



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MOTORES

Preparación de Motores de Competición



Manual del Curso

Año 2004

Aristóbulo del Valle 5125 Villa Ballester - Bs As - Argentina
4767-4878 e-mail: itmcalvin@hotmail.com www.cursositm.com.ar

**“La reproducción o transcripción
total y parcial de este material
está prohibido, salvo expresa
autorización por escrito de
ITM Instituto Tecnológico de Motores”**



Las informaciones contenidas en este manual son exclusivamente
para complementar el curso estando sujetas a modificaciones sin previo aviso

Introducción

Para abordar el estudio de los sistemas y el rediseño de componentes utilizados en motores de competición que trataremos en este curso, es necesario utilizar el presente manual como soporte didáctico para lograr posteriormente la preparación y potenciación de motores destinados a vehículos deportivos.

Este manual denominado **Preparación de motores de competición**, recoge los contenidos básicos necesarios. El presente trabajo se caracteriza fundamentalmente por la sencillez del lenguaje utilizado, así como la forma y síntesis de los contenidos manteniendo el rigor técnico que un curso como este requiere.

Cada tema se complementa con dibujos y gráficos que facilitan la comprensión de los contenidos previos.

El objetivo fundamental de este manual, es el de conseguir la máxima claridad posible y acudir siempre a lo práctico con preferencia a los largos estudios teóricos de las más importantes nuevas tecnologías que actualmente se han incorporado en la competición deportiva.

CONCEPTOS BÁSICOS DE FÍSICA

OBJETIVOS

- Estudiar los conceptos básicos de Física.
- Introducir los parámetros requeridos para el posterior cálculo de par y potencia.

TEMPERATURA Y CALOR

La primera noción de temperatura la adquirimos mediante el sentido del tacto, que nos permite apreciar si un cuerpo está frío o caliente, e incluso, cuál de los dos está más caliente, aunque con poca precisión.

La experiencia demuestra *que cuando un cuerpo cambia de temperatura, varían algunas de sus propiedades físicas*, como por ejemplo su volumen.

CALOR

Cuando calentamos una determinada cantidad de agua, se observa que su temperatura va subiendo de manera continua a medida que transcurre el tiempo, hasta que se alcanza el punto de ebullición (100°C), en que la temperatura ya no sube más a pesar de que continúe comunicándose calor. Esta experiencia demuestra que calor y temperatura son cosas distintas.

Si en lugar del agua, lo que se calienta es una misma masa de aceite, se verá que la temperatura de éste sube con mayor rapidez que en el caso anterior, alcanzándose valores mayores en el mismo tiempo de calentamiento, o lo que es igual, habiendo recibido la misma cantidad de calor, el aceite ha alcanzado una temperatura superior a la del agua, manteniendo en ambos casos invariable la fuente calorífica.

De estas experiencias deducimos:

- a- Se puede comunicar calor a un cuerpo sin que su temperatura aumente.
- b- Cantidades iguales de calor, comunicadas a cuerpos diferentes (de igual masa), producen distintas elevaciones de temperatura.

Intercambios y transmisión de calor

El calor puede transmitirse de varias formas:

a) por **conducción**, b) por **convección** y c) por **radiación**.

a- Por **conducción**: cuando se introduce el extremo de una varilla metálica en una llama, se observa que el extremo opuesto a éste se va calentando cada vez más, aunque no esté en contacto con la llama. Decimos entonces que el calor pasa por conducción del extremo caliente al frío.

b- La **convección** es un proceso mecánico de transporte de calor, que tiene lugar exclusivamente en los fluidos, consistente en una transferencia de calor de una a otra parte del fluido, merced a las corrientes originadas en su interior en virtud de diferencias de densidad.

