustión 128 está en un ángulo de manivela de x° detrás del PMS, donde, por ejemplo, la posición de apertura temprana puede estar 5° por delante del PMS, 10° por delante del PMS, 20° por delante del PMS,

30° por delante del PMS. La apertura de la válvula de entrada 124 antes del PMS permite que el fluido de trabajo fluya hacia el cilindro de combustión 126 mientras el pistón de combustión 128 todavía se está moviendo hacia el PMS. El movimiento continuo del pistón de combustión 128 proporciona una compresión del fluido de trabajo que aumentará su temperatura. El aumento de la temperatura del fluido de trabajo puede mejorar las condiciones de combustión en el cilindro de combustión 126.

[0071] Para el motor de combustión interna de ciclo dividido 101 ilustrado en la Figura 8, el escape del cilindro de combustión 126 se retroalimenta a través de un recuperador 118, que está acoplado térmicamente al fluido de trabajo para ser introducido en el cilindro de combustión 126. Por lo tanto, para que el recuperador 118 caliente suficientemente el fluido a introducir en el cilindro de combustión 126, es deseable que el recuperador 118 reciba fluidos de escape suficientemente calientes del cilindro de combustión 126. Si esta transferencia de calor es insuficiente, por ejemplo, debido a una combustión insuficiente en el cilindro de combustión 126, puede no ser posible mantener el funcionamiento del motor. Por consiguiente, es importante que el fluido de trabajo esté lo suficientemente caliente como para permitir una combustión adecuada y, por lo tanto, un funcionamiento continuo del motor.

[0072] Se puede lograr proporcionar un fluido de trabajo suficientemente caliente mediante la apertura temprana de la válvula de entrada 124, ya que la compresión adicional del pistón de combustión 128 puede proporcionar el calentamiento necesario del fluido de trabajo. Debe entenderse que puede haber una compensación entre abrirse demasiado pronto e impedir el movimiento del pistón de combustión 128 debido a la entrada de fluido presurizado, y abrirse lo suficientemente temprano como para lograr un calentamiento suficiente del fluido de trabajo. En consecuencia, el controlador 100 puede estar configurado de modo que haya una posición de apertura temprana máxima para la válvula de entrada 124, donde la válvula de entrada 124 se abre z° detrás del PMS.

[0073] Adicionalmente, el controlador puede configurarse para proporcionar monitoreo y control dinámico de la válvula de entrada 124 al monitorear continuamente el parámetro indicado y variar la posición de apertura de la válvula de entrada 124 según el parámetro indicado. Por ejemplo, el valor de x° para la posición de apertura temprana donde el pistón de combustión 128 está x° por delante del PMS puede variarse continuamente según una diferencia entre el parámetro indicado y el valor diana para el parámetro. Por lo tanto, el controlador 100 puede controlar la válvula de entrada 124 para que se abra antes en el ciclo del pistón cuando el parámetro indicado del cilindro de combustión y/o el fluido de trabajo está más lejos del valor diana. Por consiguiente, cuando el fluido está muy frío, el controlador 100 controlará la válvula de entrada 124 para que se abra muy temprano, por ejemplo, en z° , para proporcionar al fluido de trabajo una mayor cantidad de compresión y, por lo tanto, calentamiento.

[0074] El controlador 100 puede configurarse para abrir la válvula de entrada 124 en una serie continua de posiciones en el ciclo del pistón. El controlador 100 puede configurarse para seleccionar una de una pluralidad de posiciones de apertura temprana discretas para la válvula de entrada 124 para las posiciones del pistón de combustión 128 entre un ángulo de fase z° por delante del PMS y el PMS, según la diferencia entre la temperatura indicada y la temperatura diana. El controlador 100 puede realizar esta operación de una manera análoga a la descrita anteriormente para la válvula de escape.

[0075] Cuando el parámetro indicado recibido indica que se ha cumplido el valor diana y que existen condiciones adecuadas para la combustión, el controlador 100 controlará la válvula de entrada 124 para que funcione según un "modo de funcionamiento normal". En este modo, la válvula de entrada 124 se abrirá para permitir el flujo de fluido hacia el cilindro de combustión 126 en una posición de "apertura tardía" durante el ciclo del pistón. La posición de apertura tardía es más tardía en el ciclo del pistón que la posición de apertura temprana. Por lo general, estará más cerca del PMS que la posición de apertura temprana; puede estar en el PMS, o justo antes.

[0076] Es deseable que todo el fluido de trabajo en el recuperador 118 se haya transferido al cilindro de combustión 126 tan pronto como sea posible después de que el pistón de combustión 128 haya alcanzado su posición PMS para que el ángulo del cigüeñal no sea demasiado grande antes de que ocurra el encendido. El controlador 100 puede controlar la válvula de entrada 124 para que se abra en el PMS o muy poco después del PMS. Alternativamente, el controlador 100 puede controlar la válvula de entrada 124 para que se abra ligeramente antes de que el pistón de combustión haya alcanzado su posición de PMS. Por ejemplo, la válvula de entrada 124 puede controlarse para abrirse durante la carrera de retorno del pistón de combustión, antes de que el pistón de combustión haya alcanzado su posición de PMS. Por ejemplo, 1° antes del PMS, por ejemplo 3° antes del PMS, por ejemplo 5° antes del PMS. Como el movimiento del pistón de combustión 128 en el cilindro de combustión 126 en estas posiciones antes del PMS es muy pequeño en relación con la rotación angular del cigüeñal 114, solo se realiza una cantidad insignificante de compresión en cualquier fluido de trabajo en el cilindro de combustión 126. Por lo tanto, cualquier aumento en la temperatura del fluido de trabajo o de la resistencia del fluido al movimiento del pistón de combustión 128 no es un problema significativo. Una vez que todo el fluido está en el cilindro de combustión 126, el controlador 100 controlará que la válvula de entrada 124 se cierre.

[0077] Un ejemplo de procedimiento de funcionamiento del motor de combustión interna de ciclo dividido se describirá ahora con referencia a las Figuras 9a y b. La Figura 9a muestra esquemáticamente un procedimiento de control del cilindro de combustión durante un modo de funcionamiento de arranque en frío, que incluye las etapas

900a, 902a, 904a, 906a y 908a en comparación con la Figura 9b que muestra las etapas 900b, 902b, 904b, 906b y 908b de un modo de funcionamiento normal. En las Figuras 9a y 9b, se recibe una indicación de un parámetro asociado con el cilindro de combustión y/o un fluido asociado con el mismo, y la válvula de entrada 124 del cilindro de combustión 126 se controla según el parámetro indicado. En la Figura 9a, el parámetro indicado es menor que un valor diana, y la
 5 válvula de entrada 124 se controla para abrirse en una posición de apertura temprana. En la Figura 9b, el parámetro indicado es igual o superior al valor diana, y la válvula de entrada 124 se controla para abrirse en una posición de apertura tardía.

[0078] En la Figura 9a, en la etapa 900a, la mezcla de fluido-combustible comprimido ("el fluido de trabajo") se
 10 enciende a medida que el pistón de combustión 128 está en, o poco después de, el PMS. Dependiendo del tipo de combustible del motor, este encendido podría iniciarse mediante una bujía o un autoencendido. El aumento de la presión debido a la energía liberada de la combustión de combustible impulsa el pistón de combustión hacia el punto muerto inferior (PMI), impulsando aún más el cigüeñal 114. Una vez que el pistón alcanza el PMI, la mezcla quemada se ha expandido para llenar el cilindro de combustión 126 y la válvula de escape 134 se abre (etapa 902a). El pistón
 15 de combustión a continuación avanza hacia el PMS, expulsando los gases de escape por la válvula de escape 134.

[0079] En el modo de arranque en frío, la válvula de entrada 124 se abre antes de que el pistón de combustión 128 alcance el PMS. La válvula de entrada 124 se abre poco después de que se cierre la válvula de escape 134. Esto se muestra en la etapa 904a, donde la válvula de entrada 124 se abre cuando el pistón se encuentra a
 20 aproximadamente el 65 % del camino desde el PMI hasta el PMS. Esto permite que el fluido comprimido del cilindro de compresión/recuperador fluya hacia el cilindro de combustión 126. Este fluido de entrada a continuación se comprime adicionalmente hasta que el pistón alcanza el PMS, como se muestra en la etapa 906a. La válvula de entrada 124 se cierra y se enciende el combustible inyectado (etapa 908a), iniciando el ciclo nuevamente. Proporcionar calentamiento/compresión adicional del fluido de trabajo puede conducir a un aumento en la eficiencia del motor al
 25 compensar la falta de calor en el motor y, en particular, en el recuperador 188.

[0080] Esto contrasta con el modo de funcionamiento normal de la Figura 9b. En este ciclo, las etapas 900b, 902b, 906b y 908b corresponden a 900a, 902a, 906a y 908a respectivamente. La diferencia entre el modo de arranque en frío y el modo de funcionamiento normal se resalta en la etapa 904b. Aquí, la válvula de entrada 124 se cierra hasta
 30 que el pistón de combustión alcanza el PMS, de modo que no se puede lograr una compresión adicional del fluido de entrada utilizando el pistón de combustión 128. En este modo, el motor está funcionando "normalmente", por lo que se introduce poco o nada de fluido en el cilindro de compresión sustancialmente antes del PMS. Aquí, como se analizó anteriormente, sustancialmente antes del PMS se refiere a la sincronización de la entrada de fluido para que el fluido experimente una cantidad sustancial de compresión desde el pistón de combustión 128.
 35

[0081] A continuación, se describirá otro ejemplo con referencia nuevamente a la Figura 8. En este ejemplo, el controlador 100 está dispuesto para controlar tanto la válvula de entrada 124 como la válvula de escape 134 según una indicación recibida de un parámetro del cilindro de combustión 128 y/o un fluido asociado con el mismo. Como se ha descrito anteriormente con referencia a la apertura temprana de la válvula de entrada 124, el controlador 100 está
 40 dispuesto para controlar la válvula de entrada 124 del cilindro de combustión 126 para que se abra en una posición de apertura temprana durante un ciclo del pistón, cuando un valor para el parámetro indicado recibido es menor que un valor diana para el parámetro. Además, como se describió anteriormente con referencia al cierre temprano de la válvula de escape 134, el controlador 100 está dispuesto para controlar que la válvula de escape 134 del cilindro de combustión 126 se cierre en una posición de cierre temprano durante el ciclo del pistón, cuando un valor para el
 45 parámetro indicado recibido es menor que un valor diana para el parámetro. En consecuencia, el controlador puede controlar la válvula de entrada 124 para que se abra en una posición de apertura tardía, en respuesta a que el parámetro indicado recibido sea igual o superior al valor diana. Del mismo modo, el controlador puede controlar que la válvula de escape 134 se cierre en una posición de cierre tardío, en respuesta a que el parámetro indicado recibido sea igual o superior al valor diana.
 50

