

# EL PISTON

Desde el cañón al émbolo - La fundición y las aleaciones ligeras - Proyecto: forma y dilataciones térmicas - El acoplamiento con el cilindro - Carreras cortas para reducir las sollicitaciones - El desgaste

En sentido general, el pistón o émbolo es el órgano que, en el mecanismo cinemática que transforma un movimiento rectilíneo en uno giratorio, tiene la función de deslizarse alternativamente dentro de su guía (cilindro). El mecanismo, denominado de biela-manivela, está compuesto por pistón, biela y manivela, y encuentra su aplicación natural tanto en máquinas motrices (motores de combustión interna, motores de vapor) como en máquinas operadoras o de trabajo (bombas hidráulicas alternativas, compresores, etc.). Su movimiento no es armónico simple, pero se diferencia muy poco.

En todas las aplicaciones en que se emplea, el pistón recibe (o transmite) fuerzas en forma de presión de (a) un líquido o de (a) un gas.

El origen del pistón puede remontarse al del cañón: de hecho, en esta máquina el proyectil (inicialmente esférico y luego cilíndrico) es conducido por la caria y empujado por la elevada presión de la explosión. Los primeros intentos de un motor de combustión interna en el siglo XVI se basaban en el cañón, puesto que usaban como combustible pólvora negra.

En 1873, gracias al norteamericano Brayton, la forma del pistón, de cuerpo cilíndrico, se hizo cada vez más compleja y similar a la configuración actual: se introdujeron los segmentos elásticos con sus correspondientes alojamientos, y los agujeros del bulón fueron dotados de una zona de robustecimiento interna.

El material con que se construía fue durante muchos años la fundición. En el año 1911, La Hispano-Suiza introdujo los pistones de aluminio, obteniendo una notable ventaja en cuanto a ligereza. Sin embargo, la mayor dilatación térmica del aluminio (3 veces superior a la de la fundición) y el consiguiente peligro de gripado condujeron a los demás constructores de motores a conservar aún durante un decenio los pistones de fundición, limitando el peso mediante la reducción del grosor del material.

A partir de 1920, gracias a las nuevas aleaciones ligeras y a las técnicas de fusión y de mecanización mejoradas, el pistón de aluminio comenzó a substituir al de fundición, aunque en los años treinta se produjo en Estados Unidos un retorno al segundo tipo, por razones económicas y en parte técnicas.

## La forma del pistón

En el pistón pueden distinguirse 4 partes principales: la cabeza, que recibe el calor Y el impulso de los gases de combustión; la zona de los aros, que por medio de los segmentos asegura la retención de los gases y del aceite de lubricación y al mismo tiempo disipa una parte del calor recibido; los alojamientos del bulón mediante el cual se une el pistón a la biela, y la falda, cuya función consiste en guiar el pistón en su movimiento dentro del cilindro y ceder el resto del calor al fluido de refrigeración (aire o agua).

El pistón está definido por las siguientes dimensiones fundamentales:  $D$  =diámetro;  $L$  = longitud total;  $B$  = cota de compresión;  $D$  = diámetro del bulón.

La cota de compresión tiene cierta importancia, puesto que suministra la posición del plano de la cabeza en el punto muerto superior y, consiguientemente, el volumen útil de la cámara de combustión. En otros términos, influye sobre la relación de compresión que se deduce del cociente entre la suma de la cilindrada y el volumen de la cámara de combustión dividido por este último.

En la zona portasegmentos, los alojamientos de los segmentos se obtienen mediante torneado. En tiempos no muy lejanos podían contarse hasta 5 alojamientos; en la actualidad, dada la eficiencia de los segmentos, éstos se han reducido a 3 para los pistones de motores de turismo comunes y a 4 para los de motores Diesel.

El primer alojamiento, comenzando por arriba, aloja un segmento de retención; el segundo (o el segundo y el tercero) puede incluir un segmento rascador con rebaje, o bien, un segmento de retención y otro con rebaje; el último alojamiento lleva un segmento clásico recogedor de aceite, con ranuras, que tiene la función de recuperar una parte del aceite de lubricación lanzado contra las paredes del cilindro.