El líquido se expande al calentarse, haciéndose menos denso, por cuya causa asciende; mientras que desde arriba el líquido frío desciende, cerrando así la circulación, que tiende a igualar las temperaturas en toda la masa líquida.

c- El tercer mecanismo mediante el cual puede pasar el calor de un cuerpo a otro, recibe el nombre de **radiación** y es la denominación que se da a la transmisión de energía por medio de ondas a través del espacio. Estas ondas son semejantes a las de la luz y se propagan en el vacío, pudiendo reflejar, transmitir o absorber.

Gracias a la radiación llega el calor del Sol a la Tierra.

ENERGÍA

Debido a su constitución, su posición, o su movimiento, en los cuerpos existe una cierta *capacidad para realizar un trabajo*. Precisamente esta capacidad recibe el nombre de **energía**.

El principio de conservación de la energía dice que ésta no se crea ni se destruye, es decir, en el mundo hay siempre la misma cantidad de energía y cuando en alguna parte desaparece una porción, aparece en otra parte la misma cantidad; por ejemplo, un cuerpo que se enfría pierde energía calorífica, que pasa al aire que lo rodea y a otros cuerpos próximos, calentándolos, siendo la energía total que estos ganan exactamente igual a la que el cuerpo perdió en su enfriamiento.

La gasolina posee energía, pues quemándola en un motor se puede producir trabajo. Para que un cuerpo posea energía no es necesario que esté realizando trabajo; es suficiente con que pueda realizarlo.

La energía se utiliza permanentemente en todas las formas y puede ser transformada de unas en otras. En los automóviles, la energía química contenida en la nafta se transforma en el motor en energía calorífica, que a su vez es transformada en energía mecánica de rotación del eje del motor.

TRABAJO

Toda fuerza que desplaza un cuerpo siguiendo una dirección determinada, efectúa un trabajo. Por la acción de una fuerza el cuerpo puede ponerse en movimiento.

El trabajo es *el producto de la fuerza aplicada por el espacio recorrido*. Si la fuerza se expresa en kilogramos y la distancia recorrida en metros, la unidad en que viene expresado el trabajo es el *kilográmetro*.

Un kilográmetro es el trabajo a realizar contra la fuerza de un kilogramo para recorrer la distancia de un metro.

Cuando levantamos a un metro de altura el peso de un kilogramo, el trabajo realizado es de un kilográmetro y el cuerpo almacena una energía potencial equivalente (un kilográmetro), que devolverá en cuanto lo soltemos, haciéndole caer, realizando con este movimiento el trabajo de un kilográmetro.

Acciones dinámicas de las fuerzas. Inercia

Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo libre, se obtiene el desplazamiento de éste. El movimiento que adquiere depende de su estado inicial, de la fuerza aplicada, del tiempo que ésta actúa, etc.

Dinámicamente, una fuerza se conceptúa como *la causa capaz de producir o modificar el estado de reposo o movimiento de un cuerpo, o de originar una deformación en él*.

La relación que existe entre la fuerza que se aplica a un cuerpo y la aceleración del movimiento que éste adquiere, es un coeficiente característico del cuerpo, que recibe el nombre de *masa inerte*.

Estas consideraciones nos permiten enunciar el principio de la inercia, que dice: *“mientras no actúe una fuerza sobre un cuerpo, éste permanece en su estado inicial de reposo o de movimiento uniforme”*.

Un cuerpo en reposo tiende a permanecer en su estado, resistiéndose a cualquier intento de ponerlo en movimiento; sin embargo, una vez en movimiento, se opone a cualquier intento de cambio de dirección, de aceleración o de paro.

Consideremos un automóvil. Cuando se halla detenido, debe vencerse su inercia mediante la aplicación de una fuerza para ponerlo en movimiento. Para aumentar su velocidad es necesario aplicar una fuerza mayor en el mismo sentido del movimiento y, para disminuirla, debe aplicarse una fuerza en sentido contrario al movimiento.