[0082] El controlador 100 puede configurarse para determinar una posición en el ciclo del pistón para la apertura y el cierre de cada válvula según, al menos en parte, una posición de apertura y/o cierre determinada para la otra válvula. El controlador 100 está configurado para garantizar que la válvula de escape 134 se cierre antes de que se abra la válvula de entrada 124. De lo contrario, la entrada de aire comprimido puede fluir a través de la válvula de
 55 entrada 124 y salir directamente de la válvula de escape 134 sin ser utilizada para realizar ningún trabajo sustancial en el pistón de combustión 128. Del mismo modo, durante y/o después de la combustión a medida que el pistón de combustión 128 se mueve al PMI, el controlador 100 está configurado para garantizar que ambas válvulas permanezcan cerradas para garantizar que se realice la máxima cantidad de trabajo posible en el pistón de combustión 128. En otras posiciones durante el ciclo del pistón, solo una de las dos válvulas estará abierta. El controlador 100
 60 puede determinar qué válvula debe estar abierta, en qué posición y durante cuánto tiempo según el parámetro indicado recibido.

[0083] Por lo tanto, el controlador 100 está configurado para controlar la válvula de escape 134 para que se cierre antes en el ciclo del pistón que la apertura de la válvula de entrada 124. En respuesta a la recepción de una
 65 señal que indica que la válvula de escape 134 está cerrada, el controlador 100 puede configurarse para controlar la

válvula de entrada 124 para que se abra. La diferencia entre el controlador 100 que controla la válvula de escape 134 para que se cierre y la válvula de entrada 124 para que se abra puede expresarse como un retraso de tiempo entre los dos eventos que ocurren, o como una diferencia en la posición del ciclo del pistón para los dos eventos diferentes que ocurren. Por ejemplo, la válvula de escape 134 puede cerrarse a° antes del PMS y la válvula de entrada 124 puede abrirse (a-b)° antes del PMS, donde b es una constante o una variable. El valor para b puede depender del parámetro indicado recibido. Por ejemplo, b puede ser una constante que representa la transición entre los dos estados en el tiempo más rápido permitido por la configuración del motor y el sistema de control. Por ejemplo, b puede ser una variable que es proporcional a la diferencia de valor entre el valor para el parámetro indicado y el valor diana. Puede ser deseable hacer la transición entre los dos estados en el menor tiempo posible.

[0084] Los datos científicos obtenidos de las pruebas de funcionamiento con esta configuración de válvula sugieren que la forma más efectiva de mejorar las condiciones de combustión cuando el motor está frío es abrir la válvula de admisión 124 temprano. El controlador 100 puede comprender una memoria que comprende datos, por ejemplo, en forma de una tabla de consulta. El controlador 100 puede determinar según el parámetro indicado cuánto calentamiento del cilindro de combustión y/o el fluido asociado con el mismo es necesario para lograr las condiciones de combustión seleccionadas. Según esta determinación, el controlador 100 puede usar la tabla de consulta para determinar una contribución relativa de cada estrategia (entrada/escape) a la generación de calor. Por ejemplo, cuánto calor debe generarse comprimiendo el fluido de escape (por ejemplo, a partir del cierre temprano de la válvula de escape 134) y cuánto calor debe generarse comprimiendo aún más el fluido de trabajo (por ejemplo, a partir de la apertura temprana de la válvula de entrada 124). Según esto, el controlador puede controlar ambas válvulas para lograr una relación deseada de generación de calor a partir de las dos estrategias. Alternativamente, el controlador puede favorecer una estrategia sobre la otra, y controlar las válvulas para maximizar la generación de calor por ese medio. Por consiguiente, el controlador 100 puede determinar, y controlar las válvulas para lograr, la generación de calor desde el escape y la entrada en una proporción seleccionada para lograr el nivel deseado de calentamiento.

[0085] Por ejemplo, cuando el aumento deseado de calor en el cilindro de combustión 126 puede ser casi alcanzable cerrando solo la válvula de escape 134 temprano, el controlador 100 puede configurarse para retrasar la diferencia de tiempo entre el cierre de la válvula de escape 134 y la apertura de la válvula de entrada 124 de modo que solo una pequeña fracción de la generación de calor adicional proviene de la compresión del fluido de entrada. En consecuencia, el controlador 100 puede controlar dinámicamente la apertura de la válvula de entrada 124 en relación con el cierre de la válvula de escape 134 según el parámetro indicado recibido.

[0086] Durante una fase de funcionamiento normal del motor, el controlador 100 puede configurarse para controlar la apertura/cierre de las válvulas de modo que la válvula de escape se cierre lo más tarde posible antes del PMS. Como se describió anteriormente, la válvula de entrada 124 puede abrirse ligeramente antes del PMS para permitir que todo el fluido de trabajo entre en el cilindro de combustión 126 para lograr el efecto de combustión deseado. Por consiguiente, el controlador 100 puede controlar la válvula de escape 134 para que se cierre tan pronto como sea posible directamente antes de que controle la válvula de entrada 124 para que se abra.

[0087] Un procedimiento de funcionamiento del ejemplo anterior se describirá ahora con referencia a las Figuras 10a y b. Las Figuras 10A y corresponden muy estrechamente a las de las Figuras 9a y 9b, por lo que no se describirán de nuevo etapas similares. De manera similar, la Figura 10A ilustra el procedimiento de funcionamiento del motor de combustión interna de ciclo dividido durante un "arranque en frío", y la Figura 10B ilustra el procedimiento durante "condiciones de funcionamiento normales". En la Figura 10A, el procedimiento comprende recibir una indicación de un parámetro asociado con el cilindro de combustión y/o un fluido asociado con el mismo, y determinar que el parámetro indicado es menor que un valor diana para el parámetro. La Figura 10B se incluye como un ejemplo con fines ilustrativos de un procedimiento que incluye determinar que el parámetro indicado es igual o superior al valor diana.

[0088] La principal diferencia entre las dos Figuras se produce en las etapas 1004 y 1006. En la etapa 1004a, la válvula de escape 134 se controla para que se cierre antes de que el pistón de combustión 128 haya alcanzado el PMS. En la etapa 1006a, la válvula de entrada 124 se controla para que se abra antes de que el pistón de combustión 128 haya alcanzado el PMS, pero después de que la válvula de escape 134 se haya cerrado. Por el contrario, en la etapa 1004b, la válvula de escape 134 permanece abierta, y solo se cierra en la etapa 1006b, donde el pistón de combustión 128b está allí o alrededor del PMS. La válvula de entrada 124 se abre a continuación en la etapa 1008b donde el pistón de combustión 128 está en PMS.

[0089] La Figura 11 muestra un ejemplo de traza de presión para un funcionamiento óptimo del motor de combustión interna de ciclo dividido durante un modo de funcionamiento normal. Al moverse de izquierda a derecha, durante la pata de retorno del pistón de combustión 128, la presión del cilindro permanece bastante constante a medida que el pistón de combustión 128 se mueve hacia el PMS desde el PMI con la válvula de escape 134 abierta y la válvula de entrada 124 cerrada. En el punto A, la válvula de escape 134 comienza a cerrarse, y en el punto B está completamente cerrada. En respuesta al cierre de la válvula de escape 134, la presión del cilindro comienza a aumentar. En el punto C, que está ligeramente antes del PMS, la válvula de entrada 124 comienza a abrirse de modo que esté completamente abierta en el PMS. La válvula de entrada 124 permanece completamente abierta hasta el

punto D, que es poco después del PMS donde comienza a cerrarse. En el punto E, la válvula de entrada 124 está completamente cerrada.

[0090] Durante la apertura y el cierre de la válvula de entrada, la presión del cilindro aumenta constantemente hasta que comienza la combustión, en cuyo punto la presión del cilindro aumenta rápidamente hasta un máximo en el punto F. Después del punto F, la presión del cilindro disminuye constantemente a medida que el pistón de combustión 128 se mueve desde el PMS hacia el PMI.

[0091] La Figura 12 muestra una gráfica que ilustra los resultados de variar la temporización de la apertura de la válvula de entrada y el cierre de la válvula de escape. Los resultados ilustrados en la Figura 12 se obtuvieron según el motor que funciona a 800 rpm. Las líneas continuas representan la apertura temprana de la válvula de entrada y el cierre temprano de la válvula de escape, y las líneas discontinuas representan la apertura tardía y el cierre tardío.

[0092] Las líneas A y B representan la apertura/cierre de la válvula de escape. La línea A muestra que la válvula de escape se abre temprano a aproximadamente 65° antes del PMS, mientras que la línea B muestra que la válvula de escape se abre tarde a 35° antes del PMS. En ambos casos, el gráfico muestra que se necesitan alrededor de 5 a 10° de rotación para que la válvula de escape se mueva de completamente abierta a completamente cerrada. En ambos casos, el efecto de cerrar la válvula de escape temprano da como resultado un aumento correspondiente en la presión del cilindro ilustrada por las líneas G y H, respectivamente. Las líneas C y D representan la apertura/cierre de la válvula de entrada. Para la línea C, la válvula de entrada comienza a abrirse a unos 23° antes del PMS, mientras que en la línea D la válvula de entrada comienza a abrirse a unos 13° antes del PMS. En ambos casos, se necesitan alrededor de 13° para alcanzar el estado completamente abierto, momento en el cual la válvula comienza a cerrarse nuevamente, lo que tarda alrededor de 13° en cerrarse por completo. Las líneas E y F representan la inyección del combustible en el cilindro. En ambos casos, la inyección es corta y aguda, progresando de cero a su nivel máximo dentro de aproximadamente 2° antes de volver a cero, nuevamente dentro de aproximadamente 2°. La línea E representa la inyección que comienza alrededor de 10° antes del PMS, mientras que la línea F representa la inyección que comienza alrededor de 3° después del PMS.

