



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 367 951**

⑤① Int. Cl.:
F16J 1/04 (2006.01)
F02F 3/02 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑨⑥ Número de solicitud europea: **09162350 .4**
⑨⑥ Fecha de presentación : **02.11.2006**
⑨⑦ Número de publicación de la solicitud: **2096337**
⑨⑦ Fecha de publicación de la solicitud: **02.09.2009**

⑤④ Título: **Pistón.**

③⑩ Prioridad: **03.11.2005 US 265870**
03.11.2005 US 265948

④⑤ Fecha de publicación de la mención BOPI:
11.11.2011

④⑤ Fecha de la publicación del folleto de la patente:
11.11.2011

⑦③ Titular/es: **DRESSER, Inc.**
11th Floor, Millennium I
15455 Dallas Parkway
Addison, Texas 75001, US

⑦② Inventor/es: **Donahue, Richard J.**

⑦④ Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 367 951 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

Pistón

CAMPO TÉCNICO

Este documento se refiere a pistones para su utilización en motores o similares.

5 ANTECEDENTES

Varios tipos de motores pueden utilizar pistones en el diámetro interior de un cilindro. Cada pistón puede oscilar en el interior de su diámetro interior asociado, puesto que una parte de la superficie circunferencial exterior del pistón es guiada por medio de la pared del cilindro. El pistón puede incluir un faldón que está configurado para apoyar contra la pared del cilindro (con una capa hidrodinámica entre ambos, para proporcionar lubricación) cuando se hace oscilar el pistón en el diámetro interior del cilindro. En general, la parte inferior del pistón en el interior del faldón del pistón es sustancialmente hueca, mientras que la parte superior del pistón próxima a la cara del pistón es maciza. Por consiguiente, el pistón puede tener una expansión térmica no uniforme y una rigidez no uniforme.

Las concentraciones de tensión provocadas por la expansión térmica del pistón, la flexión y el balanceo en el diámetro interior, pueden provocar que el pistón "pula" o raspe de otro modo la superficie de la pared del cilindro, tras movimientos oscilatorios repetidos. Asimismo, la expansión térmica del material del pistón puede incrementar la fuerza de contacto entre el pistón y el diámetro interior, provocando una fricción elevada que puede tener como resultado una pérdida de eficiencia y la posible captura del pistón en el diámetro interior del cilindro. Si el radio exterior del pistón es demasiado pequeño, la superficie circunferencial exterior puede no apoyar lo suficiente contra la pared del cilindro, provocando que el pistón se balancee demasiado en el eje del pasador del pistón, o vibre dentro del diámetro interior del cilindro.

El documento JP 09 170 490 A da a conocer un pistón de hierro fundido para un motor de combustión interna, pistón que tiene una parte superior y una parte de faldón. La parte de faldón está dotada de una ranura de escape rebajada, angular, que está dispuesta en un intervalo específico desde una superficie extrema inferior del faldón, para reducir la influencia de la deformación provocada por el calor y la presión del cilindro.

El documento DE 37 40 820 C1 da a conocer asimismo un pistón para un motor de combustión interna, con una parte superior y una parte de faldón. La parte de faldón del pistón tiene forma convexa.

Resumen de la Invención

La invención se refiere a un aparato como el reivindicado en la reivindicación 1.

Según la invención, un motor de combustión interna comprende por lo menos una pared que define un diámetro interior, y un pistón dispuesto en el diámetro interior y acoplado a una biela del pistón para pivotar en torno a un eje de pivote. El pistón incluye una superficie exterior sustancialmente circunferencial que tiene una parte de cabeza y una parte de faldón por debajo de la parte de cabeza. Por lo menos, una parte de la superficie exterior apoya contra la pared en un plano de empuje, cuando el pistón está sustancialmente a una temperatura de trabajo y sometido a una fuerza de empuje. La parte de la fuerza de empuje soportada por la parte del faldón en el plano del empuje está representada por un centroide de fuerzas del faldón, y el centroide de fuerzas del faldón está situado a una altura axial en el eje de pivote, o por debajo del mismo.

Una serie de realizaciones de un pistón incluyen un pistón para utilizar en un motor, que tiene una pared del diámetro interior tal que, cuando el pistón está sustancialmente a la temperatura de trabajo y sometido a una fuerza de empuje, el pistón pivota en torno a un eje de pivote apoyándose contra la pared del diámetro interior en un plano de empuje. El pistón puede incluir una superficie exterior sustancialmente circunferencial que tiene una parte de cabeza y una parte de faldón por debajo de la parte de cabeza. De acuerdo con la invención, la parte de cabeza tiene, por lo menos, algunos radios en el plano de empuje que son mayores que, por lo menos, parte de los radios de la parte de faldón, cuando el pistón está sustancialmente a la temperatura de trabajo, de manera que la superficie exterior tiene un margen radial en el plano de empuje por encima del eje de pivote. La superficie exterior del pistón soporta, por lo menos, una parte de la fuerza de empuje en el plano de empuje. La parte de la fuerza de empuje soportada por la parte del faldón en el plano del empuje está representada por un centroide de fuerzas del faldón, y el centroide de fuerzas del faldón está situado a una altura axial en el eje de pivote, o por debajo del mismo. La parte de la fuerza de empuje soportada por la parte de cabeza puede ser definible mediante un centroide de fuerzas de la cabeza, y el centroide de fuerzas de cabeza puede ser de magnitud sustancialmente menor que el centroide de fuerzas del faldón.

Estas y otras realizaciones pueden configurarse para proporcionar una o varias de las siguientes ventajas. En primer lugar, la forma del pistón puede proporcionar un guiado mejor dentro del diámetro interior del cilindro. En segundo lugar, el centroide de las fuerzas de reacción al empuje en el faldón del pistón puede encontrarse a la altura axial del eje de pivote, o ligeramente por debajo del mismo, cuando las fuerzas de reacción al empuje sobre la cabeza del pistón son relativamente pequeñas. Así, puede reducirse el momento de la fuerza de empuje, que normalmente provocaría un movimiento de balanceo del pistón. En tercer lugar, el desgaste asociado con las fuerzas de reacción al empuje sobre la cabeza del pistón puede ser pequeño o insuficiente para provocar un raspado sustancial. Así, el pistón puede configurarse para tener una separación de holgura menor entre la faja superior y la pared de cilindro, que puede reducir emisiones no deseables. Además, en algunas circunstancias la separación de holgura más ajustada, entre la faja superior y la pared del cilindro, y la magnitud menor de las fuerzas de reacción al empuje sobre la cabeza del pistón, pueden reducir sustancialmente el desgaste sobre la faja superior, el anillo o los anillos del pistón, y la pared del cilindro.

Los detalles de una o varias realizaciones de la invención, se exponen en los dibujos anexos y en la descripción siguiente. Otras características, objetivos y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la descripción de los dibujos, y a partir de las reivindicaciones.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1A es una vista lateral de un pistón y una parte de un motor, de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

La figura 1B es una vista lateral del pistón de la figura 1A, que muestra una línea del perfil que no forma parte de la invención.

La figura 2 es una vista esquemática de una sección transversal de un pistón, de acuerdo con algunas otras realizaciones de la invención.

La figura 3 es un diagrama que muestra un ejemplo de un perfil polar de un faldón de un pistón, acorde con una realización de la invención.

La figura 4 es una vista en sección transversal del pistón, de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

La figura 5 es un diagrama que muestra un ejemplo de un perfil axial de un faldón de un pistón, de acuerdo con una realización de la invención.