No todo el aceite es retenido por el segmento correspondiente en su carrera de bajada; una parte permanece y sirve para mejorar las condiciones de rozamiento de los demás segmentos. La función del primer segmento es bloquear la parte residual de aceite que sube hasta él.

Un hecho bastante curioso, pero que tiene razón de ser, es que la última aleta, es decir, la porción comprendida entre los 2 segmentos

finales, tiene 1 mm menos de diámetro, aproximadamente, que las demás; esto tiene como finalidad crear un espacio regulador, donde se forma un anillo líquido que retarda la marcha del aceite hacia arriba y produce una zona de retención más.

El área de los alojamientos del bulón, zona de unión del pistón con la cabeza de la biela mediante el bulón, es muy delicada, dadas las fuerzas que actúan en ella. Un acoplamiento realizado defectuosamente implica consecuencias catastróficas (rotura de los apoyos, gripado y avería total del cilindro). Para tener una idea de ello piénsese que el agujero del bulón se mecaniza con herramientas de diamante, con una rugosidad superficial hasta de

0,5  $\mu$  y con tolerancias de mecanización de 4-7 $\mu$ . Análogamente, el bulón (de acero bonificado), con superficie exterior cementada, se rectifica con tolerancias de 5-7 $\mu$ . Generalmente, se usan 3 acoplamientos: bulón fijo a la biela y flotante sobre los apoyos; bulón sujeto al pistón y libre sobre la biela, y bulón libre en los apoyos y en la biela (flotante).

En el caso de bulones libres en los apoyos, éstos no pueden deslizarse y salir de sus alojamientos, puesto que se lo impiden unas arandelas del tipo Seeger de sección rectangular.

Las aleaciones de aluminio empleadas normalmente para la construcción de pistones pueden clasificarse en 3 categorías: aluminio-cobre, aluminio-cobre-níquel (o hierro) y aluminio-silicio. Las aleaciones más empleadas son las últimas, puesto que ofrecen óptima resistencia mecánica y coeficiente de dilatación bajo, junto con elevado coeficiente de conductibilidad térmica. Además de éstas, existen aleaciones de aluminio al cobre, al silicio y al magnesio adecuadas para pistones estampados en prensa, de resistencia mecánica elevada. Estas aleaciones sirven, sobre todo, para construir pistones para motores de competición y de aviación.

En los motores de combustión interna, se confían al pistón las siguientes funciones: transmitir al cigüeñal, a través de la biela, los impulsos producidos por los gases de combustión; garantizar la retención de los gases y del aceite de lubricación, y transmitir al cilindro el calor que recibe de los gases.

La primera función está relacionada esencialmente con su resistencia mecánica y es una de las principales consideraciones que el diseñador debe tener en cuenta al proyectar los grosores y al elegir el material.

La segunda función (retención de gases) permite utilizar toda la energía producida en el momento de la combustión y evita que los gases, al pasar al cárter, quemen el aceite y provoquen el gripado o el encolado de los segmentos. La retención del aceite es necesaria, además de para limitar el consumo, para evitar depósitos de carbonilla entre las aletas y en la cámara de combustión; estos últimos pueden provocar el preencendido por puntos incandescentes e incluso perforar el pistón. Las dimensiones de la falda y de las aletas contribuyen a garantizar la retención, puesto que, por encima de ciertos valores de juegos de acoplamiento entre el pistón y el cilindro, el sistema no puede funcionar, por el peligro de gripado, por lo que dicha función se confía sobre todo a los segmentos.

La tercera función (disipación del calor) favorece el mantenimiento de las características mecánicas del material, reduce el peligro de trabamiento de los segmentos y el desgaste de los alojamientos.

La gama de los tipos de pistones, diferentes por su forma, sus funciones y dimensiones, es muy amplia. Cada motor tiene su pistón. De todos modos, puede aceptarse una subdivisión en dos grandes clases, cada una de las cuales agrupa subtipos con características definidas.