[0093] El efecto de los dos tiempos se ilustra mediante las líneas G y H, respectivamente, que representan la presión del cilindro. Como se puede observar, la línea G, que corresponde al cierre temprano de la válvula de escape y la apertura temprana de la válvula de entrada, alcanza un pico sustancialmente más alto (y, por lo tanto, una temperatura más alta) de alrededor de 51 bar en comparación con el pico retrasado y más pequeño (41 bar) de la línea H. Por consiguiente, esta gráfica ilustra los beneficios asociados con la apertura temprana de la válvula de entrada y el cierre temprano de la válvula de escape.

[0094] La Figura 13 muestra una gráfica que ilustra los resultados de variar la temporización de la apertura de la válvula de entrada y el cierre de la válvula de escape. Los resultados ilustrados en la Figura 13 se obtuvieron según el motor que funciona a 1200 rpm. De nuevo, las líneas continuas representan la apertura temprana de la válvula de entrada y el cierre temprano de la válvula de escape, y las líneas discontinuas representan la apertura tardía y el cierre tardío.

[0095] Las líneas de la Figura 13 y sus letras de referencia corresponden a las descritas anteriormente en relación con la Figura 12 y, por lo tanto, no se repetirán. La línea A de la Figura 13 muestra el cierre temprano de la válvula de escape, a aproximadamente 75° antes del PMS, y la línea B muestra el cierre de la válvula de escape a aproximadamente 60° antes del PMS. Ambos cierres de válvula dan como resultado un ligero aumento en la presión del cilindro (líneas G y H, respectivamente). A unos 30° antes del PMS, ambas líneas C y D muestran la válvula de entrada abierta, con la línea D abriéndose ligeramente de antemano. La línea D también permanece abierta durante más tiempo, con la válvula de entrada completamente cerrada a aproximadamente 3° después del PMS, en comparación con la válvula de entrada completamente cerrada a aproximadamente 3° antes del PMS para la línea C. La línea E muestra que la inyección comienza a aproximadamente 14° antes del PMS, mientras que la línea F muestra que la inyección comienza a aproximadamente 8° antes del PMS.

[0096] Al igual que con la Figura 12, las líneas G y H representan la presión del cilindro, y es evidente que la línea G alcanza una presión más alta (alrededor de 53 bar y, por lo tanto, representa una temperatura más alta) que la línea H (alrededor de 50 bar). Además, el pico de la línea G llega aproximadamente 5° antes que el de la línea H, con el pico de la línea G justo después del PMS. En consecuencia, esta gráfica ilustra los beneficios de un sistema de sincronización anterior para el motor.

[0097] Se prevé que el control de la temporización de la válvula de escape pueda implementarse individualmente o en combinación con cualquiera de la entrada de criógeno y la inyección de agua del recuperador, para mejorar la eficiencia de los motores de ciclo dividido.

[0098] En ejemplos, el motor de ciclo dividido no necesita emplear inyección de criógeno en el cilindro de compresión.

[0099] En los ejemplos, el motor de ciclo dividido podría usar gasolina, diésel u otro combustible.

[0100] En algunos ejemplos, uno o más elementos de memoria pueden almacenar datos y/o instrucciones de programa utilizadas para implementar las operaciones descritas en esta invención. Las realizaciones de la descripción
5 proporcionan medios de almacenamiento tangibles, no transitorios que comprenden instrucciones de programa operables para programar un procesador para realizar uno cualquiera o más de los procedimientos descritos y/o reivindicados en esta invención y/o para proporcionar un aparato de procesamiento de datos como se describe y/o reivindica en esta invención.

10 **[0101]** Las actividades y aparatos descritos en esta invención pueden implementarse con lógica fija, como conjuntos de puertas lógicas o lógica programable, como software y/o instrucciones de programa informático ejecutadas por un procesador. Otros tipos de lógica programable incluyen procesadores programables, lógica digital programable (por ejemplo, una matriz de puertas programables de campo (FPGA), una memoria de solo lectura programable y borrrable (EPROM), una memoria de solo lectura programable y borrrable eléctricamente (EEPROM)),
15 un circuito integrado de aplicación específica, ASIC o cualquier otro tipo de lógica digital, software, código, instrucciones electrónicas, memoria flash, discos ópticos, CD-ROM, DVD-ROM, tarjetas magnéticas u ópticas, otros tipos de medios legibles por máquina adecuados para almacenar instrucciones electrónicas o cualquier combinación adecuada de los mismos.

20 **[0102]** Se apreciará a partir de la información anterior que los ejemplos mostrados en las Figuras son meramente ejemplares e incluyen características que pueden generalizarse, eliminarse o reemplazarse tal y como se describe en esta solicitud y como se establece en las reivindicaciones. En el contexto de la presente descripción, otros ejemplos y variaciones del aparato y los procedimientos descritos en esta invención serán evidentes para un experto en la materia. El alcance de protección está definido por las reivindicaciones adjuntas.

25

REIVINDICACIONES

1. Un motor de combustión interna de ciclo dividido, que comprende:
 - 5 un cilindro de combustión que aloja un pistón de combustión;
un cilindro de compresión que aloja un pistón de compresión y que está dispuesto para proporcionar fluido comprimido al cilindro de combustión;
y
 - 10 un controlador dispuesto para recibir una indicación de un parámetro asociado con el cilindro de combustión y/o un fluido asociado con el mismo y para controlar una válvula de escape del cilindro de combustión según el parámetro indicado para hacer que la válvula de escape:
se cierre durante la carrera de retorno del pistón de combustión, antes de que el pistón de combustión haya alcanzado su posición de punto muerto superior (PMS), cuando el parámetro indicado es menor que un valor diana para el parámetro; y se cierre al finalizar la carrera de retorno del pistón de combustión, cuando el pistón de combustión alcanza su posición de punto muerto superior (PMS), cuando el parámetro indicado es igual o mayor que el valor diana para el parámetro.
2. El motor de ciclo dividido según la reivindicación 1, donde la indicación de un parámetro es una indicación de una temperatura asociada con el cilindro de combustión y/o un fluido asociado con el mismo, y el valor diana para el parámetro es una temperatura diana.
3. El motor de ciclo dividido según la reivindicación 2, donde la temperatura diana es una temperatura diana para la combustión.
- 25 4. El motor de ciclo dividido según la reivindicación 2 o 3, donde el controlador tiene una memoria que define un modo de funcionamiento normal para temperaturas indicadas iguales o superiores a la temperatura diana y al menos un modo de arranque en frío para temperaturas indicadas inferiores a la temperatura diana.
5. El motor de ciclo dividido según la reivindicación 4, donde en un modo de arranque en frío, el controlador
30 está configurado para cerrar la válvula de escape en una posición de cierre temprano donde el pistón de combustión está por delante del PMS, donde se da una posición máxima de cierre temprano porque el pistón de combustión está en un ángulo de fase z° por delante del PMS.
6. El motor de ciclo dividido según la reivindicación 5, donde el controlador está configurado para variar
35 continuamente la posición de cierre de la válvula de escape entre la posición de cierre temprano máximo y una posición de cierre en modo normal donde el pistón de combustión está en PMS, según la diferencia entre la temperatura indicada y la temperatura diana.
7. El motor de ciclo dividido según cualquiera de las reivindicaciones 2, 3 o 4, donde el controlador está
40 configurado para seleccionar una de una pluralidad de posiciones discretas de cierre temprano para la válvula de escape para las posiciones del pistón de combustión entre un ángulo de fase z° por delante del PMS y el PMS, según la diferencia entre la temperatura indicada y la temperatura diana.
8. El motor de ciclo dividido según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, donde el cilindro de compresión
45 está dispuesto para recibir un líquido que se ha condensado en su fase líquida a través de un procedimiento de refrigeración, de modo que el líquido se vaporiza en su fase gaseosa durante la carrera de compresión del pistón de compresión, de modo que un aumento de temperatura causado por la carrera de compresión está limitado por la absorción de calor por el líquido.
- 50 9. El motor de ciclo dividido según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, donde al menos uno de:
el controlador está dispuesto para recibir una indicación de una presión asociada con el motor o un fluido en el mismo y para controlar la válvula de escape según la presión indicada;
el controlador está dispuesto para recibir una indicación de una concentración de oxígeno asociada con el motor o un fluido en el mismo y para controlar la válvula de escape según la concentración de oxígeno indicada;
55 el controlador está dispuesto para recibir una indicación de una presión asociada con el motor o un fluido en el mismo y para controlar la cantidad del líquido proporcionado al cilindro de compresión según la presión indicada;
y el controlador está dispuesto para recibir una indicación de una concentración de oxígeno asociada con el motor o un fluido en el mismo, controlar la cantidad de líquido proporcionado al cilindro de compresión según la concentración de oxígeno indicada.
- 60 10. El motor de ciclo dividido según la reivindicación 9, donde el controlador está dispuesto para controlar la cantidad de líquido proporcionado al cilindro de compresión según la temperatura indicada.
11. El motor de ciclo dividido según la reivindicación 9, donde el controlador tiene una memoria que define
65 un modo de funcionamiento en caliente para temperaturas indicadas que superan una temperatura umbral que es

mayor que la temperatura diana, donde el controlador está dispuesto en el modo en caliente para:
 controlar al menos una de la velocidad y la cantidad del líquido proporcionado al cilindro de compresión según la temperatura indicada; y opcionalmente para
 controlar la inyección de agua en un recuperador del motor de ciclo dividido según la temperatura indicada.

- 5
12. El motor de ciclo dividido según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 11, que comprende un recuperador dispuesto para acoplar térmicamente el fluido comprimido a un producto de escape del cilindro de combustión para calentar el fluido comprimido proporcionado al cilindro de combustión.
- 10 13. El motor de ciclo dividido según la reivindicación 12, donde, para temperaturas indicadas superiores a una temperatura umbral que es mayor que la temperatura diana, el controlador está dispuesto para controlar la inyección de agua en el recuperador.
14. Un procedimiento de funcionamiento de un motor de combustión interna de ciclo dividido,
- 15 comprendiendo el motor:
 un cilindro de combustión que aloja un pistón de combustión; y
 un cilindro de compresión que aloja un pistón de compresión y que está dispuesto para proporcionar fluido comprimido al cilindro de combustión;
 el procedimiento comprende:
- 20 recibir una indicación de un parámetro asociado con el cilindro de combustión y/o un fluido asociado con el mismo y;
 controlar una válvula de escape del cilindro de combustión según el parámetro indicado para hacer que la válvula de escape:
 se cierre durante la carrera de retorno del pistón de combustión, antes de que el pistón de combustión haya alcanzado su posición de punto muerto superior, cuando el parámetro indicado es menor que un valor diana para el parámetro; y
 se cierre al finalizar la carrera de retorno del pistón de combustión, cuando el pistón de combustión alcanza su posición de punto muerto superior, cuando el parámetro indicado es igual o superior al valor diana para el parámetro.
- 25
- 30
15. Un medio legible por ordenador no transitorio que comprende instrucciones de programa informático configuradas para programar un procesador para realizar el procedimiento según la reivindicación 14.