Los símbolos de referencia iguales indican elementos iguales en los diversos dibujos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES ILUSTRATIVAS

En referencia a las figuras 1A - B, un pistón 100 puede oscilar dentro de un diámetro interior 205 de un cilindro de un motor 200 (para que se vea mejor el pistón 100, se ha retirado una parte del motor 200 de la figura 1A). Una capa hidrodinámica de aceite u otro lubricante puede recubrir parte de la pared 210 del cilindro, para reducir la fricción entre el pistón 100 y la pared 210 del cilindro. El pistón 100 puede estar engranado de forma pivotante con una biela 102 del pistón que utiliza un pasador 104. En semejantes circunstancias, el pistón 100 puede pivotar en torno a un eje de pivote o pasador 105 en relación con la biela 102. La conexión del pasador permite al pistón 100 transmitir fuerzas a la biela 102 o recibirlas de la misma, cuando el pistón 100 oscila dentro del diámetro interior 205. En ciertas realizaciones, el pistón 100 está construido total o parcialmente de aluminio o de aleaciones que contienen aluminio, carbono (por ejemplo fibra de carbono, y carbono-carbono), hierro, acero o cualesquiera otros materiales adecuados, y puede incluir combinaciones de los materiales anteriores u otros materiales.

En referencia a la figura 1A, el diámetro interior 205 del cilindro puede definir por lo menos una parte de una cámara de combustión, donde un evento de combustión 250 ejerce una fuerza sobre el pistón 100 y provoca una carrera de expansión. La presión de combustión puede transferirse al pistón 100 en una dirección sustancialmente paralela al eje del diámetro interior 205 del cilindro, debido a que por lo menos una parte de la superficie superior 112 del pistón (figura 1B) puede ser sustancialmente perpendicular al eje del diámetro interior 205 del cilindro. Una parte de la fuerza procedente del evento de combustión 250 puede ser transmitida a la biela 102 (en la dirección longitudinal de la biela 102) como un componente 252 de fuerza de la biela. Asimismo, debido a que la biela 102 no puede alinearse con la dirección de la fuerza de combustión, una parte de la fuerza procedente del evento de combustión 250 puede ser transmitida como un componente 254 de fuerza de empuje.

La fuerza de empuje 254 puede impulsar una superficie de empuje principal 130 del pistón 100, contra un lado de empuje principal 230 de la pared del cilindro 110. El componente 254 de la fuerza de empuje puede estar en el plano de empuje, que es un plano sustancialmente normal al eje 105 del pasador, o puede extenderse a lo largo de un eje 117 de empuje (mostrado asimismo en la figura 2), a través de la superficie de empuje principal 130 del pistón 100.

La fuerza de empuje 254 puede generar un momento en torno al eje 105 del pasador, provocando que el pistón 100 pivote en torno al eje 105 del pasador, de manera que el eje 115 del pistón está orientado respecto al eje del diámetro interior del cilindro, en un ángulo de balanceo.

5 Para proporcionar un guiado durante el movimiento oscilante y para limitar el ángulo de balanceo del pistón 100 (un balanceo excesivo provocaría concentraciones de tensión, que "pulen" o sino raspan la pared 210 del cilindro), el pistón 100 puede incluir una parte de faldón 120 que se apoya contra la pared 210 del cilindro (preferentemente, con una capa hidrodinámica de lubricante entre ambas). La parte de faldón 120 puede guiar el pistón 100 para limitar el movimiento de balanceo del pistón 100. Además, el faldón 120 del pistón puede flexionarse cuando la fuerza de empuje 254 impulsa el pistón 100 contra el lado de empuje principal 230 (descrito después en mayor detalle).

10 Debe entenderse que, durante la carrera de compresión (no mostrada en la figura 1A), el pistón 100 puede reaccionar a la fuerza procedente de la biela 102 en la conexión del pasador. En algunos casos, la biela 102 puede forzar al pistón 100 a comprimir la cámara de combustión anticipando un evento posterior de combustión. Un componente de reacción de la fuerza procedente de la biela 102 puede tener la forma de una fuerza de empuje que impulsa una superficie de empuje secundaria 140 del pistón 100 contra la superficie de empuje secundaria 240. De
15 nuevo, en semejantes circunstancias, el faldón 120 del pistón puede guiar el pistón 100 para limitar el movimiento de balanceo del pistón 100.

En referencia a la figura 1B, el pistón 100 incluye una parte 110 de cabeza del pistón y la parte 120 de faldón del pistón. La cabeza 110 del pistón puede incluir una parte superior 112 del pistón que está enfrentada a la cámara de combustión descrita anteriormente en relación con la figura 1A. La cabeza 110 del pistón puede incluir una o varias
20 ranuras anulares, como son una o varias ranuras de montaje anulares 113 comprimidas (se muestran dos), y una o más ranuras de montaje anulares 114 de aceite (se muestra una). En general, el faldón 120 del pistón es adyacente a la cabeza 110 del pistón y comienza en, o en torno a, y se extiende por debajo de, la pared inferior de la ranura anular más baja (por ejemplo, la ranura anular 114 en esta realización), opuesto a la superficie superior 112 del pistón. El faldón 120 del pistón incluye una parte 121 hueca generalmente, próxima a la parte inferior 122 del pistón
25 100. El faldón 120 del pistón puede incluir asimismo diámetros interiores 124 del pasador, alineados con el eje 105 del pasador para recibir el pasador 104. El pasador 104 está unido a los diámetros interiores 124 del pasador, y está dispuesto en la parte hueca 121 del faldón 120.

La cabeza 110 del pistón es, en general, más rígida que el faldón 120 del pistón y, en algunas realizaciones, puede ser una construcción maciza. De este modo, cuando la fuerza de empuje 254 impulsa el pistón 100 contra el lado
30 principal 230 de la pared 210 del cilindro, el faldón 120 del pistón puede flexionarse considerablemente más que la cabeza 110 del pistón. Sin embargo, la rigidez del faldón 120 del pistón no es necesariamente constante desde la parte inferior 122 hasta la cabeza 110 del pistón. Por ejemplo, en la realización mostrada en la figura 1B, la pared circunferencial 126 que rodea la parte hueca 121 incrementa, en general, su grosor desde la parte inferior 122 hacia la cabeza 110 del pistón. En semejantes circunstancias, el faldón 120 del pistón puede ser más rígido cerca de la
35 parte 110 de cabeza de pistón, del pistón 100 (donde es mayor el grosor de la pared).

También en referencia a la figura 1B, se representa esquemáticamente el perfil axial (en el plano de empuje) del pistón 100 a la temperatura de trabajo, utilizando la línea 150 del perfil axial. Debido a las diferencias en temperatura en posiciones diferentes en torno al pistón 100, que se producen en funcionamiento, la cantidad de expansión
40 térmica del pistón 100 a lo largo de su eje puede no ser uniforme. Por consiguiente, el perfil axial del pistón 100 a temperatura ambiente (la mayor parte o la totalidad del pistón está a 25 °C (77 °F)), puede ser diferente que a la temperatura de trabajo. La temperatura de trabajo es la distribución de temperatura en torno al pistón 100, que se alcanza y se mantiene cuando se hace funcionar el motor 200 en régimen estacionario durante un tiempo prolongado. La temperatura de trabajo puede variar dependiendo de la configuración del motor pero, en general, la temperatura de trabajo es sustancialmente mayor que la temperatura ambiente. Por ejemplo, a la temperatura de
45 trabajo, las temperaturas del pistón pueden estar en el rango de 65,6 °C a 538 °C (150 °F a 1000 °F), y en ciertas circunstancias, en el rango de 93,3 °C a 371 °C (200 °F a 700 °C).

La línea 150 del perfil axial muestra los cambios en la superficie circunferencial exterior del pistón 100, en la dirección a lo largo del eje 115 del pistón. La línea 150 del perfil axial ilustrada en la figura 1B, representa los cambios en el radio exterior del pistón 100 en relación con la altura axial, en una sección transversal del plano de
50 empuje. Tal como se ha descrito previamente, el plano de empuje es sustancialmente normal al eje 105 del pasador, y puede prolongarse a lo largo del eje de empuje 117 (mostrado asimismo en la figura 4), a través de la superficie de empuje principal 130 del pistón 100. La línea 150 del perfil axial se muestra exagerada, solamente por razones ilustrativas. Debe entenderse que el cambio en el radio exterior del pistón 100 puede ser pequeño en relación con el tamaño global del pistón 100, de manera que el pistón 100 puede parecer sustancialmente cilíndrico visto a
55 distancia. En esta realización, la línea 150 del perfil axial a lo largo de la superficie de empuje principal 130, es de forma similar a la línea 150 del perfil axial a lo largo de la línea de empuje secundaria 140.