## **Pistones para motores de encendido por chispa**

Son los pistones que se emplean preferentemente en los motores de 4 tiempos y de 2. Su diámetro va desde 30-70 mm para las motocicletas hasta 52-110 mm para los automóviles. Pueden construirse de varias formas: la cabeza, por ejemplo, puede ser plana, cóncava o convexa. Puede presentar rebajes circulares en correspondencia con la posición de las válvulas de admisión y de escape. La cabeza de los pistones Citroën es especial, puesto que tiene un resalte asimétrico de forma no definible geoméricamente. Estas diferentes cavidades representan la investigación continua de los proyectistas para conseguir una combustión completa y, por tanto, un menor porcentaje de gases no quemados en el escape.

La zona inferior de la falda posee generalmente aletas que tienen la función de aumentar la guía y reducir el golpeteo del pistón contra las paredes del cilindro. El área de la falda próxima a los agujeros del bulón muchas veces se rebaja para aligerar el pistón sin comprometer su resistencia.

También puede hacerse otra distinción tomando en consideración las diferentes técnicas de construcción ideadas para controlar la dilatación térmica. Dichas técnicas representan la evolución máxima del pistón.

*Pistones monometálicos de falda completa.* Son los más sencillos y los más usados; la dilatación térmica de la falda es relativamente grande, de ahí que se precisen amplios juegos de acoplamiento y notables ovalizaciones de compensación. En tiempos pasados, este tipo de pistón tenía un corte, vertical u oblicuo, con la función de hacer más elástica la falda y absorber las dilataciones. Sin embargo, esto implicaba una menor rigidez de la falda que, muchas veces, se rompía.

En la misma categoría pueden incluirse los pistones de estampación para competición. Tienen la cabeza de forma convexa con gran curvatura para permitir relaciones de compresión elevadas. En la zona portasegmentos existen alojamientos para 2 segmentos o, como máximo, para 3, y la falda tiene una superficie muy reducida cuya función es solamente de guía. Presentan nervios muy pronunciados, con la única finalidad de reducir al mínimo el peso que, dado el elevado número de ciclos (9.000-11.000 por minuto), influye de manera notable sobre la naturaleza y la clase de las fuerzas de inercia que intervienen.

*Pistones de dilatación térmica controlada.* Son pistones con pequeñas placas de acero, incorporadas durante la fundición, que les confieren altas prestaciones desde el punto de vista de la dilatación térmica. En 1925, A. L. Nelson construyó un pistón con placas de invar, aprovechando que este material posee un coeficiente de dilatación muy pequeño respecto al de las aleaciones de aluminio. Posteriormente, en Alemania aparecieron los pistones Autothernúk y Autothermatik de la empresa Mahle y los pistones con segmentos de dilatación de la Karl Schmidt.

El pistón Autothermik se caracteriza tanto por el tipo de placas como por la presencia de un corte en el alojamiento del segmento recogedor de aceite, que interrumpe la unión de la cabeza con la falda. El corte determina que la falda esté más fría y, por tanto, que sea más

fácilmente controlable. El pistón Autothermatik es muy similar al Autothermik: se diferencia únicamente en que la unión de la cabeza con la falda no está cortada, sino sólo interrumpida por agujeros situados de manera que permiten aún cierto flujo de calor desde la cabeza a la falda que, por consiguiente, permanece más fría. Además de esto, se evitan las deformaciones de la cabeza, que en este caso apoya toda la circunferencia sobre el cuerpo del pistón. Los pistones de este tipo ofrecen las mismas ventajas que los monometálicos no cortados y que los autotérmicos, por lo que se emplean en motores rápidos y sometidos a sollicitaciones elevadas.