Figura 1

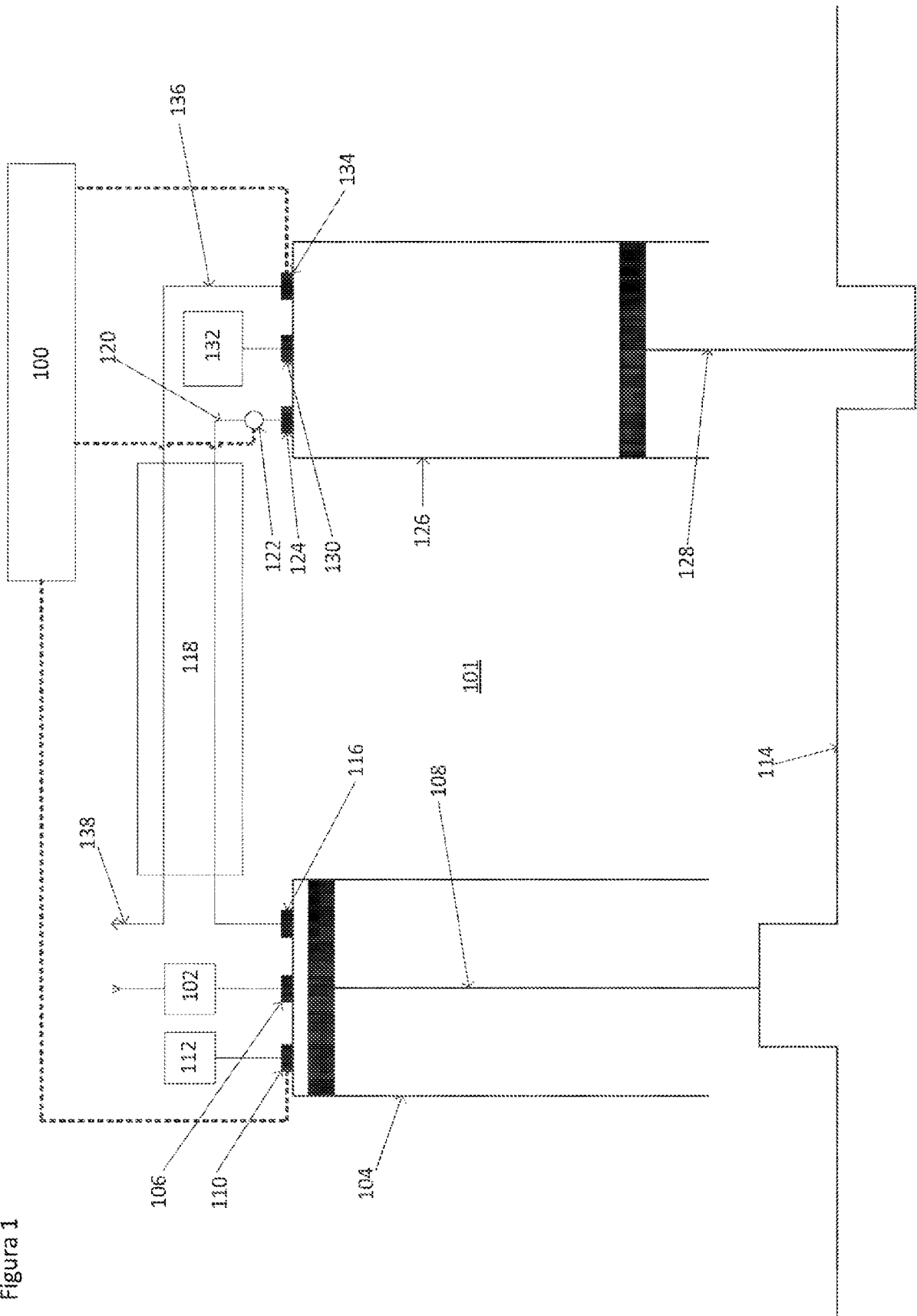


Figura
2a

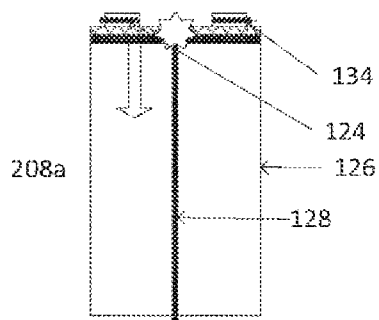
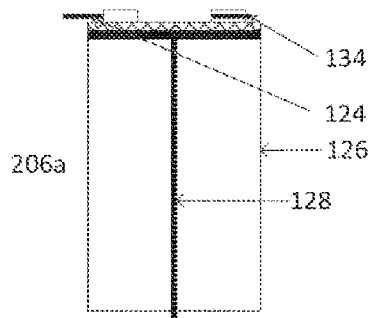
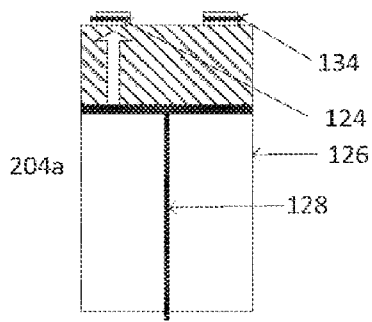
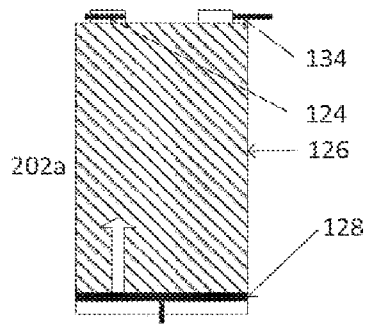
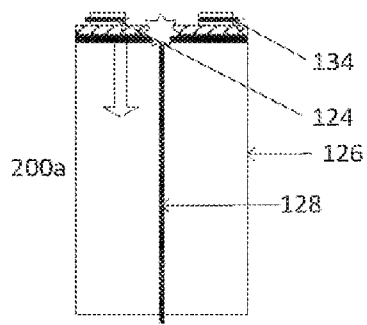


Figura
2b

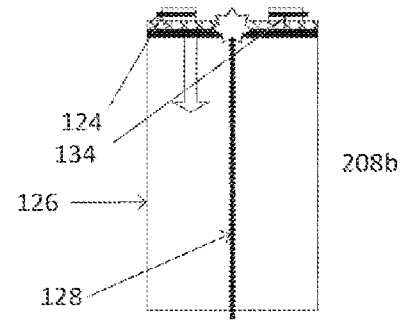
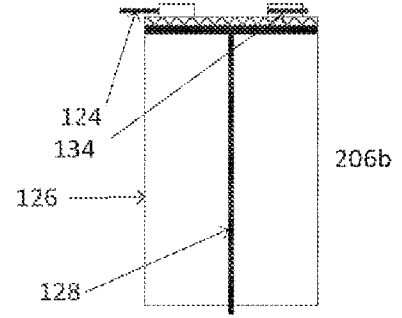
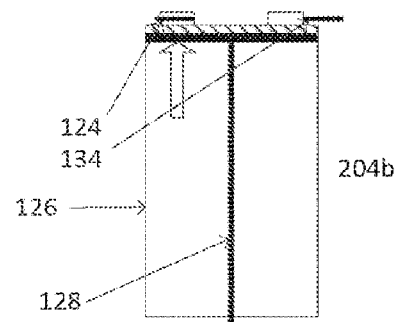
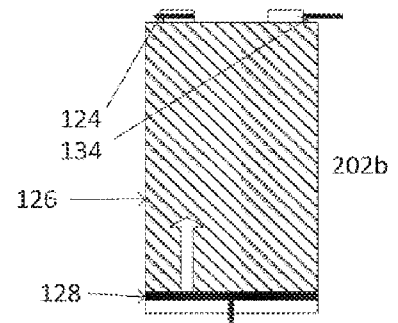
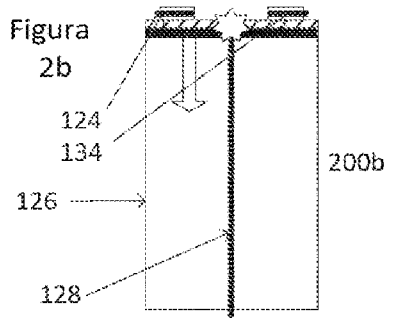