La línea 150 del perfil axial puede incluir una línea 152 del perfil del faldón, coincidente con la parte 120 del faldón, y una línea 151 del perfil de la cabeza, coincidente con la parte de cabeza 110 del pistón. La línea 151 del perfil de la

cabeza muestra que, en esta realización, el radio exterior del pistón disminuye progresivamente cerca de la superficie superior 112 del pistón 100 (la línea 151 del perfil de la cabeza, mostrada en la figura 1B, no representa los contornos exactos del pistón en las ranuras 113 y 114). De este modo, la forma de la cabeza 110 del pistón puede proporcionar cierto espacio de holgura entre el borde superior del pistón 100 y la pared 210 del cilindro. Este espacio de holgura puede ser necesario para reducir la probabilidad de raspar la pared del cilindro 210 cuando el pistón 100 está orientado en su ángulo de balanceo máximo. Sin embargo, puede incrementarse la eficiencia en la transferencia de la presión de combustión al pistón 100, si se reduce el espacio de holgura entre el borde superior del pistón 100 y la pared 210 del cilindro. En esta realización, el pistón 100 puede estar diseñado para tener un espacio de holgura reducido entre el borde superior del pistón 100 y la pared 210 del cilindro. Tal como se describe después en mayor detalle, la pared 120 del faldón del pistón puede configurarse para apoyar contra la pared 210 del cilindro, y transportar una parte sustancial de la carga de empuje cuando la fuerza de empuje 254 impulsa del pistón 100 contra la pared 210 del cilindro. Cuando la parte 120 del faldón se apoya contra la pared 210 del cilindro y proporciona un guiado suficiente del pistón 100, puede reducirse la tendencia del pistón 100 a balancearse en torno al eje 105 del pasador lo que, a su vez, permite un diseño con un espacio de holgura reducido en el borde superior del pistón 100.

Alternativamente, la línea 151 del perfil de la cabeza, de la cabeza 110 del pistón, puede tener un radio exterior constante menor que el radio de la parte 120 del faldón. En dichas realizaciones, podría existir cierto espacio de holgura entre el borde superior del pistón 100 y la pared 210 del cilindro. De nuevo, este espacio de holgura puede reducirse provocando que el faldón 120 del pistón se apoye contra la pared 210 del cilindro, y transporte una parte sustancial de la carga de empuje cuando la fuerza de empuje 254 impulsa el pistón 100 contra la pared 210 del cilindro, tal como se describe después en mayor detalle.

En algunas realizaciones, incluyendo las realizaciones descritas previamente, la parte inferior del faldón 120 del pistón puede incluir un radio máximo 155 en el plano de empuje, que está dimensionado para estar en interferencia con la pared 210 del cilindro a las temperaturas de trabajo. En dichas realizaciones, no se produciría la captura del pistón 100 debido a la flexión en la parte inferior del faldón 120 del pistón. La parte inferior del faldón 120 del pistón se flexiona de manera que la parte inferior del faldón 120 está cargada por resorte contra el lado de empuje principal 230 y el lado de empuje secundario 240 de la pared 210 del cilindro. Esta interacción provoca que la parte inferior del faldón 120 contribuya a la distribución de la carga de empuje, distribuyendo por lo tanto parte de la carga, que sino podría ser aplicada a la parte del faldón superior o a la parte 110 de cabeza. Al crear una distribución de carga más uniforme a lo largo del faldón 120 del pistón, se reduce la probabilidad de generación de zonas locales de concentraciones de tensión relativamente elevadas, lo que a su vez puede reducir la probabilidad de "pulir" o sino raspar la pared 210 del cilindro.

Asimismo en ciertas realizaciones, el pistón 100 está dotado de un guiado mejor, gracias a que la parte inferior del faldón 120 está cargada por resorte contra los lados de empuje principal y secundario 230 y 240 de la pared 210 del cilindro, a las temperaturas de trabajo. Tal como se ha descrito previamente, cuando la parte 120 del faldón del pistón se apoya de tal modo contra la pared 210 del cilindro y proporciona un guiado suficiente del pistón 100, se puede reducir la tendencia del pistón 100 a balancearse en torno al eje 105 del pasador, lo que a su vez permite un diseño con un espacio de holgura mínimo entre la cabeza 110 del pistón y la pared 210 del cilindro. En semejantes circunstancias, es posible que se añada fricción al sistema cuando la parte inferior del faldón 120 está cargada por resorte para apoyar contra los lados de empuje principal y secundario 230 y 240 de la pared 210 del cilindro, a temperaturas de trabajo. Sin embargo, esta fricción añadida puede ser despreciable debido a que no necesariamente se produce una ruptura en la capa hidrodinámica de lubricante, entre la pared 210 del cilindro y el faldón 120 del pistón. Además, estas realizaciones pueden proporcionar una distribución de carga más uniforme entre las partes superior e inferior del faldón 120 (descritas previamente), lo que puede reducir la fricción provocada "puliendo" o sino raspando la pared 210 del cilindro. Una reducción semejante en la fricción por "pulido" puede compensar cualquier fricción añadida potencialmente, al estar la parte inferior del faldón 120 del pistón cargada por resorte para apoyar contra los lados de empuje principal y secundario 230 y 240 de la pared 210 del cilindro, a temperaturas de trabajo.

En referencia a la figura 2, se representa esquemáticamente la línea del perfil polar del pistón 100 a la temperatura de trabajo o cerca de ésta, con una línea 170 del perfil polar. La línea 170 del perfil polar muestra la forma de la superficie circunferencial exterior del pistón 100 en un plano radial en sección transversal. En esta realización, la línea 170 del perfil polar se muestra en una sección transversal del plano radial, en la parte inferior del faldón 120 del pistón (véase la línea de sección transversal en la figura 1). La forma general de la línea 170 del perfil polar, puede ser similar incluso si se toma otra sección transversal del plano radial, en otra parte del faldón 120 del pistón. El tamaño de los radios del perfil polar en otro plano radial, puede estar en proporción al radio exterior en las superficies de empuje principal y secundaria 130 y 140, según se muestra en la línea 150 del perfil axial, y sigue sustancialmente la forma mostrada en la figura 2.

La línea 170 del perfil polar se muestra exagerada, solamente con propósitos ilustrativos. Debe entenderse que los cambios en el radio exterior del pistón 100 en el plano radial, pueden ser pequeños en relación con el tamaño global del pistón 100, de manera que el pistón 100 puede aparentar una forma circular en sección transversal, visto a

5 distancia. Varias realizaciones del pistón 100 pueden incluir faldones del pistón con formas en sección transversal que no coinciden totalmente con la forma en sección transversal del diámetro interior 205 del cilindro. En la realización mostrada en la figura 2, la forma circunferencial en sección transversal del faldón 120 del pistón es una especie de elipse modificada y no es simétrica en torno al eje 105 del pasador. En otras realizaciones, la forma circunferencial en sección transversal puede tener un aspecto diferente, tal como una elipse o una elipse modificada que sea simétrica en torno al eje 105 del pasador.