Los pistones con anillos de dilatación se caracterizan por una pieza de acero de sección transversal circular, con la parte exterior lisa o dentada, incorporada en el momento de la colada. Esta pieza especial tiene la capacidad de reducir notablemente la dilatación de la parte superior de la falda, es decir, la contigua al alojamiento del segmento rascador de aceite. Una variante de este tipo es la del pistón Cinturato, de la empresa Borgo, en el cual la función de reducir las dilataciones está confiada a un aro de acero de sección transversal oval que tiene 1 mm de espesor y una altura de 15 mm, aproximadamente. Otro pistón de esta categoría es el Duotherm de la marca Mahle, pieza circular y, por tanto, reúne las características de ambos. El sistema Duotherm se utiliza muchas veces en pistones para motores Diesel rápidos. Análogamente, y para las mismas aplicaciones, se produce el pistón Perimatic, de la marca Karl Schmidt. La particularidad de este último consiste en que posee una placa de acero cilíndrica que rodea completamente a la falda, confiriéndole cualidades de resistencia especiales.

### **Pistones para motores Diesel**

Las cabezas de estos pistones varían de forma, pero presentan los mismos problemas: elevado rendimiento de la combustión, disipación del calor de la cámara de combustión y transferencia del impulso de los gases a la biela a través del bulón. De estos problemas, los 2 primeros son los más difíciles de resolver.

Las cámaras del tipo de turbulencia esférica, las de doble turbulencia (Saurer) y las de turbulencia simétrica (Ricardo) son las más usadas y con ellas se trata de obtener una velocidad de rotación del aire aspirado y comprimido muy elevada y simétrica. De esta manera, las partículas de combustible pulverizado por el inyector, al mezclarse íntimamente con el aire, se queman por completo. El borde de la cámara de combustión es una zona muy delicada a causa de las posibles grietas de origen térmico; esto se remedia aumentando los radios de acorde o también incorporando en esta zona elementos de fundición que tengan un coeficiente de dilatación muy próximo al de la aleación de aluminio. Esta técnica se emplea normalmente para pistones sometidos a sollicitaciones elevadas.

La disipación del calor de la cabeza se obtiene: perfilando adecuadamente el interior del pistón, sobre todo en la zona de unión con la falda; enfriando con chorros de aceite la parte inferior de la cabeza del pistón, o efectuando rebajes circulares o en serpentina, en el cuerpo de la cabeza o alrededor de la cámara de combustión en donde se desliza el aceite de refrigeración. El borde superior de estos pistones, al quedar directamente expuesto a los

efectos de la combustión, constituye la primera barrera contra los gases en expansión. Un juego demasiado grande favorece la formación de depósitos de carbonilla, que rellenan el espacio libre y pueden causar el gripado cuando se solicita una inesperada potencia del motor. Si el juego es demasiado pequeño, el segmento del primer alojamiento trabaja casi en condiciones de gripado. Dicho segmento, dada su proximidad a la cámara de combustión, está especialmente expuesto a trabarse en su alojamiento; de ahí que es aconsejable colocarlo lo más bajo posible. Generalmente, la altura óptima de la primera aleta es  $1/5$  del diámetro. Para los motores con elevada carga térmica, las técnicas descritas anteriormente tienen escasa importancia, puesto que la elevada temperatura del primer alojamiento (200-230 °C) produce un notable desgaste de la misma y la posibilidad de encolado del segmento. Este inconveniente ha sido superado incorporando durante la colada en la zona del primer alojamiento una pieza de fundición resistente al desgaste y en la que se realiza el alojamiento del segmento. En tiempos pasados, dicho sistema no había demostrado ser conveniente a causa del fácil aflojamiento de la pieza, con el consiguiente martilleo y rotura del pistón; pero, gracias a las modernas técnicas de fundición, fueron superadas dichas dificultades.