Figura 3

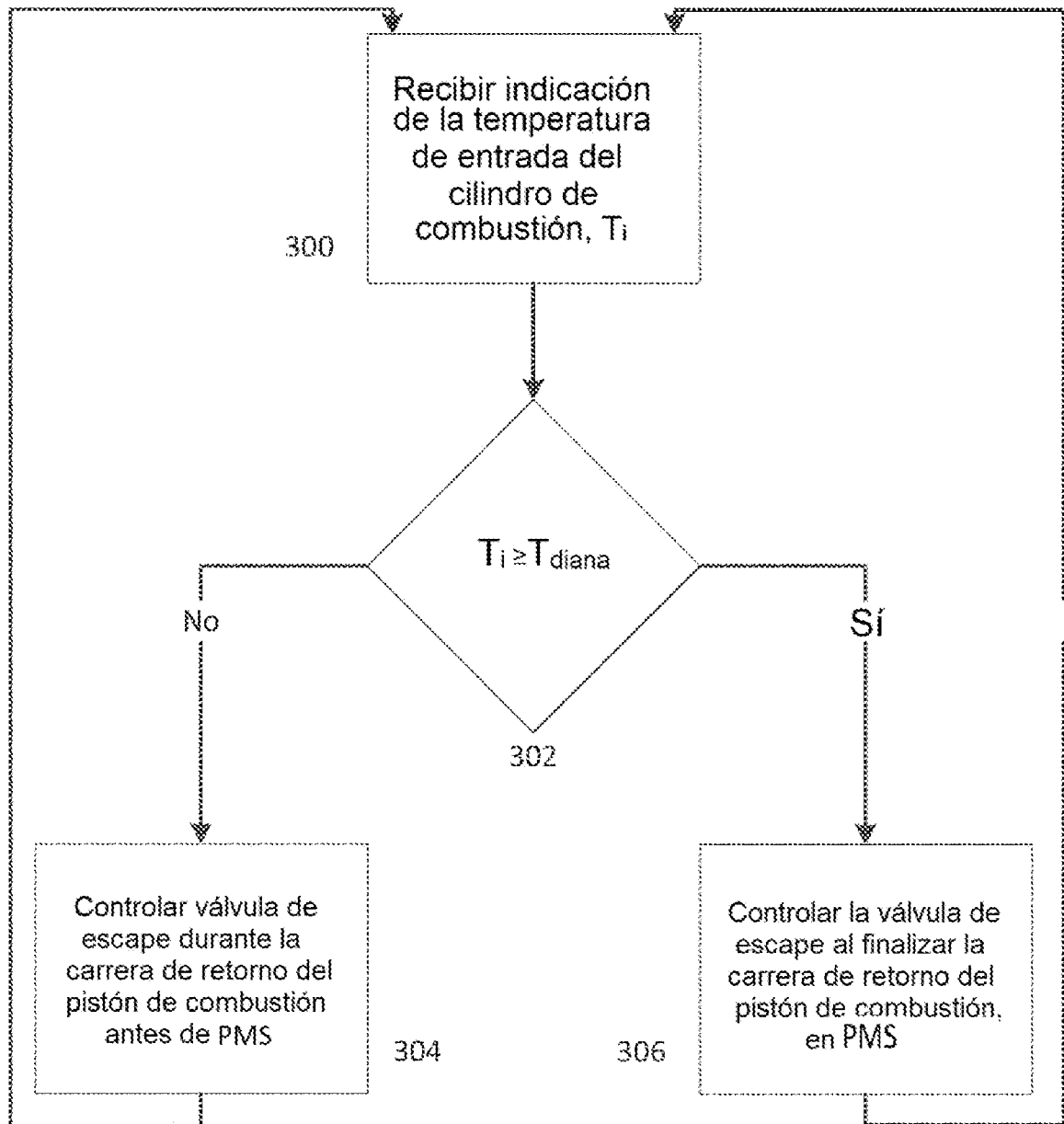


Figura 4

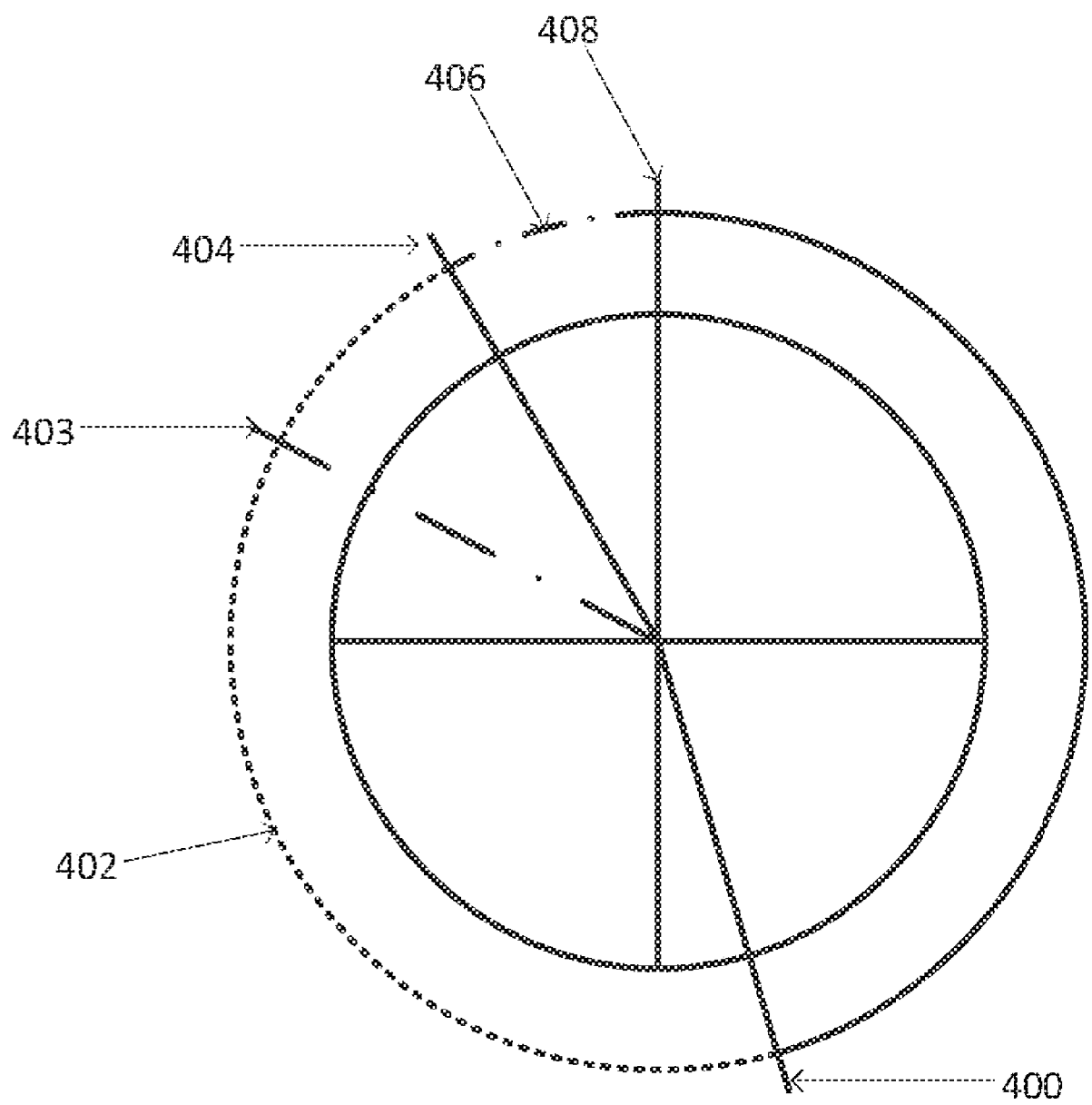


Figura 5a

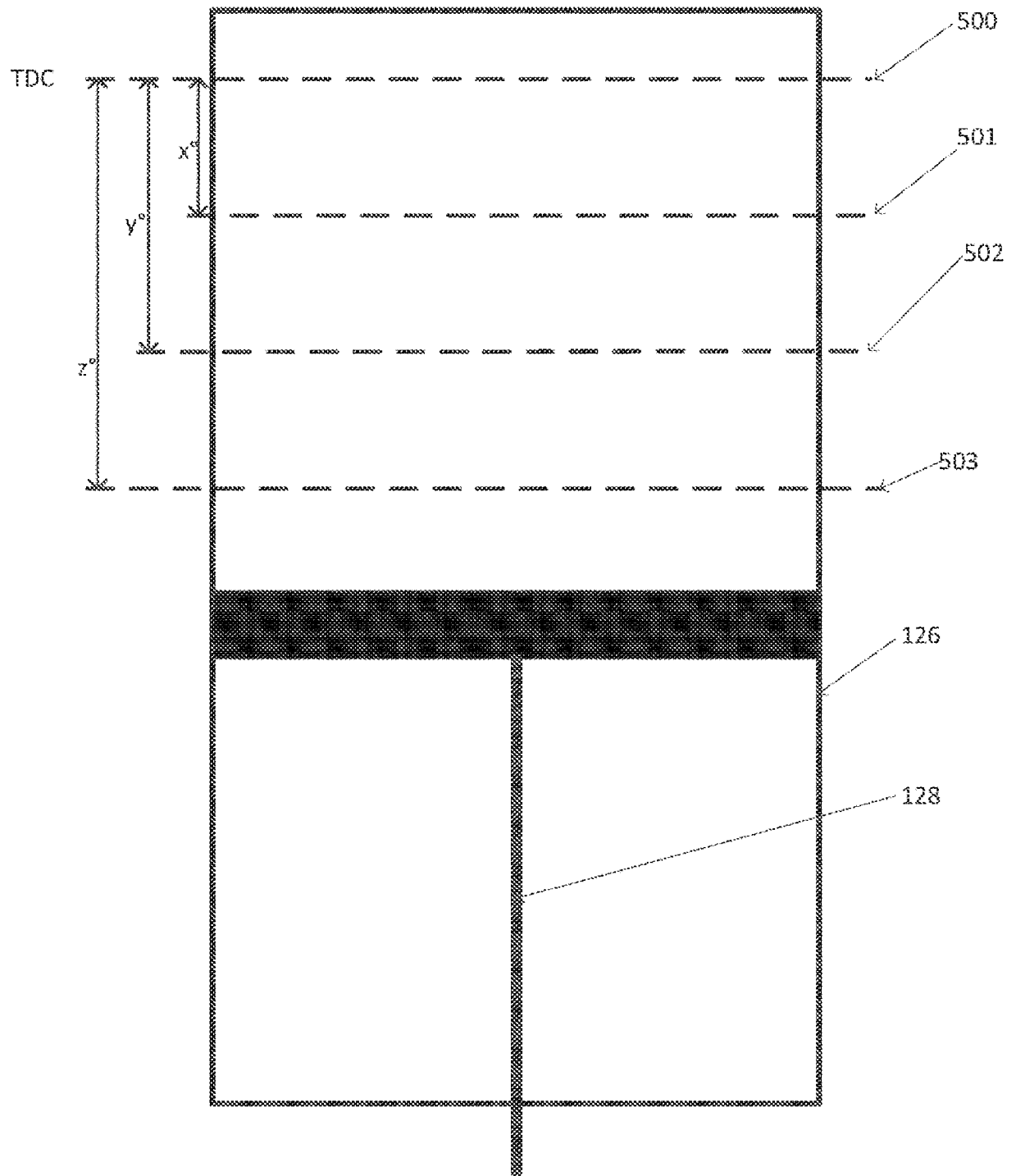


Figura 5b

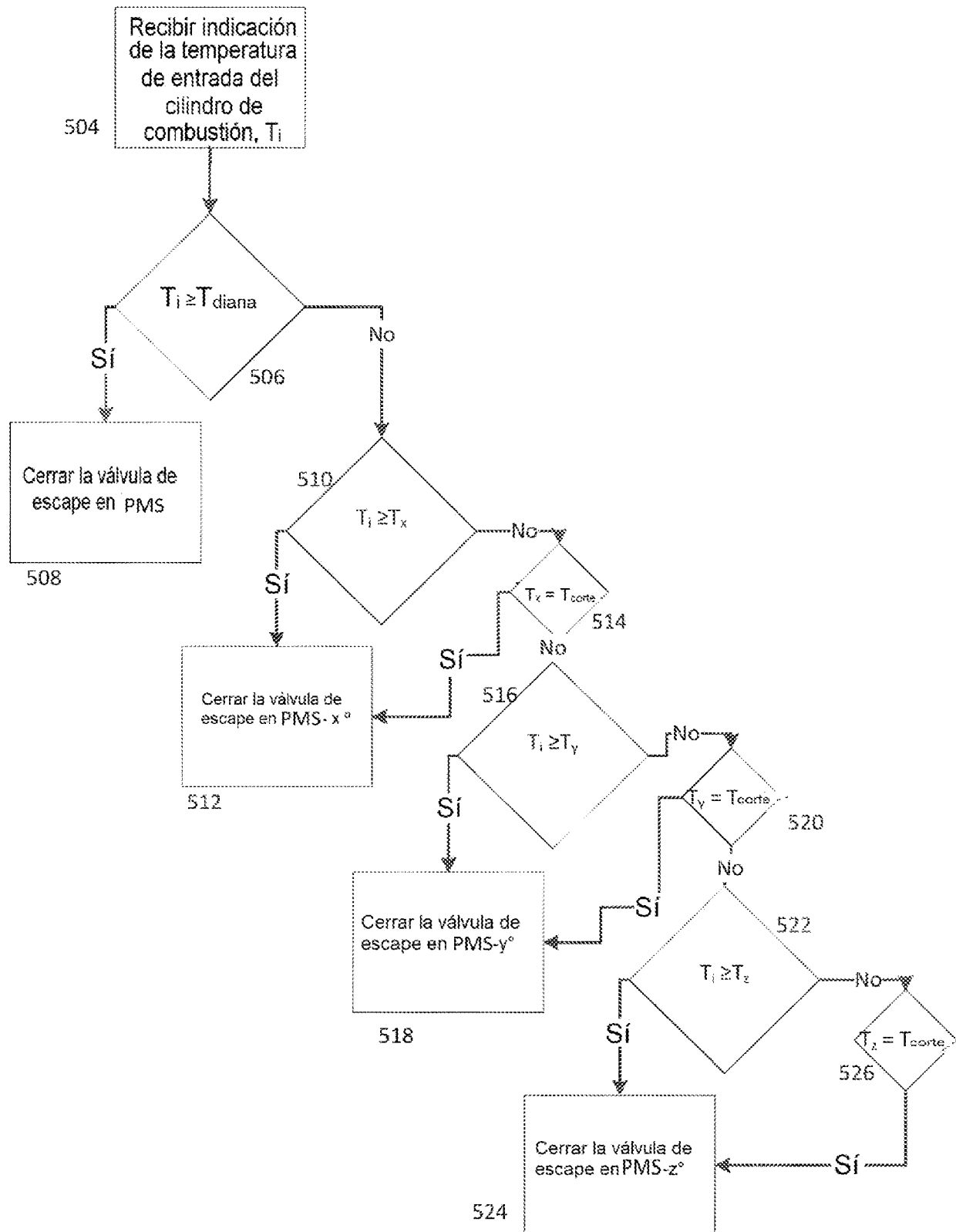


Figura 5C

528

Incremento de temperatura	Valor	Posición de cierre de la válvula de escape
T_{diana}	Temperatura de combustión diana, por ejemplo 700°C	PMS
T_x	Por ejemplo, 550°C	PMS - x° Por ejemplo, 40°
T_y	Por ejemplo, 400°C	PMS - y° Por ejemplo, 80°
T_z	Por ejemplo, 250°C	PMS - z° Por ejemplo, 120°