10 En referencia a la figura 2, el pistón 100 puede tener un diseño de perfil polar que es asimétrico en torno a un eje 105 del pasador. En esta realización, la superficie circunferencial exterior del faldón 120 del pistón en el plano radial, en sección transversal, tiene una forma elíptica modificada que es sustancialmente asimétrica en torno al eje de empuje 117. Los radios máximos en la línea 170 del perfil polar, se producen en la superficie de empuje principal 130 y en la superficie de empuje secundaria 140. En este plano radial, la superficie de empuje principal 130 y la superficie de empuje secundaria 140 tienen la dimensión suficiente para apoyar contra la pared 210 del cilindro, respectivamente a lo largo del lado de empuje principal 230 y del lado de empuje secundario 240. Dicha interacción entre el faldón 120 del pistón y la pared 210 del cilindro, puede provocar que el faldón 120 se reflexione hacia dentro en la dirección del eje de empuje 117, y en consecuencia se reflexione hacia fuera en la dirección del eje 105 del pasador. Por ejemplo, cuando la fuerza de empuje 254 (figura 1) impulsa la superficie de empuje principal 130 contra el lado de empuje principal 230 de la pared 210 del cilindro, la superficie de empuje principal 130 del faldón del pistón puede flexionarse hacia dentro. Esta flexión hacia dentro provoca que el faldón 120 del pistón se reflexione hacia fuera, en la dirección del eje 105 del pasador. Para permitir la holgura para esta flexión hacia fuera en la dirección del eje 105 del pasador, los radios a lo largo de las superficies no de empuje 132 y 142 del faldón 120 del pistón, pueden ser menores que los radios a lo largo de las superficies de empuje principal y secundaria 130 y 140, y pueden ser menores que el radio del diámetro interior 205 del cilindro, a las temperaturas de trabajo.

25 Las cargas de empuje sobre la superficie de empuje principal 130 pueden ser mayores que sobre la superficie de empuje secundaria 140, de manera que el faldón 120 del pistón puede flexionarse no uniformemente hacia fuera. En dichas realizaciones, el radio mínimo 175 puede no extenderse en una dirección paralela al eje 105 del pasador, y extenderse en cambio hacia el lado de empuje principal del eje 105 del pasador (por ejemplo, el punto de radio mínimo 176 en la línea 170 del perfil polar, está separado del eje 105 del pasador y hacia la superficie de empuje principal 130). En esta realización, la línea 170 del perfil polar es sustancialmente simétrica en torno al eje de empuje 117, de manera que el punto de radio mínimo 176 existe a ambos lados del eje de empuje 117. Puesto que las cargas de empuje sobre la superficie de empuje principal 130 pueden ser mayores que sobre la superficie de empuje secundaria 140, el faldón 120 del pistón puede flexionarse hacia fuera, más en el lado de empuje principal que en el lado de empuje secundario. Para compensar esta flexión no uniforme del faldón 120 del pistón, muchos de los radios del lado de empuje secundario del eje 105 del pasador, pueden ser relativamente mayores que los radios homólogos en el lado de empuje principal del eje 105 del pasador. Los radios relativamente más largos en el lado de empuje secundario, pueden proporcionar un área superficial mayor para apoyar contra la pared 210 del cilindro, y guiar el pistón 100. El radio mínimo 175 en el lado de empuje principal del eje 105 del pasador puede compensar la flexión hacia fuera del faldón 120 del pistón, provocada por la carga mayor en el lado de empuje principal del eje 105 del pasador.

40 La figura 3 muestra un ejemplo de la línea 170 del perfil polar (para un pistón 100 a la temperatura de trabajo, o cerca de ésta) representado en un gráfico. Puesto que, en este ejemplo, la escala para el radio del faldón del pistón se ha limitado a un rango de 75,7936 mm a 75,8952 mm (2,984 a 2,988 pulgadas), se ha exagerado la forma de la línea 170 del perfil del faldón. Debe entenderse que las escalas dimensionales mostradas en la figura 3 son solamente con propósitos ilustrativos, y que otras realizaciones pueden incluir un pistón con varias dimensiones no ilustradas en la figura 3. Además, debe entenderse que la curvatura, la proporción y la forma del perfil polar que se muestran en la figura 3 son solamente con propósitos ilustrativos, y que otras realizaciones pueden incluir un perfil polar con diversas curvaturas, proporciones y formas no ilustradas en la figura 3. En este ejemplo, la línea 170 del perfil polar muestra que la superficie circunferencial exterior del faldón 120 del pistón en el plano radial en sección transversal, tiene una forma elíptica modificada que es asimétrica en torno al eje 105 del pasador (y sustancialmente simétrica en torno al eje 117 de empuje).

50 En referencia a la figura 3, en este ejemplo, muchos de los radios en el lado de empuje secundario del eje 105 del pasador, pueden ser relativamente mayores que los radios homólogos en el lado de empuje principal del eje 105 del pasador. Por ejemplo, el radio mínimo 175 tiene una longitud de unos 75,8317 mm (2,9855 pulgadas) y se produce en un punto 176 en el lado de empuje principal del eje 105 del pasador, en un ángulo de unos 25 grados desde el eje 105 del pasador. El radio homólogo tiene una longitud de unos 75,8571 mm (2,9865 pulgadas), y se produce en un punto 178 en el lado de empuje secundario del eje 105 del pasador, en un ángulo de unos 25 grados desde el eje 105 del pasador. El radio máximo en este perfil polar tiene una longitud de unos 75,8901 mm (2,9878 pulgadas), y se produce en las superficies de empuje principal y secundaria 130 y 140. Los radios a lo largo de las superficies no de empuje 132 y 142 son menores que este radio máximo, para proporcionar holgura para la flexión hacia fuera del faldón 120 del pistón en la dirección del eje 105 del pasador.

Otras realizaciones del pistón pueden incluir un perfil polar que no se ilustra en la figura 2 ni en la figura 3. Por ejemplo, un pistón puede incluir el perfil axial mostrado en la figura 1, y puede incluir asimismo un perfil polar con una forma elíptica modificada que es asimétrica en torno al eje 105 del pasador. En otro ejemplo, un pistón puede incluir el perfil axial mostrado en la figura 1, y puede incluir asimismo un perfil polar con una forma elíptica modificada que es asimétrica en torno al eje 105 del pasador. En realizaciones con un perfil polar simétrico, el radio mínimo puede encontrarse a lo largo del eje 105 del pasador, y el radio máximo puede encontrarse a lo largo del eje de empuje 117 en los lados de empuje principal y secundario.

A continuación haciendo referencia a la figura 4, algunas realizaciones de un pistón 300 pueden configurarse de manera que el centroide de las fuerzas de reacción al empuje impuestas sobre el lado de empuje principal del pistón 300 esté situado próximo al eje longitudinal 317 del pasador del pistón. Dicha configuración puede reducir el momento de la fuerza de empuje, que normalmente provocaría un movimiento de balanceo del pistón 300. Debe entenderse que, en estas realizaciones, la carga de empuje no necesariamente está distribuida de manera perfectamente uniforme a lo largo de todo el lado de empuje principal 330 del faldón 320 del pistón. Incluso si algunas partes del lado principal de empuje 330 del faldón 320 del pistón soportan gran parte de la carga de empuje, el pistón 300 puede configurarse de manera que el centroide principal de las fuerzas de reacción (representado como el centroide R1 de fuerzas) está situado a la altura del eje longitudinal del pasador del pistón, o ligeramente por debajo del mismo. Dicha configuración puede enfocar eficazmente la carga del empuje a la parte más flexible del faldón del pistón (la parte inferior del faldón, en esta realización) y alejarla de las partes más rígidas del pistón (la parte superior del faldón y la cabeza del pistón, en esta realización). Esto puede reducir la probabilidad de que las partes más rígidas del pistón provoquen raspaduras a lo largo de la pared del cilindro, permitiendo de ese modo una separación de holgura sustancialmente menor entre la faja superior 316 y la pared de cilindro. Además, la carga de empuje puede concentrarse por debajo de las ranuras anulares 313 y 314 en donde, en algunas realizaciones, existe un suministro más generoso de aceite del motor u otro lubricante para amortiguar la carga de empuje.

La figura 4 muestra una vista en sección transversal del pistón 300 en el plano de empuje. El pistón 300 puede tener algunas características similares a las realizaciones descritas previamente, pero el pistón 300 tiene un perfil axial 350 diferente. El pistón puede incluir una parte de cabeza 310, una parte de faldón 320, un eje del pasador 305 y un eje del pistón 315. La parte de cabeza 310 puede tener una cuba 311 de combustión, una superficie superior 312, y ranuras anulares 313 y 314 que funcionan de manera similar a las realizaciones descritas previamente. La parte 320 de faldón puede tener una pared circunferencial 326 que rodea, por lo menos parcialmente, una parte hueca 321 próxima a la parte inferior 322 del pistón 300. La parte 320 de faldón puede incluir un lado de empuje principal 330 y un lazo de empuje secundario 340 que pueden acoplarse de manera deslizante con la pared del cilindro de un motor, similar a las realizaciones descritas previamente.