### **Aumento del régimen:**

#### **10.000 carreras por minuto**

Las causas del desgaste del pistón son de 3 tipos: rozamiento con el cilindro, acción abrasiva producida por pequeñas partículas y efecto corrosivo de los productos de la combustión, que son ácidos fuertes ( $\text{pH} = 2$ ) durante el funcionamiento a temperaturas bajas (arranque en frío). Los remedios para disminuir al mínimo los efectos de estas causas son: reducción de la fuerza transversal, obtenida descentrando el bulón respecto al diámetro del pistón, y disminución del coeficiente de rozamiento mediante el mantenimiento de una capa de aceite lubricante. Este último factor se consigue tanto eligiendo la mejor combinación de los tipos de segmentos como conjugando los valores de rugosidad de las superficies de contacto. Por regla general, acabados bastos dan mejores resultados, puesto que, una vez efectuado el rodaje, los surcos profundos ofrecen aún buenos alojamientos de permanencia del aceite (rugosidad media de 0,9  $\mu\text{m}$  para los cilindros y de 2,5  $\mu\text{m}$  para los pistones). En especial, para evitar que los surcos se conviertan en canales que se dirijan hacia la cámara de combustión y que, por consiguiente, faciliten el paso del aceite, se suele rectificar la superficie del cilindro de manera que se obtengan hélices entrecruzadas con ángulos de 120°.

La duración del pistón depende esencialmente de la calidad del material utilizado y de los tratamientos térmicos a que ha sido sometido. Durante el funcionamiento, el pistón produce ruido, puesto que su movimiento no es perfectamente rectilíneo, sino que se compone de un desplazamiento transversal, que le hace chocar con el cilindro, y de una rotación alrededor del eje del bulón, que le hace tocar alternativamente con la cabeza y con la base de la falda. Otro ruido se debe al juego de los apoyos con el bulón. La disminución del ruido puede conseguirse dando a la falda una forma bombeada y oval. Durante el funcionamiento del motor, las presiones y las fuerzas de inercia que actúan sobre el pistón dan una componente transversal dirigida hacia un lado durante las fases de expansión y de admisión, y en sentido opuesto durante la compresión y el escape.

Teniendo en cuenta que la intensidad de la fuerza transversal depende del ángulo de inclinación de la biela, su reducción puede obtenerse teóricamente alargando mucho la biela o bien reduciendo la carrera (y, por tanto, el radio de manivela) o, más prácticamente, descentrando los cilindros y el bulón por la parte hacia la cual se mueve la biela en la fase de expansión. De esta manera, durante la expansión, cuando la fuerza vertical es mayor, la componente transversal será menor (por la distinta inclinación de la biela), mientras que se obtendrá un incremento de la misma en las fases de compresión y escape cuando las fuerzas verticales son menores. Las fuerzas verticales que actúan sobre el pistón son resultantes de la acción de los gases y de las fuerzas de inercia. Ahora bien, mientras que la acción de los gases es una fuerza activa, las fuerzas de inercia son resistencias pasivas que es necesario reducir. Dichas fuerzas son debidas esencialmente a la masa y a la aceleración del pistón.

En los motores de competición en que el cigüeñal tiene una velocidad angular muy elevada, es necesario reducir al máximo el peso de los pistones. Este problema no afecta solamente a los preparadores de motores de competición, sino, sobre todo, a los constructores, a causa del aumento continuo del número de revoluciones del motor. A 5.000 rpm, cada pistón realiza ya 10.000 carreras/mn.

Los efectos más perjudiciales de la temperatura en el cuerpo del pistón son la disminución de las características mecánicas del material, la predisposición al desgaste y al gripado, el agrietamiento de la cabeza, el encolado de los segmentos y la dilatación excesiva de los bordes y de la falda.

Un aspecto muy importante del problema térmico, desde el punto de vista de la construcción, es el efecto de la dilatación de la falda. A causa de la forma tridimensional del pistón, la dilatación se produce en las 3 dimensiones del espacio; su magnitud depende exclusivamente de 3 factores fundamentales: coeficiente de dilatación del material, temperatura y grosor de la zona considerada.

Si se toma en consideración una sección vertical de la falda, se observará que se caracteriza por grosores y temperaturas decrecientes hacia abajo, con las consiguientes dilataciones mayores en la parte alta respecto a la baja. Este inconveniente se remedia dando a la falda una forma cónica o bombeada con diámetros inferiores en la parte alta.