Figura 6

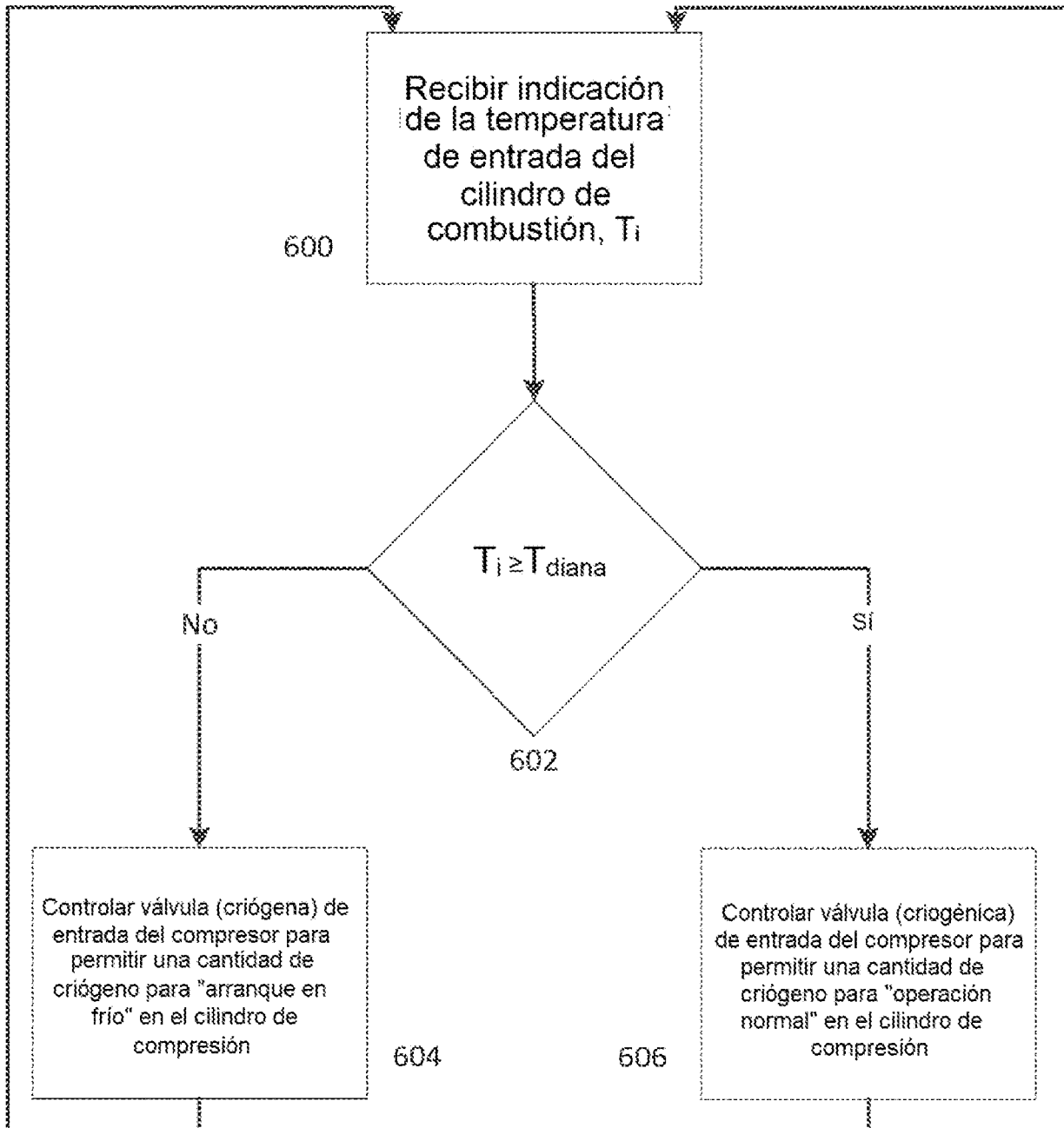


Figura 7

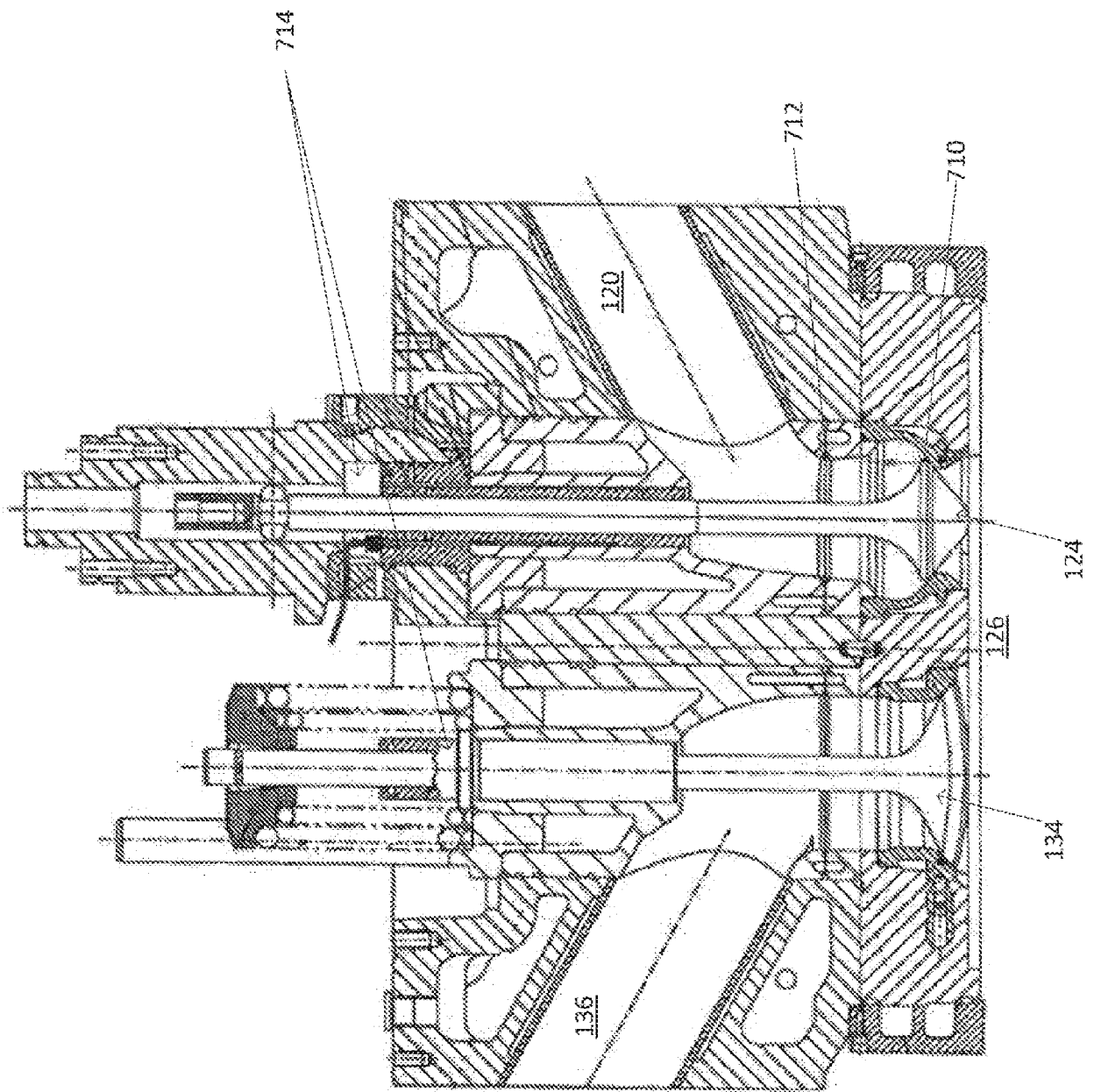


Figura 8

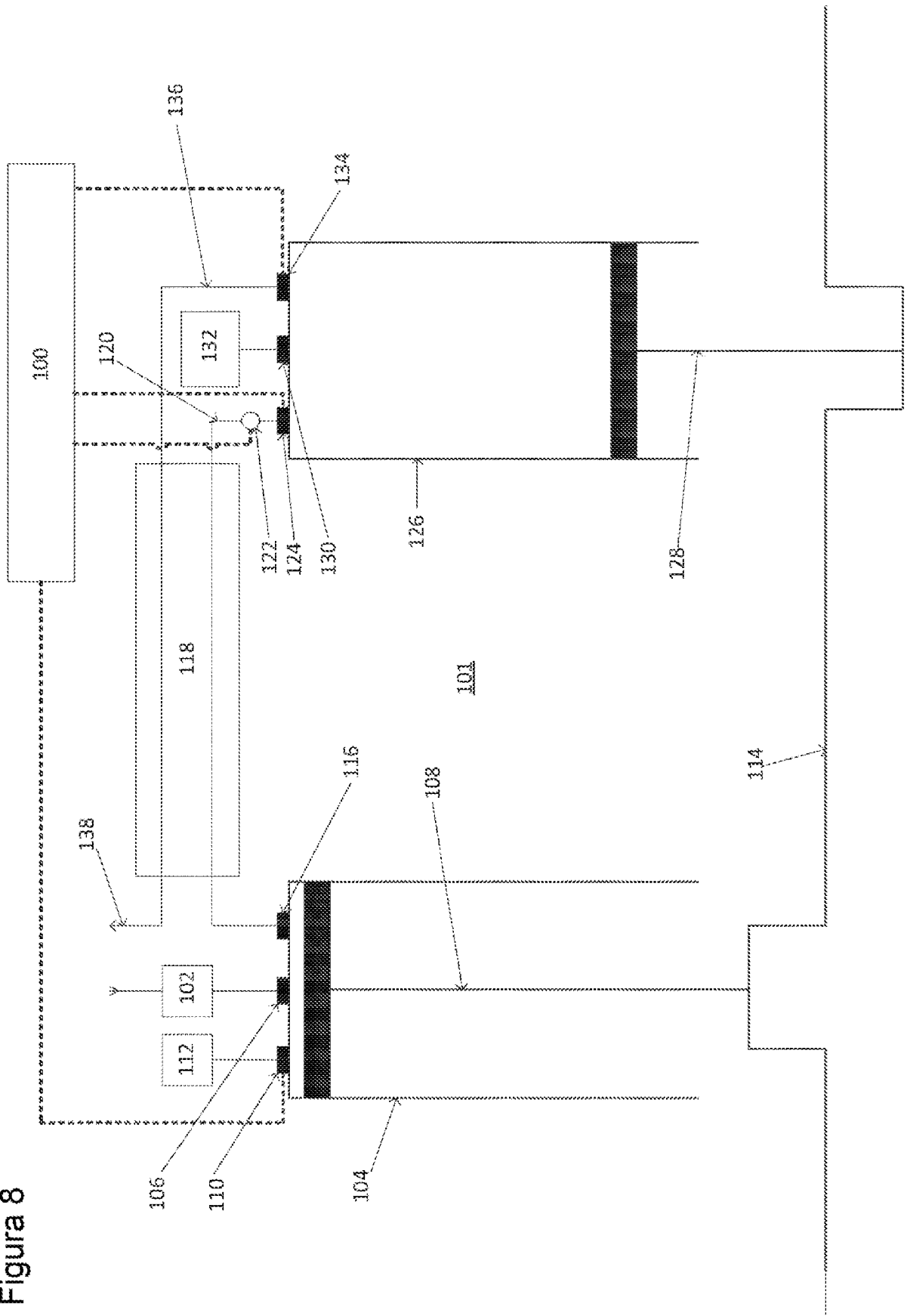


Figura
9a

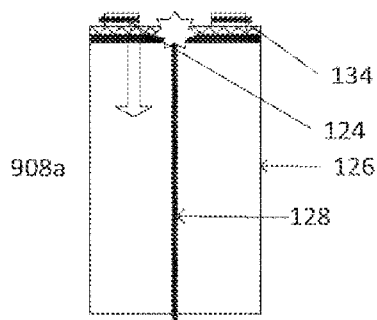
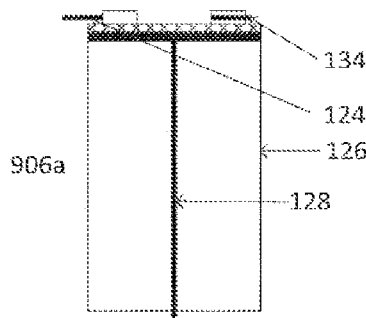
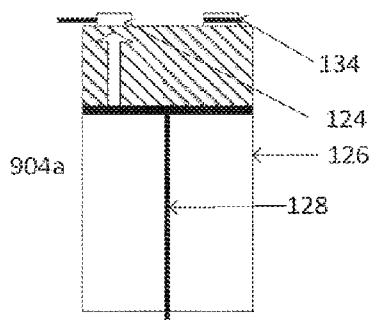