La inercia del coche se resiste a cualquier reducción de su velocidad; por lo cual, los frenos del mismo deben contrarrestar la inercia, es decir, deben absorber la energía cinética de movimiento almacenada en el vehículo, transformándola en calorífica en el dispositivo del freno instalado en las ruedas. De forma análoga, cuando un automóvil toma una curva, su inercia intenta hacerlo salir de ella, siendo los neumáticos en su rozamiento con el piso los que deben contrarrestar esta inercia.

Fuerzas de rozamiento

Los rozamientos podemos diferenciarlos en tres clases distintas:

a- Rozamiento seco, que es el existente entre las superficies secas de dos cuerpos en contacto. Si estas superficies son rugosas, el rozamiento es relativamente alto; mientras que si son lisas, el rozamiento será menor.

b- Rozamiento límite o de película de aceite, que es el obtenido cuando se interpone una capa de aceite o grasa entre los cuerpos en contacto, considerándose entonces que las partículas de aceite llenan las cavidades de las irregularidades que presentan las superficies de contacto, dando como resultado unas superficies equivalentes a otras mucho más pulidas, que dan un rozamiento considerablemente menor que el del anterior apartado.

c- Rozamiento viscoso, que es el existente entre las capas de la película de líquido interpuesta entre las superficies rozantes, cuando la distancia entre ellas es suficiente para que no lleguen a tocarse entre sí, sino a través de la película de aceite interpuesta entre ambas, de grosor mayor que en el aparato anterior. En este caso, las sucesivas capas de aceite se adhieren a ambas superficies, desplazándose con ellas y rozando entre sí.

PAR DE FUERZAS

Las fuerzas son magnitudes de naturaleza vectorial, ya que para determinarlas no basta con conocer su valor, sino que además debe precisarse su sentido y dirección.

Varias fuerzas actuando sobre un cuerpo, no solamente pueden producir el desplazamiento de éste, sino también otro tipo de movimiento, como el giratorio. En consecuencia, dado un conjunto de fuerzas actuantes sobre un cuerpo, no basta con obtener la suma geométrica o resultante ge-

neral de todas ellas, sino que además ha de obtenerse la suma de los momentos que resultan de la aplicación de estas fuerzas con respecto a un punto del cuerpo (centro de momentos).

En el lenguaje técnico, *un par produce un esfuerzo de torsión o giro*. Cuando giramos el volante de un automóvil o desenroscamos el tapón de una botella, no hacemos más que aplicar un par.

POTENCIA

Es el *trabajo realizado en la unidad de tiempo*. La potencia representa, por lo tanto, *la velocidad con que se realiza un trabajo*.

Cuando se habla de potencia de un motor, se da a entender que ésta es la máxima que puede desarrollar, aunque en un movimiento determinado esté dando menos.

En todo proceso de transformación de energía, siempre se pierde una parte del trabajo o lo que es igual, una parte de la potencia de la máquina que realiza el trabajo se pierde en la transformación, debido a rozamientos, calentamientos, etc.

CONCEPTOS GENERALES SOBRE VEHÍCULOS DE COMPETICIÓN

OBJETIVOS

- Conocer la organización de los vehículos de competición y los diferentes componentes de los mismos.
- Identificar los distintos componentes de un automóvil de competición.
- Diferenciar la diversidad de estructuración de los componentes y disposiciones mecánicas.
- Clasificar los vehículos en función de la ubicación del motor y el sistema de propulsión.

INTRODUCCIÓN

Es imprescindible que para afrontar con cierto rigor el estudio y comprensión que rigen un automóvil en movimiento, examinemos ciertos aspectos básicos relacionados con su comportamiento dinámico. Algo similar a leer las instrucciones de un aparato nuevo que acabamos de adquirir.

En nuestra opinión, el auténtico diálogo coche-piloto-técnico lo da el asfalto y su velocidad. Por todo ello, nos centramos en la problemática que presenta esta superficie en circuito o rally y en seco o mojado.