### **Montaje del pistón**

Por el contrario, si se toma en consideración una sección horizontal de la falda, ésta se caracteriza por grosores y temperaturas sensiblemente mayores en la zona de asiento del bulón. Por tanto, si se construyese el pistón con sección circular, en caliente se dilataría más en esa zona y asumirla forma oval. Este inconveniente se supera dando a la falda, también en este caso, una forma oval, cuya dimensión menor esté precisamente en el área de los apoyos. En otros términos, se da una excentricidad opuesta a la que se genera durante el funcionamiento, de modo que, en caliente, el pistón toma una configuración próxima a la cilíndrica. Si de esta manera se compensa la dilatación natural del material, al mismo tiempo se aumentan los juegos de acoplamiento con el cilindro, que resultan siempre

mayores cuando, para elevar las prestaciones del motor, se incrementa su carga térmica. De aquí se deduce la necesidad de controlar mecánicamente la dilatación de la falda mediante la interposición de placas metálicas de coeficiente de dilatación bajo.

En la actualidad es posible montar pistones que realizan en frío juegos diametrales de 0,03-0,05 mm que en caliente se reducen aproximadamente el 30 %.

En los motores que han funcionado durante centenares de horas puede producirse el doblado de las bielas. En este caso, los ejes del pie (asiento del bulón) y de la cabeza de la biela (asiento del cojinete de manivela) no son ya paralelos y coplanarios. Un sistema rápido para controlar esto consiste en interponer, una vez acabado el montaje, un espesor de tamaño igual al agujero entre el primer borde y el cilindro, y después comprobar que el juego tenga el mismo valor en el lado opuesto.

El montaje del pistón en el cilindro debe efectuarse tras una limpieza escrupulosa del cilindro con petróleo o con -aceite lubricante muy fluido,

La introducción del pistón se efectúa empleando una herramienta apropiada para el cierre de los segmentos, empujando manualmente el pistón sin golpear sobre la cabeza, porque podría provocarse la rotura o el agrietamiento de los segmentos.

Es muy importante la elección de las dimensiones efectivas del pistón (en el caso de sustitución) en función del diámetro del cilindro para volver a conseguir el juego mínimo de funcionamiento establecido por el fabricante. Cada marca detalla en los manuales de reparación cuál es la clase (es decir, el diámetro) del pistón que debe elegirse en función de las dimensiones del cilindro. De esta manera se evita la difícil operación de medir el diámetro del pistón que (al no presentar un perfil cilíndrico, sino en forma de tonel) tiene un diámetro variable de un punto a otro.

Los segmentos se montan, comenzando por arriba, en el orden siguiente: un segmento de retención rectangular con superficie cromada o molibdenada; un segmento de doble función de retención y rascador de aceite de sección trapecial, con superficie de deslizamiento inclinada aproximadamente medio grado respecto a la superficie del cilindro; un segmento rascador de aceite con escalón; y, finalmente, un segmento recogedor de aceite con ranuras circunferenciales para descargar el aceite en el interior.

Para realizar un buen montaje es necesario que la sigla TOP, situada próxima a la apertura, esté dirigida siempre hacia arriba. La inversión del sentido, aunque no sea más que en un solo segmento, puede provocar un elevado consumo de aceite. Otra cosa importante es que el montaje del segmento no debe realizarse ensanchándolo demasiado, puesto que podrían producirse deformaciones permanentes que comprometerían la funcionalidad.

## **Los inconvenientes**



A continuación se describirán brevemente los defectos característicos de los pistones y los inconvenientes causados en el motor.

**Consumo de aceite.** Cuando en las aceleraciones rápidas aparezcan en el escape humos azulados, quiere decir que el aceite pasa a la cámara de combustión a través de los pistones y de los segmentos que no garantizan una buena retención. Por el contrario, cuando el consumo de aceite se produce quitando el pie del acelerador, proviene de las guías de las válvulas. A veces, el consumo de aceite no depende de esos elementos, sino de la temperatura del motor: si la refrigeración es insuficiente, se rebaja la viscosidad del aceite y entonces tiene más posibilidades de alcanzar la cámara de combustión.

Las causas principales que producen consumo de aceite por los pistones son: perpendicularidad imperfecta de las bielas, rodaje incompleto, desgaste excesivo de los segmentos y del pistón, camisas no perfectamente cilíndricas o con rugosidad errónea, pistones y segmentos gripados, segmentos encolados u obturación parcial de las ranuras de escape del segmento recogedor de aceite.