La línea del perfil axial 350 del pistón 300 puede representarse en un gráfico que muestra el radio en el plano de empuje, frente a la altura axial desde la parte inferior 322 del pistón. El gráfico de la figura 4 ilustra el perfil axial del pistón 300 a la temperatura de trabajo o en su entorno (véase la línea continua), y a la temperatura ambiente o en su entorno (véase la línea de trazos). Tal como se ha descrito previamente, el perfil axial 350 del pistón 300 puede ser diferente dependiendo de si el pistón 300 está a la temperatura de trabajo o en su entorno, o a la temperatura ambiente o en su entorno. En esta realización, el perfil del faldón intermedio 356 puede ser en general convexo o lineal cuando el pistón está en estado enfriado, pero debido a la expansión térmica de la pared circunferencial, el perfil del faldón intermedio 356 puede ajustarse para incluir la curvatura cóncava. En otras realizaciones, el perfil 356 del faldón intermedio puede incluir una curvatura cóncava, tanto cuando el pistón 300 está en un estado expandido térmicamente como cuando el pistón 300 está en un estado enfriado.

También haciendo referencia a la figura 4, el perfil del faldón del pistón puede incluir una línea 354 del perfil del faldón inferior, la línea 356 del perfil del faldón intermedio, y una línea 358 del perfil del faldón superior. En esta realización, por lo menos una parte de la línea inferior 354 del perfil del faldón puede tener una curvatura convexa que comprende un punto de radio máximo 355. Debe entenderse que otras realizaciones de la línea 354 del perfil del faldón inferior, pueden incluir otras curvaturas o pendientes. Por ejemplo, la parte más baja de la línea 354 del perfil del faldón inferior puede incluir un perfil sustancialmente lineal que representa una reducción lineal en el radio del pistón, desde el punto de radio máximo 355 hasta la parte inferior 322 del pistón. En otros casos, la parte más baja de la línea 154 del perfil del faldón inferior puede no incluir reducción en el radio del pistón, desde una posición en, o en torno al punto 355 de radio máximo, hasta una posición en, o en torno a la parte inferior 322 del pistón. La línea 354 del perfil del faldón intermedio puede incluir un primer punto de inflexión 357, en el cual la línea 354 del perfil del faldón inferior se une a la línea 356 del perfil del faldón intermedio. Por lo menos una parte de la línea 356 del perfil del faldón intermedio incluye una curvatura cóncava cuando el pistón 300 está a la temperatura de trabajo o en su entorno. Dicha curvatura cóncava puede, por ejemplo, representar un cambio sustancial de los radios del faldón del pistón en el plano de empuje, debido a un cambio sustancial en la rigidez del faldón 320 del pistón. Debe entenderse que otras partes de la línea 356 del perfil del faldón intermedio pueden incluir otras curvaturas u otras pendientes. La línea 356 del perfil del faldón intermedio puede incluir asimismo un segundo punto de inflexión 359, en el cual la línea 358 del perfil del faldón superior se une a la línea 356 del perfil del faldón intermedio. Por lo menos una parte de la línea 358 del perfil del faldón superior puede incluir una curvatura convexa o una pendiente lineal que contacta con la línea 360 del perfil de cabeza del pistón.

En esta realización, de acuerdo con la invención, por lo menos parte de los radios de la línea 360 del perfil de la cabeza del pistón en el plano de empuje, son mayores que los radios de la línea 358 del perfil del faldón superior en el plano de empuje. Por ejemplo, los radios a lo largo de una parte de la faja superior 316 y de la segunda faja 318 pueden ser mayores que parte de los radios del faldón superior 358, cuando el pistón 300 está a la temperatura de trabajo o en su entorno, tal como se muestra en la parte desplazada 362 de la línea 360 del perfil de la cabeza del pistón. Asimismo, en algunas realizaciones, los radios a lo largo de la tercera faja 319 pueden ser sustancialmente menores que los de la faja superior 316 y la segunda faja 318. Dicha configuración puede provocar un margen radial 364 entre el faldón superior y la cabeza del pistón, que puede utilizarse para enfocar el centroide de las fuerzas de reacción en el faldón 320 del pistón (representado como el centroide R1 de fuerzas) a una posición axial en el eje longitudinal 317 del pasador del pistón (descrito en mayor detalle a continuación) o ligeramente por debajo del mismo, de acuerdo con la invención.

La figura 5 muestra un ejemplo de la línea 350 del perfil axial representado en un gráfico, en el que el pistón está a la temperatura de trabajo, o en su entorno. Puesto que, en este ejemplo, la escala para el radio del faldón del pistón se ha limitado a un rango de 75,946 mm a 76,0984 mm (2,990 a 2,996 pulgadas), se ha exagerado la forma de la línea 350 del perfil del faldón. Debe entenderse que las escalas dimensionales mostradas en la figura 7 tienen solamente propósitos ilustrativos, y que otras realizaciones pueden comprender un pistón con varias dimensiones no ilustradas en la figura 7. Además, debe entenderse que la curvatura, la proporción y la forma del perfil axial que se muestran en la figura 7 tienen solamente propósitos ilustrativos, y que otras realizaciones pueden incluir un perfil axial con varias curvaturas, proporciones y formas no ilustradas en la figura 7. En este ejemplo, la parte más baja de la línea 354 del perfil del faldón inferior (por ejemplo, cerca de la parte inferior 322, a la altura axial = 0,000) incluye una curvatura convexa hacia dentro o una pendiente lineal hacia dentro para evitar horadar la pared del cilindro durante el movimiento oscilante del pistón 300 y para evitar, en ciertas circunstancias, un ajuste con apriete cuando el pistón 300 está a temperatura ambiente. Tal como se ha descrito previamente, por lo menos una parte de la línea 356 del perfil del faldón intermedio puede incluir una curvatura cóncava entre los puntos de inflexión 357 y 359. En esta realización, por lo menos parte de los radios del perfil 360 de la cabeza del pistón son mayores que parte de los radios del perfil 358 del faldón superior, lo que crea un margen radial 364 cuando el pistón 300 está a la temperatura de trabajo, o en su entorno.

En las realizaciones y los ejemplos descritos en relación con las figuras 4 y 5, la parte inferior del faldón 320 del pistón puede incluir un radio máximo (por ejemplo, 355) en un plano de empuje que está dimensionado para estar en interferencia con la pared del cilindro a temperaturas de trabajo. Tal como se ha descrito previamente, no se produciría la captura del pistón 300 debido a la flexión en la parte inferior del faldón 320 del pistón. La parte inferior del faldón 320 del pistón es capaz de flexionarse, de manera que la parte inferior del faldón 320 del pistón es cargada por la acción elástica contra el lado de empuje principal y el lado de empuje secundario de la pared del cilindro. Esta interacción provoca que la parte inferior del faldón 320 soporte una parte sustancial de las fuerzas de reacción al empuje. Además, la línea 350 del perfil axial del pistón 300 en el estado expandido térmicamente puede configurarse de manera que el margen radial 364 reduce las fuerzas de reacción al empuje sobre la parte 356 del faldón superior (por ejemplo, parte del faldón superior puede ni siquiera contactar con la pared de cilindro) y enfoca las fuerzas de reacción al empuje de manera que un centroide (representado como el centroide R1 de fuerzas) está situado en el eje longitudinal 317 del pasador del pistón, o ligeramente por debajo del mismo (por ejemplo, situado a una altura axial en el eje 305 del pivote, o por debajo del mismo). Dicha configuración puede reducir el momento de la fuerza de empuje, que normalmente provocaría un movimiento de balanceo del pistón 300. Asimismo, semejante configuración puede reducir la probabilidad de que las partes más rígidas del pistón 300 provoquen raspaduras a lo largo de la pared del cilindro, permitiendo de este modo un espacio de holgura sustancialmente menor entre la faja superior 316 y la pared del cilindro. En dichas circunstancias, incluso si la faja superior 316 u otra parte de la cabeza 310 del pistón se apoya contra el lado de empuje principal de la pared del cilindro, las fuerzas de reacción al empuje en la cabeza 310 del pistón (representadas como el centroide R2 de fuerzas) son significativamente menores que las fuerzas de reacción al empuje en el faldón del pistón (representadas como el centroide R1 de fuerzas). Así, el desgaste provocado por la cabeza 310 del pistón puede ser pequeño o insuficiente para provocar un raspado sustancial.