Un automóvil de carreras es, por definición, algo permanentemente inacabado. A la afirmación “no toqués acá, va perfecto” realizada por el piloto, podría seguir la duda de si, yendo más rápido, no empezaría a presentarse problemas de subviraje, frenada, relaciones de cambio, etc.

De ahí que la razón de ser de un coche de competición sea tan sutil como permitir que el binomio hombre-máquina sea ligeramente más rápido que cualquier otra combinación presente en este mismo momento y lugar. Nada más.

Vamos a intentar proveer al piloto de una herramienta capaz, fiable, noble e inteligible, dentro del marco lógico de los presupuestos y del reglamento, asegurándonos, además, una fluidez interpretativa y una coordinación sólida. Nuestro objetivo es optimizar y gestionar estos recursos.

El título de este capítulo no presupone que tengamos que pasar necesariamente por el estudio de gráficos, fórmulas, ábacos, etc. Nos vamos a limitar a ser descriptivos, desde la observación y la lógica, analizando cómo se mueve un automóvil de competición y cuáles son sus necesidades y reacciones, apoyadas, claro está, por la experiencia.

Debemos decir que es más difícil la dinámica de un automóvil que la de un avión; el primero debe moverse en un fluido, el aire, pero además debe estar permanentemente en contacto con el suelo para frenar, acelerar o girar, mientras que el avión sólo evoluciona en el aire. Tanto es así, que un piloto de avioneta prefiere tener problemas lejos del suelo para poder permanecer más tiempo en el aire, su único y vital elemento.

Pues bien, a partir de esta necesidad de permanente contacto con el asfalto, y a ser posible por cuatro puntos (en realidad cuatro áreas elípticas de contacto del neumático con el asfalto), procedemos a analizar en qué campos nos vamos a mover.

Partiendo del reposo, y hasta regresar a él, pasaremos por:

- Arranque
- Aceleración
- Desaceleración lineal
- Frenada
- Ingreso, paso y aceleración en curva
- Velocidad máxima
- Parada

Proponemos reflexionar sobre estos puntos, pero, sin datos precisos, sólo con conceptos y deducciones. Más adelante, en algunos capítulos concretos, haremos análisis más detallado.

LOS SISTEMAS DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN

GRUPO MOTOR

Tiene como misión transformar la energía química contenida en el combustible, en energía mecánica de movimiento. Para lograrlo se aprovecha la fuerza expansiva de los gases, obtenida al quemar el combustible en el interior de los cilindros, transformándola en giro de un eje, que se transmite a las ruedas y hace desplazarse al vehículo.

El combustible se hace llegar al motor por medio de una bomba que lo aspira del **depósito** donde se almacena.

Como en el motor, a consecuencia de las combustiones, se desarrolla una elevada temperatura, es preciso disponer de un **sistema de refrigeración** que evite su rápido deterioro. Consiste este sistema en hacer pasar una corriente de agua alrededor de los cilindros, para evacuar el calor desprendido de ellos. Posteriormente, el agua se enfría en un radiador mediante una corriente de aire provocada por un ventilador o por la propia marcha del vehículo.

En el interior del motor hay una cierta cantidad de piezas en movimiento, rozado continuamente unas con otras; para evitar su excesivo desgaste debido al frotamiento y al calor, se dispone de un **sistema de lubricación** que interpone una película de aceite entre las piezas en movimiento.

El giro del motor puede variarse a voluntad del piloto por mediación del acelerador. Si se pisa el pedal, se acelera el giro del motor. Si se mantiene suelto, el motor gira a ralentí.

EMBRAGUE

Su cometido es transmitir el giro del motor a las ruedas, a voluntad del conductor. Para ello se aprovechan las características de fricción y adherencia de algunos materiales y así se logra una unión rígida entre el motor y las ruedas. Cuando existe esa unión, se dice que el motor está **embragado**. Si no hay unión, el motor está **desembragado** y su giro no es transmitido a las ruedas.