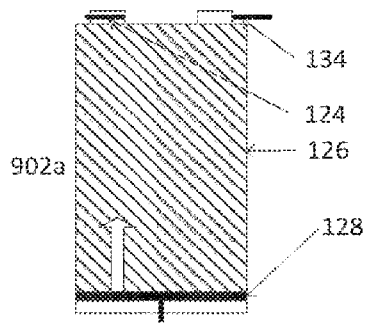
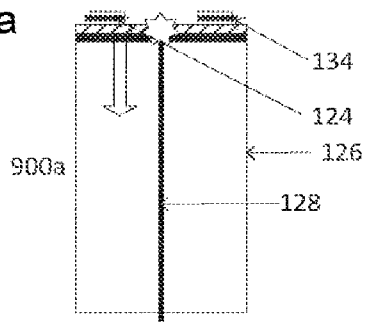


Figura
9b

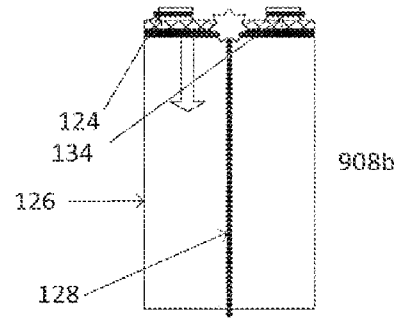
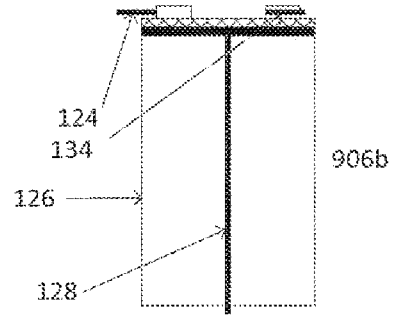
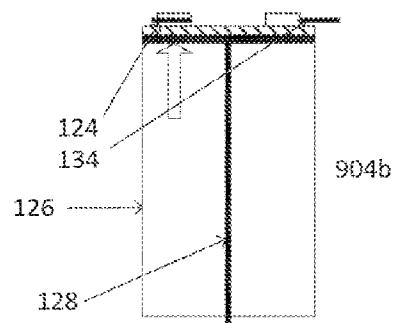
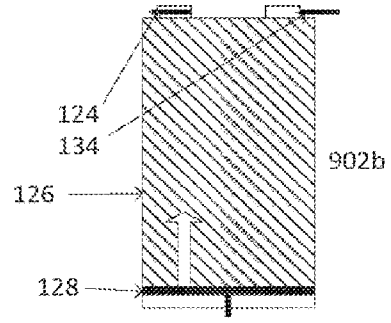
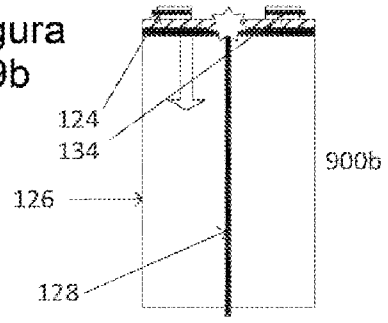