Haciendo referencia a las figuras 4 y 5, el margen radial 364 puede reducir sustancialmente o eliminar el contacto entre la pared de cilindro y la parte 358 del faldón superior. Así, la carga de empuje puede distribuirse sustancialmente a lo largo de dos partes del lado de empuje principal 330, a lo largo del faldón 320 del pistón y a lo largo de la cabeza 310 del pistón. Estas dos partes pueden soportar un conjunto diferente de fuerzas de reacción al empuje, que están representadas como el centroide R1 de fuerzas y el centroide R2 de fuerzas. Debido a la forma del perfil axial del faldón 320 y debido al margen radial 364 de la parte del faldón superior, el centroide R1 de fuerzas puede encontrarse en el eje longitudinal 317 del pasador del pistón o ligeramente por debajo del mismo (próximo al punto 355 del radio máximo). Asimismo, debido a que la cabeza 310 del pistón puede apoyarse contra la pared del cilindro en respuesta a una fuerza de empuje, el centroide R2 de fuerzas puede encontrarse a lo largo del lado de empuje principal de la cabeza del pistón (por ejemplo, próximo a la segunda faja 318 o a la faja superior 316 y, en esta realización, por encima de la tercera faja 319).

Suponiendo que el pistón 300 no tiene fuerza de aceleración transversal (esta hipótesis es válida una vez que el pistón es empujado hacia arriba contra la camisa del cilindro, después de que éste se desplaza debido al movimiento secundario), las fuerzas de reacción al empuje pueden expresarse como una función de la fuerza de empuje que es transmitida a través del eje longitudinal 317 del pasador (representada como fuerza T, en la figura 4).
 Estas expresiones son las siguientes:

$$R1 = \left(\frac{X2}{X1 + X2} \right) T \quad \text{y} \quad R2 = \left(\frac{X1}{X1 + X2} \right) T$$

donde X1 es la posición axial del centroide de las fuerzas de reacción al empuje sobre el faldón 320 del pistón (representadas como el centroide R1 de fuerzas) en relación con la altura del eje longitudinal 317 del pasador del pistón, y donde X2 es la posición axial del centroide de las fuerzas de reacción al empuje sobre la cabeza 310 del pistón (representadas como el centroide R2 de fuerzas) en relación con la altura del eje longitudinal 317 del pasador del pistón (véase, por ejemplo, la figura 4).

Debido a que el margen radial 364 puede reducir sustancialmente o eliminar el contacto entre la pared del cilindro y la parte 358 del faldón superior, y debido a que el punto 355 de radio máximo está situado a la altura del eje longitudinal 317 del pasador del pistón, o cerca del mismo, el centroide (R1) de las fuerzas de reacción al empuje sobre el faldón 320 del pistón puede encontrarse a la altura del eje longitudinal 317 del pasador del pistón, o ligeramente por debajo del mismo, de manera que X1 es relativamente pequeño (por ejemplo, $X1 \ll X2$). Cuando X1 es mucho menor que X2, el centroide (R2) de las fuerzas de reacción al empuje sobre la cabeza 310 del pistón se hace relativamente pequeño (por ejemplo, $R2 \ll R1$). En dichas circunstancias en las que R2 es mucho menor que R1, la fuerza de empuje (T) es contrarrestada sustancialmente por las fuerzas de reacción sobre el faldón 320 del pistón (por ejemplo, cuando $R2 \ll R1$, entonces $R1 \cong L$). Por consiguiente, las fuerzas de reacción del empuje sobre la cabeza 310 del pistón (representadas como el centroide R2) pueden ser reducidas sustancialmente, y puede reducirse análogamente el desgaste asociado con las fuerzas de reacción al empuje sobre la cabeza 310 del pistón. Así, el desgaste provocado por la cabeza 310 del pistón puede ser pequeño o insuficiente para provocar un raspado sustancial, y el pistón 300 puede configurarse para tener una separación de holgura sustancialmente menor entre la faja superior 316 y la pared del cilindro. Una separación de holgura ajustada puede reducir el volumen entre la pared del cilindro y la cabeza 316 del pistón, sobre el anillo de sellado de la faja superior 316 (es decir, el volumen de la hendidura). Normalmente, la mezcla de combustión recibida en el volumen de la hendidura no está totalmente quemada y por lo tanto se evacua como hidrocarburos no quemados. El volumen de hendidura reducido, reduce la cantidad de mezcla de combustión no quemada evacuada como emisiones no deseables, gracias a que el volumen de la mezcla de combustión no quemada es menor. Además, la separación de holgura más ajustada entre la faja superior 316 y la pared del cilindro y la magnitud menor de las fuerzas de reacción al empuje sobre la cabeza 310 del pistón, pueden reducir sustancialmente el desgaste sobre la faja superior 316, el anillo o los anillos del pistón, y la pared del cilindro.

Haciendo también referencia a las realizaciones y los ejemplos descritos en relación con las figuras 4 y 5, el perfil axial del faldón 320 del pistón puede configurarse de manera que el centroide (R1) de las fuerzas de reacción está alineado a la altura del eje longitudinal 317 del pasador del pistón, o ligeramente por debajo del mismo. Por ejemplo, el margen radial 364 puede incrementarse para reducir más la cantidad de la parte 358 del faldón superior que reposa sobre la pared del cilindro, lo cual puede provocar que el centroide (R1) de las fuerzas de reacción esté situado en una posición axial más baja sobre el faldón 320. Asimismo, la parte 354 del faldón inferior puede incluir el radio máximo 355 próximo a la altura del eje longitudinal 317 del pasador del pistón, de manera que la carga de empuje se incrementa y desvía el faldón 320 del pistón, el área cargada del faldón 320 puede incrementarse, pero el centroide (R1) de las fuerzas de reacción al empuje sobre el faldón 320 del pistón puede permanecer en el eje de longitudinal 317 del pasador, o ligeramente por debajo del mismo. En dichas circunstancias, la magnitud del centroide (R1) para las fuerzas de reacción al empuje sobre el faldón 320 del pistón, no excedería la magnitud de la fuerza de empuje (T). (Si el centroide (R1) de las fuerzas de reacción, se desplazase hacia la parte superior del faldón 320 del pistón, la posición axial (X1) tendría un valor negativo, provocando así que la magnitud del centroide (R1) de las fuerzas de reacción sea mayor que la magnitud de la fuerza de empuje (T).)