CAJA DE VELOCIDADES

Tiene como misión variar la potencia o la velocidad del vehículo con arreglo a las necesidades de la marcha. Para conseguirlo se dispone en su interior una serie de ruedas dentadas que puedan engranar entre sí de distintas formas, reduciendo el giro que proporciona el motor según las combinaciones que se establezcan; de esta forma se obtienen diferentes velocidades en las ruedas del vehículo con la misma velocidad de rotación del motor.

Según ley de mecánica, en todo trabajo, lo que se gana en potencia se pierde en velocidad y, así, mediante el empleo de la caja de velocidades, se puede disponer de una mayor potencia para subir las pendientes, a condición de perder un poco de velocidad. Esto se consigue con una reducción adecuada del giro que proporciona el motor.

CARDÁN DE TRANSMISIÓN

Su función es la de transmitir el giro desde la caja de velocidades al puente trasero o par de reducción. Está formado, en la mayoría de los casos, por dos tubos de acero unidos entre sí por medio de juntas elásticas, que también se disponen en la salida de la caja de velocidades y en la toma de movimiento del puente trasero. Las juntas de unión de la transmisión absorben las oscilaciones del puente trasero durante la marcha, al que van unidas las ruedas. En vehículos con tracción delantera, el movimiento es llevado directamente a estas ruedas desde la caja de cambios, por medio de palieres o juntas homocinéticas.

PUENTE TRASERO

Tiene dos misiones fundamentales que cumplir:

- a- Efectuar un cambio de 90° y una reducción en el giro proporcionado por el motor para llevarlo a las ruedas.
- b- Disponer de un mecanismo diferencial, que haga girar con mayor velocidad a la rueda exterior en las curvas.

La primera de las misiones se consigue por medio de un sistema de engranaje de ángulo, consistente en un grupo piñón-corona, que al mismo tiempo reduce la velocidad de rotación que llega desde el motor. La segunda se logra por mediación de un conjunto de piñones dispuestos especialmente, de manera que en una curva pueden hacer que la rueda exterior se adelante en el giro a la interior, ya que tiene que recorrer un camino más largo.

SISTEMA DE PROPULSIÓN

El giro que llega al puente trasero desde el motor, es transmitido a las ruedas, que se unen a aquél por mediación de palieres. Como las ruedas se apoyan en el suelo, al serles comunicado un esfuerzo de giro se las obliga a rodar, transmitiendo un empuje al puente trasero, al que, como hemos dicho, van unidas. A las ruedas que transmiten el empuje al vehículo se las llama **motrices**.

FRENOS

Para aminorar la marcha del vehículo y llegar si es preciso a su detención total se emplea el mecanismo de frenos, que acciona con un pedal emplazado en el interior del vehículo, muy cerca del embrague, y que el conductor maneja con el pie derecho. Al pisar el pedal del freno se activa el dispositivo de frenado instalado en cada rueda, conteniéndola en su giro sin llegar a que se produzca el bloqueo, es decir, su detención brusca.

SUSPENSIÓN

Su misión es proporcionar una mayor estabilidad del vehículo y contribuir a la mejor conformación del mismo. Para ello se dispone de varios medios elásticos de unión entre los ejes de las ruedas y chasis. Son estos elementos los **neumáticos, elásticos, resortes helicoidales y amortiguadores**. Los neumáticos absorben los pequeños baches del terreno; los elásticos y resortes, las grandes desigualdades; y los amortiguadores frenan las oscilaciones de los elásticos.

El conjunto de los mecanismos de la suspensión hace que el chasis no se mueva excesivamente durante la marcha por pistas irregulares.

DIRECCIÓN

Su misión es dirigir el vehículo por el camino deseado por el piloto. Se consigue orientando las ruedas delanteras, llamadas **directrices**, por mediación de un mecanismo que acciona el conductor, girando un volante desde el interior del vehículo.