Figura
10a

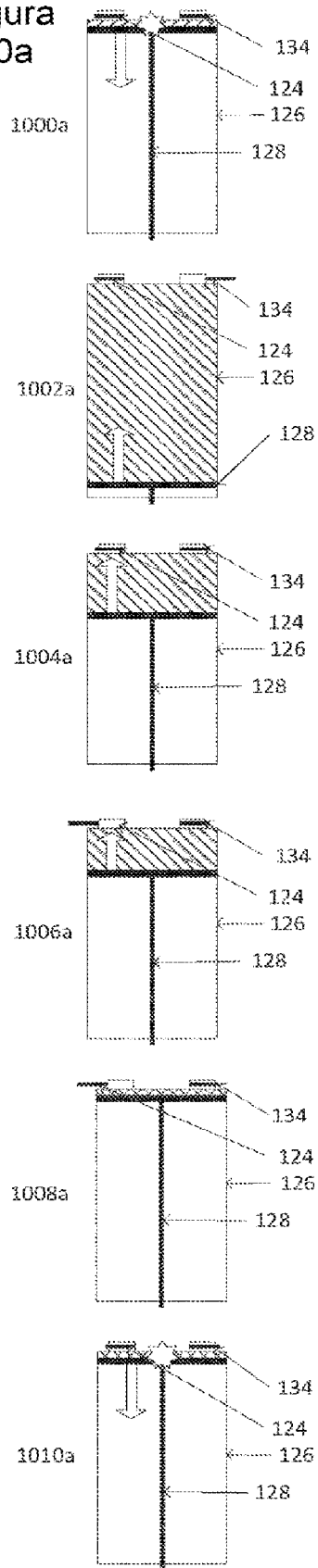


Figura
10b

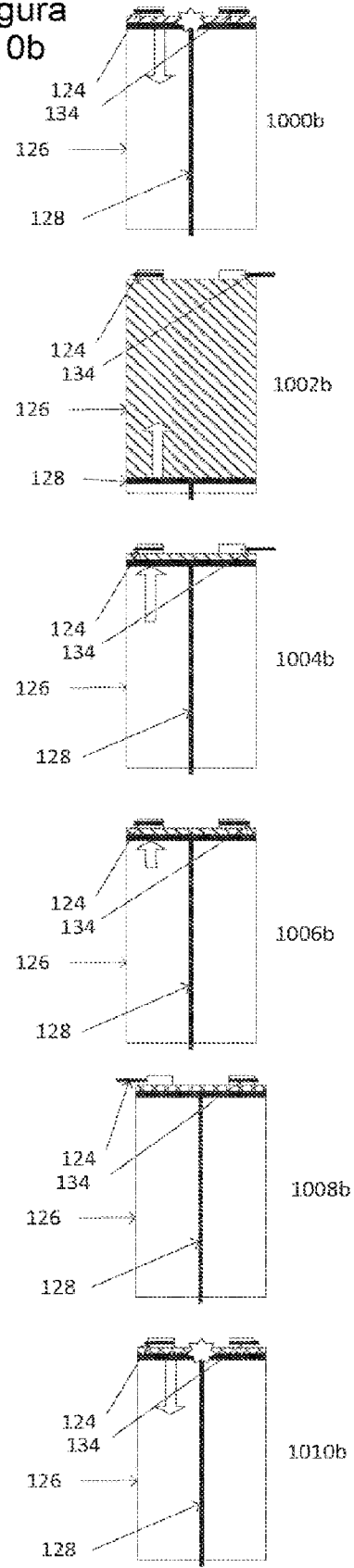


Figura 11

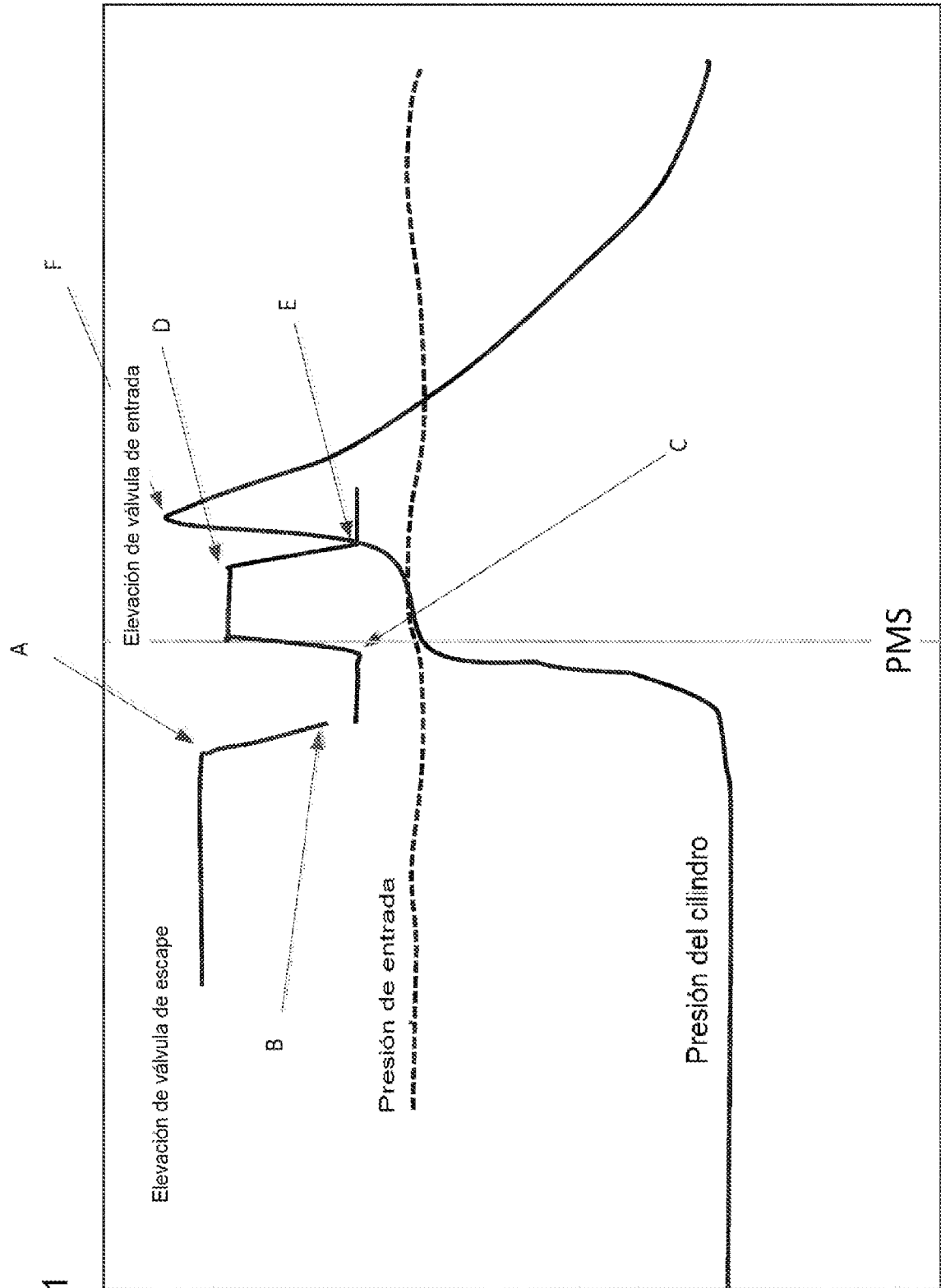


Figura 12

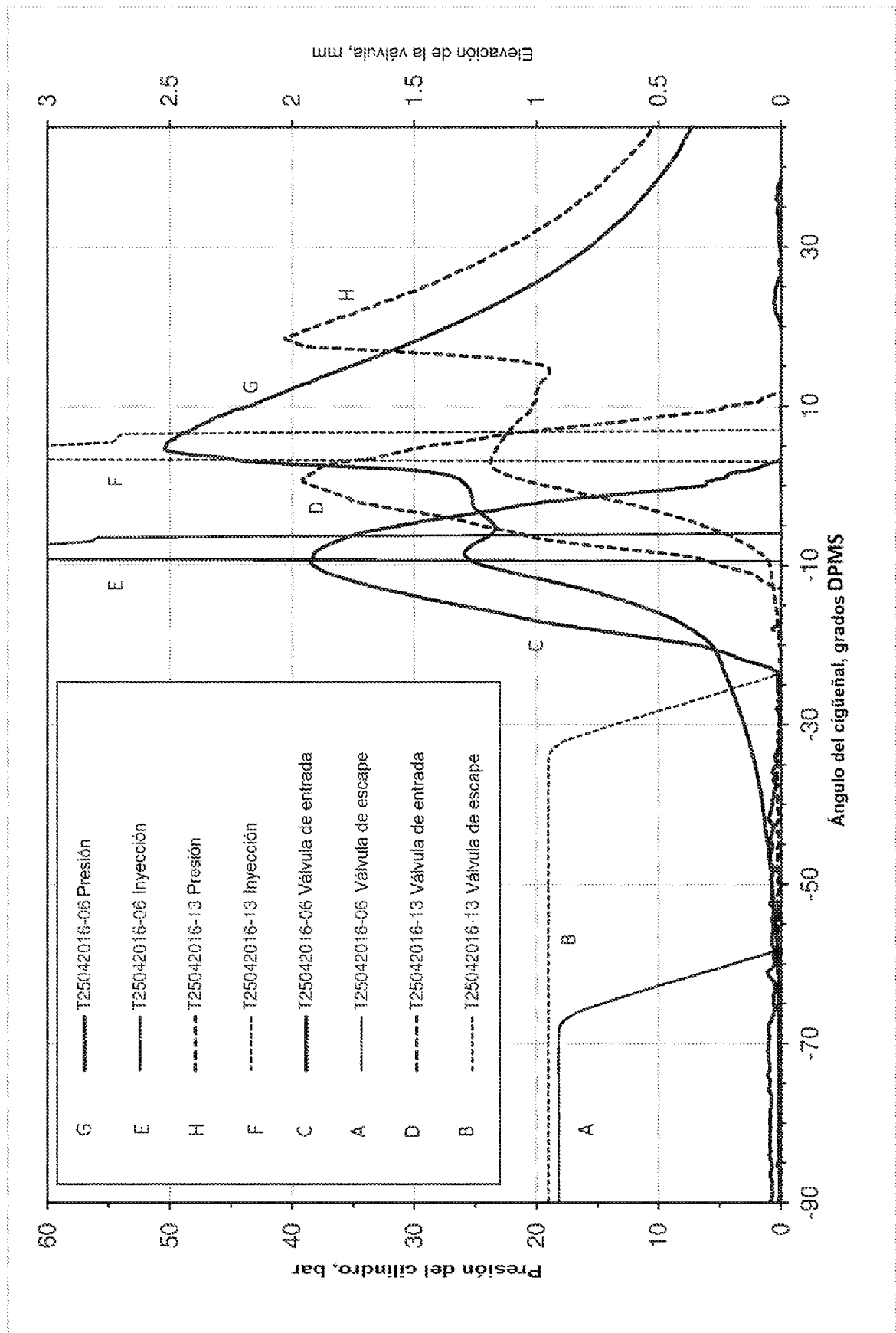


Figura 13