Han sido descritas una serie de realizaciones de la invención. Sin embargo, se comprenderá que pueden realizarse diversas modificaciones sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, en algunos casos el perfil axial del lado de empuje secundario puede ser diferente al perfil axial del lado de empuje principal. Asimismo, en casos en los que los perfiles axiales de los lados de empuje principal y secundario son sustancialmente iguales, el radio de un lado puede ser diferente al radio del otro. Por consiguiente, hay otras realizaciones dentro del alcance de las reivindicaciones siguientes, las cuales definen el alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un motor de combustión interna, que comprende:

por lo menos una pared (210) que define un diámetro interior (205); y

5 un pistón (300) dispuesto en el diámetro interior (205) y acoplado a una biela (102) del pistón para pivotar en torno a un eje de pivote (305), comprendiendo el pistón una superficie exterior sustancialmente circunferencial que tiene una parte (310) de cabeza y una línea (320) del perfil del faldón por debajo de la parte (310) cabeza, en donde la parte (310) de cabeza incluye ranuras anulares (314, 315), y en donde la línea (320) del perfil del faldón comienza en una pared inferior de la ranura anular más baja (314) del pistón y se extiende por debajo de la misma, apoyando por lo menos una parte de la superficie exterior contra la pared (210) en un plano de empuje cuando el pistón (300) está sustancialmente a la temperatura de trabajo y sometido a una fuerza de empuje (T), **caracterizado porque** la parte de la fuerza de empuje (T) soportada por la línea (320) del perfil del faldón en el plano de empuje está representada por un centroide (R_1) de fuerzas del faldón, estando situado el centroide (R_1) de fuerzas del faldón a una altura axial en el eje de pivote (305), o por debajo del mismo,

15 en el que la parte (310) de cabeza de la superficie exterior tiene radios que son mayores que, por lo menos, parte de los radios de la línea (320) del perfil del faldón de la superficie exterior, cuando el pistón está sustancialmente a la temperatura de trabajo.

2. El motor de la reivindicación 1, en el que la parte de la fuerza de empuje (T) soportada por la parte (310) de cabeza está representada por un centroide (R_2) de fuerzas de la cabeza, siendo el centroide (R_2) de fuerzas de la cabeza de magnitud sustancialmente menor que el centroide (R_1) de fuerzas del faldón.

3. El motor de la reivindicación 2, en el que el centroide (R_2) de fuerzas de la cabeza está situado a una altura axial por encima del eje de pivote (305), estando situado el centroide de fuerzas de la cabeza a una distancia del eje de pivote (305) sustancialmente mayor que el centroide (R_1) de fuerzas del faldón.

4. El motor de la reivindicación 1, en el que la superficie exterior tiene un perfil (350) en el plano de empuje, que incluye una línea (354) del perfil del faldón inferior, una línea (356) del perfil del faldón intermedio, y una línea (358) del perfil del faldón superior, incluyendo la línea (356) del perfil del faldón intermedio una curvatura cóncava en el plano de empuje cuando el pistón (300) está sustancialmente a la temperatura de trabajo.

5. El motor de la reivindicación 4, en el que el perfil (350) en el plano de empuje de la superficie circunferencial exterior pasa de una curvatura sustancialmente convexa de la línea (354) del perfil del faldón inferior en el plano de empuje, a la curvatura sustancialmente cóncava de la línea (356) del perfil del faldón intermedio.

6. El motor de la reivindicación 1, en el que la superficie exterior tiene un perfil (350) en el plano de empuje que incluye una línea (354) del perfil del faldón inferior, una línea (356) del perfil del faldón intermedio, y una línea (358) del perfil del faldón superior, teniendo la superficie exterior un margen radial (364) en el plano de empuje por encima del eje de pivote (305), cuando el pistón (300) está sustancialmente a la temperatura de trabajo.

7. El motor de la reivindicación 6, en el que la línea (358) del perfil del faldón superior incluye radios en el plano de empuje, que son menores que, por lo menos, algunos radios de la parte (310) de cabeza, cuando el pistón (300) está sustancialmente a la temperatura de trabajo.

8. El motor de la reivindicación 1, en el que la superficie exterior tiene un perfil (350) en el plano de empuje que incluye una línea (354) del perfil del faldón inferior, una línea (356) del perfil del faldón intermedio, y una línea (358) del perfil del faldón superior, teniendo la línea (354) del perfil del faldón inferior un radio máximo que está en ajuste con apriete con la pared (210) cuando el pistón (300) está sustancialmente a la temperatura de trabajo.

9. El motor de la reivindicación 8, en el que la parte del faldón inferior definida por la línea (354) del perfil del faldón inferior se reflexiona cuando está en el ajuste con apriete para evitar la captura del pistón (300) en el diámetro interior (205).

10. El motor de la reivindicación 8, en el que la parte del faldón inferior definida por la línea (354) del perfil del faldón inferior está cargada por resorte contra los lados de empuje principal y secundario (230 y 240) de la pared (210), cuando está en el ajuste con apriete con la pared (210).

11. El motor de la reivindicación 10, en el que la superficie exterior es operativa para guiar el pistón (300) en el diámetro interior (205) cuando línea (354) del perfil del faldón inferior está cargada por resorte contra los lados de empuje principal y secundario (230 y 240) de la pared (210).

12. El motor de la reivindicación 10, en el que cuando la línea (354) del perfil del faldón inferior está cargada por resorte contra los lados de empuje principal y secundario (230 y 240) de la pared (210), la línea (358) del perfil del faldón superior es desplazada radialmente desde el lado de empuje principal (230) de la pared (210) en el plano de empuje.
- 5 13. El motor de la reivindicación 1, en el que el pistón (300) comprende además un perfil polar (170) en un plano radial, y el perfil polar es asimétrico en torno al eje de pivote (305).