El mecanismo de la dirección debe cumplir el requisito de dar a cada una de las ruedas delanteras la orientación debida, ya que al igual que ocurre en el puente trasero, las ruedas han de efectuar recorridos distintos en las curvas.

BASTIDOR Y CARROCERÍA

El bastidor de un vehículo es el armazón sobre el que se montan y sujetan todos los mecanismos, soportando el peso de unos (motor, caja de velocidades, etc.) y quedando otros colgados de él (suspensión y ruedas).

Por lo que se refiere a seguridad, las carrocerías se construyen formando un cuerpo central, para alojar a los pilotos, protegido por dos cuerpos (el delantero y el trasero) capaces de absorber gran parte de la energía desarrollada en un choque, en lugar de transmitirla directamente al piloto. También pueden verse en la figura unos largueros en las zonas de las puertas resistentes a los golpes laterales, y refuerzos en el techo para casos de vuelco.

En automóviles actuales, ha adquirido gran importancia el diseño de las carrocerías, pues no sólo se trata de conseguir un vehículo de líneas agradables, sino que además debe poseer una buena aerodinámica, de manera que la resistencia que tiene que vencer en su movimiento sea la mínima posible. Esto supone que para la misma potencia de motor, el consumo de combustible se reduce y las prestaciones quedan aumentadas.

Las carrocerías se diseñan y construyen de manera que el vehículo ofrezca la mínima resistencia al avance, resultando ideal la forma de "gota"; pero como en este modelo resulta antiestético en alto grado, se modifica el diseño para hacerlo más atractivo, al tiempo que se asemeja lo más posible a la forma aerodinámica ideal. Actualmente se tiende a reducir la altura de los automóviles y a inclinar los parabrisas para mejorar la aerodinámica, evitando al mismo tiempo las superficies salientes como los faros, que ahora se incrustan en la carrocería.

La aerodinámica eficaz de una carrocería viene dada por su coeficiente de penetración (C_x), que constituye una buena evaluación de la capacidad de penetración de un vehículo en el aire.

Disposiciones mecánicas del vehículo actual

La organización del vehículo en cuanto se refiere a la disposición de los órganos motores, establece diferencias fundamentales entre ellos, pudiéndose distinguir los siguientes casos:

- a- Vehículos con motor delantero y sistema de propulsión trasero.
- b- Vehículos con motor y propulsión delanteros, que en este caso se denominan de tracción delantera.
- c- Vehículos con motor y propulsión traseros.
- d- Vehículos con propulsión total.

Los vehículos del grupo *a*, adoptan una disposición de los órganos motores, donde puede verse que el motor y la caja de cambios van situados en la parte delantera, desde donde se lleva el movimiento al puente trasero por medio de un eje provisto de juntas elásticas que permiten el movimiento relativo del eje trasero con respecto a la carrocería. Desde el eje trasero se comunica el movimiento a las ruedas traseras, que en este caso son las motrices.

ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO

Arranque

Es, simplemente, la capacidad para romper la inercia del reposo y supone siempre un compromiso entre el patinaje del tren de tracción y el de los discos de embrague.

Factores que inciden:

- Peso del coche
- Tipo de tracción (propulsión trasera o delantera)
- Relación de primera velocidad
- Relación de velocidades de caja
- Tamaño y presión de los neumáticos
- Características del asfalto
- Nivel del piso (subida, plano, pendiente de bajada)

En salida-parada de pruebas de velocidad en circuito es conveniente montar un limitador de encendido además del que obligatoriamente impone el reglamento, y partir del nivel de rpm que nos permita aquel limitador.

El piloto debe considerar que en vacío, en la línea de salida, se consigue el régimen máximo de motor con sólo 1/8 de apertura de gas, que deberá luego acompasar soltando el embrague para alcanzar la plena carga, liberando el exceso de tracción con un ligero patinaje controlado del tren propulsor.

Aceleración lineal

Es el paso siguiente y, también, el factor predominante, el más importante de toda la carrera. Más decisivo que la velocidad punta, la estabilidad o la frenada.