**Preencendido y detonación.** El preencendido es el comienzo anticipado de la combustión de la mezcla causado esencialmente por un punto incandescente; se inicia antes del tiempo establecido e independientemente de la chispa de la bujía. En cambio, la detonación es una explosión debida a la presión y a la temperatura elevadas, localizada en la mezcla combustible en un punto distante del frente de llama generado por la chispa; es decir, se tienen 2 zonas que se inflaman independientemente y que producen ondas de choque vibratorias de las cuales depende el característico golpeteo en el pistón.

Estos 2 fenómenos son causados por: encendido demasiado avanzado, bujías de grado térmico inadecuado, gasolina con bajo número de octano, mezcla pobre, incrustaciones de carbonilla en la cámara de combustión, relación de compresión elevada o circuito de refrigeración insuficiente. Las consecuencias son casi siempre agujeros localizados en la cabeza del pistón, gripado y rotura de los segmentos y de los resaltes de sus alojamientos.

*Gripado de los pistones.* Exceptuando los casos de errores en la fijación de las dimensiones del pistón y del cilindro, por lo regular el gripado se produce cuando se genera un paso de llama entre los segmentos, el pistón y la camisa; cuando la instalación de refrigeración es insuficiente, y cuando la carburación es demasiado rica.

*Encolado de los segmentos.* Este trabamiento se produce principalmente en los pistones de los motores Diesel, cada vez que se genera un aumento de temperatura en el cuerpo del pistón. Cuando ésta supera los 225 IC en la zona de asiento de los segmentos, el aceite se disgrega en compuestos carbonosos y gomosos que adhieren los aros a sus alojamientos. Las causas son casi siempre las descritas con anterioridad y conducen fácilmente a la rotura de los segmentos.

*Gripado de los segmentos.* Todas las causas que producen el gripado del pistón son suficientes para agarrotar los segmentos. Para estos últimos es muy importante el acabado superficial de los cilindros, puesto que se encuentran en condiciones de lubricación muy precarias dada su proximidad a zonas con temperatura más alta (cámara de combustión).

*Defectos por montaje incorrecto del bulón.* El montaje incorrecto del bulón puede producirse por causas que dependen del montador, como la falta de substitución de los semicojinetes de biela, el acoplamiento de bulones y asientos que no son de la misma clase, la falta de verificación de la posición concéntrica del eje de los apoyos, del bulón y del pie de biela, y, finalmente, su perpendicularidad con el eje del pistón; también, por causas independientes del montador, como la mecanización incorrecta de los agujeros de los apoyos que, a veces, no quedan perfectamente cilíndricos (conicidad- ovalidad). Si el semicojinete del pie de biela está desgastado de forma cónica, o si el bulón es forzado por ambos lados, éste quedaría sujeto sólo por el centro. En ambos casos, el contacto se produce sólo en pequeñas zonas y el pistón queda inclinado u oscila. Cuando no se tiene la precaución de montar pistones y bulones de la misma clase, pueden formarse acoplamientos con juegos demasiado elevados o interferencias demasiado apretadas, las cuales obligan al montador a colocar el bulón con martillo con consecuencias desastrosas para el acoplamiento. Por el contrario, cuando el pistón tiene los agujeros del bulón no coaxiales o cónicos, al efectuar el montaje se producen contactos localizados sobre los que, durante el funcionamiento, se descargan presiones específicas elevadas. Estos montajes defectuosos conducen siempre a las siguientes averías: roturas del pistón en la zona de los apoyos, rotura de los alojamientos de los anillos Seeger y, por tanto, posible desplazamiento transversal del bulón, deformación de la biela, desgastes anormales o gripado del pistón. Otra cosa muy importante es el tope de los bulones mediante los anillos Seeger, que no deben ser cerrados más de lo necesario para no comprometer la elasticidad y la adaptación forzada en su alojamiento. Si los anillos quedan libres bajo la acción del pistón, saltan fuera y dañan irremediabilmente el pistón y el cilindro.