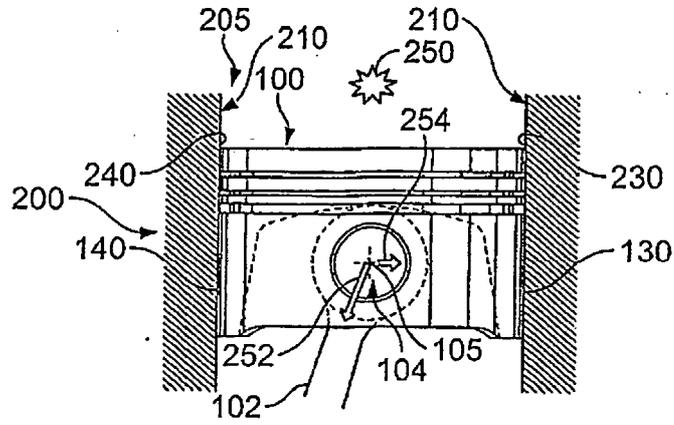


FIG. 1A

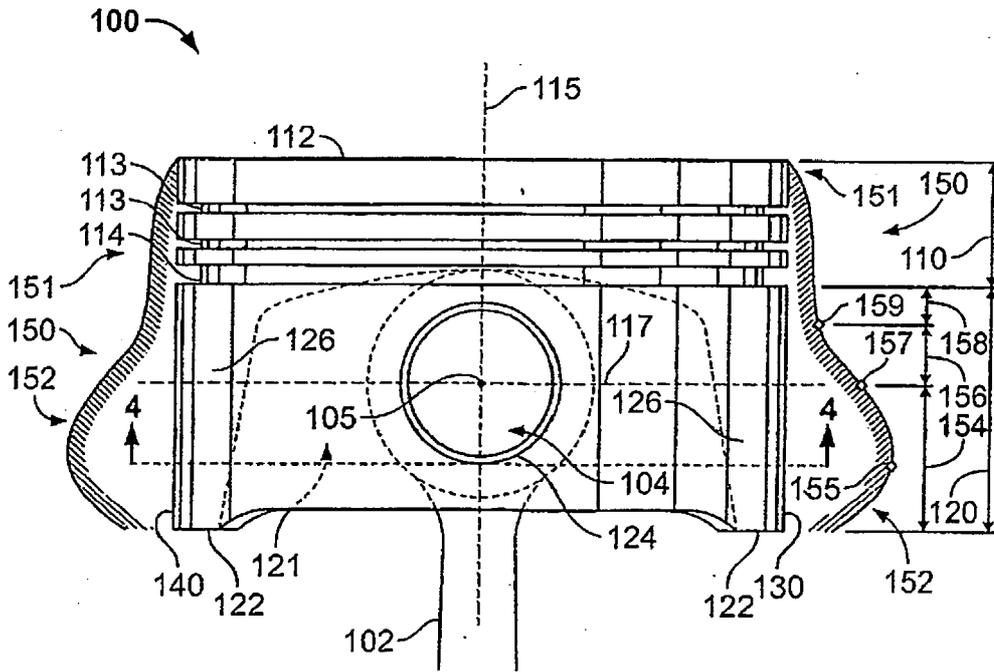


FIG. 1B

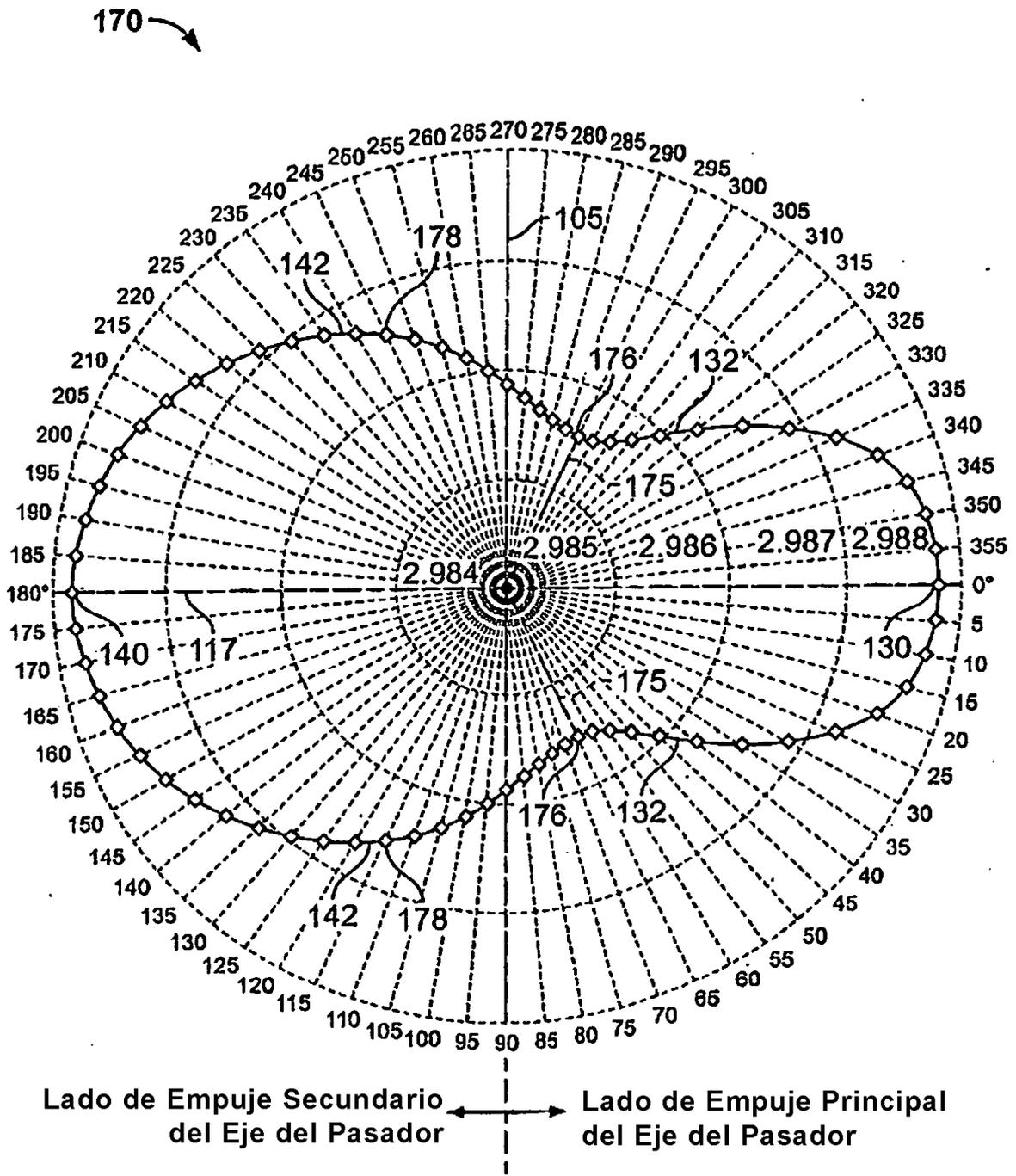


FIG. 3

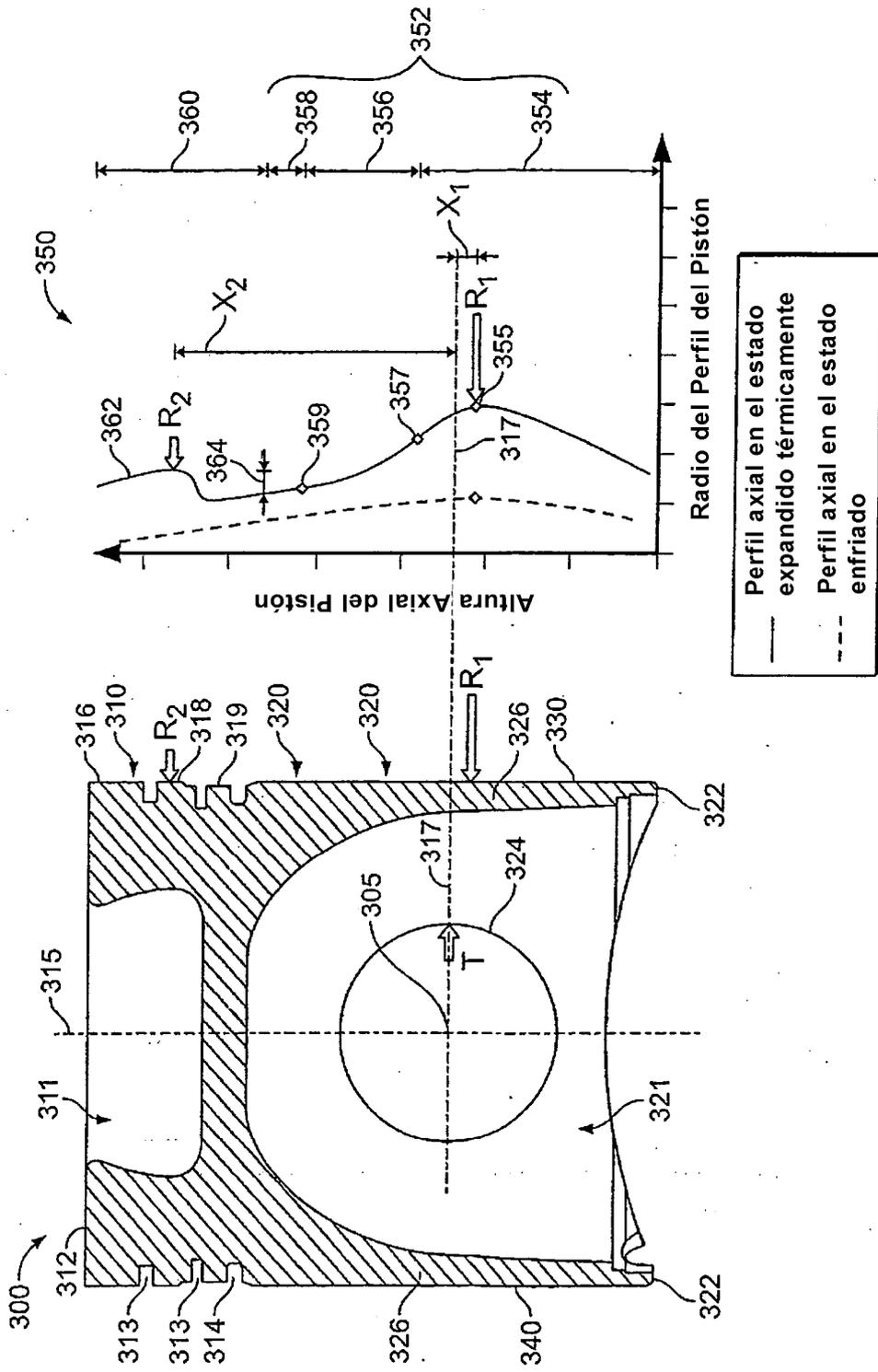


FIG. 4