Factores que inciden:

- Peso del coche
- Valor y régimen del par motor
- Motricidad
- Resistencia de la rodadura (geometría y neumáticos)
- Escalonamiento y tiempo del cambio
- En un Fórmula, cargas aerodinámicas

Desaceleración lineal

Este concepto lo analizamos sin el concurso del freno, es decir, sólo tenemos en cuenta la capacidad de retención del motor, y se presenta en unos pocos puntos en una vuelta o tramo, pero los adictos saben a lo que nos referimos. Es cuando sólo queremos “colocar” el coche al apuntar en una curva rápida.

Factores que inciden:

- Peso del coche
- Momento polar (distribución de pesos)
- Retorno de mariposas (cierre al mínimo)
- Utilización del motor (régimenes intermedios)
- Reglajes, sobre todo del tren no propulsor

Más que una característica técnica o de comportamiento, es una forma de conducir; en rally es una práctica casi olvidada e inadecuada para los pilotos que frenan con el pie izquierdo.

Frenada

Es, simplemente, una aceleración en sentido opuesto, gobernada por la potencia del sistema de frenos en lugar del par y de la potencia de entrega del motor.

No consideramos el sistema antibloqueo de ruedas ABS acoplado a los frenos, ya que sólo se utiliza en algunas especialidades súperdesarrolladas, como el DTM.

Nos limitamos a aclarar que el ABS no es un sistema de frenos; su objetivo es mantener la direccionalidad del coche en frenada, siendo en competición extremadamente complejo, costoso y, con reservas, añadiría que efectivo.

Factores que inciden:

- Peso del coche
- Sistema de frenos
- Reparto de peso por esquinas
- Bump-steer (capacidad para mantener la convergencia en frenada)

En cualquier caso, debemos advertir que la capacidad de frenada de un vehículo es menos importante que la de aceleración, porque consultando los datos se aprecia que, en tiempo por vuelta, se está mucho menos en frenada que acelerando. En resumen, se invierte menos tiempo en desacelerar que acelerar las mismas magnitudes. Para acelerar transmitimos la potencia mediante dos ruedas; para frenar disponemos de las cuatro (excepto en las cuatro ruedas motrices).

Ingreso, paso y aceleración en curva

Por simple deducción lógica, cuanto mayor sea la velocidad de paso por cualquier tramo de la pista, y la curva lo es, menor será el tiempo total por vuelta.

Puede resultar engañoso, a la postre, intentar retardar la frenada para llegar muy fuerte al inicio de la curva, ya que, a efectos prácticos, quedará claramente hipotecada la salida.

Una curva no se termina cuando empieza el tramo recto, sino cuando “podemos acelerar”. Cuanto antes apliquemos potencia, está claro que iniciaremos la recta a mayor velocidad; por tanto, cuanto mayor sea la velocidad inicial, mejor aceleración y mayor velocidad obtendremos al final de esta recta que, recordemos, es una de las zonas de adelantamiento.

Factores que inciden:

- Peso del coche
- Rigidez del chasis
- Altura del centro de gravedad
- Transferencia de pesos (batalla, vía, resorte, barras)
- Diferencial, características
- Geometría suspensión
- Geometría dirección (Ackerman)
- Neumáticos: sus características

Tengamos siempre presente que las curvas son claramente responsables del deterioro de los neumáticos. Evidentemente, también las rectas consumen, pero muy poco; es más, en los tramos rectos es donde buscamos tranquilizar el neumático y estabilizar su temperatura y su “química”.

Una exquisita sensibilidad para ayudar a dibujar la trazada ayuda a conservar los neumáticos y, en muchos casos, a un rápido paso por la curva; todo ello, claro está, en ausencia de lucha y sin la obligación de “tapar agujeros” o forzar trayectorias.

Velocidad máxima

Su importancia se relativiza en función del reglamento general técnico que rija la especialidad. El motor puede tener establecido un techo de rpm, por ejemplo (8.500 rpm), o, por el contrario, ser libre, estando regulado sólo el cambio (Grupo A). También influye la longitud de la recta principal del circuito.

En cualquier caso, con el régimen de motor fijado por reglamento, a partir de la máxima velocidad al final de la recta estableceremos la relación de cambio más larga (normalmente la 6º), y buscando un buen escalonamiento por ábaco (Hewland, X-Track, etc.) o por programas especializados (Mitchell) iremos progresivamente hasta la 1º, que seguramente habrá que afinar de común acuerdo con el piloto y, en equipos modestos, con las disponibilidades de engranajes.

Factores que inciden:

- Condiciones atmosféricas
- Reglajes aerodinámicos
- Potencia a la rueda
- Geometría de dirección (convergencia)
- Neumáticos (características)

En los 6 o 7 segundos previos a alcanzar la máxima velocidad el piloto debe echar un vistazo a los instrumentos, a la pizarra de su equipo, tanto si dispone de adquisidor de datos con tiempo por vuelta instantáneo como si no, y reflexionar.

Parada

Poco se ha de destacar, salvo que estemos entrenados, en cuyo caso sí tiene importancia. El piloto decide en último término cuándo entra, aunque tenga el IN en su pizarra o la orden por radio. Debe, por lo tanto, tener claro si entra para controlar geometría y frenada, para modificar reglajes o para revisar puntos conflictivos. En el primer caso, el ingeniero de pista sabe cómo “toca” el coche en el suelo por el reparto de temperaturas en los neumáticos, y el balance de frenos por la diferencia de temperatura entre los discos anteriores y posteriores. Merece la pena aclarar que de poco servirán las mediciones si el piloto se ha relajado y ha realizado este último giro a medio gas o cambiando las trayectorias. Para un óptimo control debe mantener el ritmo de carrera hasta el ingreso en pit-lane (calle de talleres), liberando la presión del freno en cuanto el coche esté parado, para evitar daños en las pastillas y la pinza.

USO Y MANEJO

Hemos repasado, pensado en voz alta, lo que supuestamente interviene en un vehículo en movimiento. Efectivamente magnificado cuando es sometido al extremo de buscar los límites necesarios, para tener opción de victoria en una carrera.

Debemos poner de relieve, además, una obviedad: el coche de carrera debe ser “conducible”, especialmente entre sus rivales con “tráfico”. Esto significa que debe ofrecer buena visibilidad, comodidad a los mandos, precisión y manejo de palancas, reguladores y pedales, ausencia de vibraciones, etc. El piloto debe percibir las sensaciones de forma inmediata y clara, y para ello nada como tener el coche bien balanceado.

Para avanzar a lo largo de una prueba de motor en circuito, rally o subida en cuesta, hay que favorecer al máximo los siguientes aspectos:

- Direccionabilidad
- Motricidad
- Frenada

El equipo que buscando estos límites sea capaz de anticiparse lo justo para no llegar al desastre sobrepasando las inmutables leyes físicas que rigen el movimiento, tendrá una excelente base para formar un buen “Race Car Team” o equipo de competición.

Conocemos ya algo más sobre algunos aspectos decisivos que inciden en un automóvil de competición. ¿Podría un piloto amateur, si dispone de un coche que se ajuste al reglamento, competir e incluso ganar una carrera? Decididamente, sí. El historial de innumerables campeones lo confirma; se ha participado contando únicamente como equipo con un amigo, con la novia o con los padres, etc., y se ha logrado finalizar e incluso ganar la prueba.

¿Es lo deseable? No, ni el piloto en estas circunstancias lo desearía y, en cualquier caso, para una presencia continuada y competitiva en un campeonato regular es imprescindible un equipo.

CONCEPTOS SOBRE COMBUSTIÓN EN LOS MOTORES DE COMPETICIÓN

OBJETIVOS:

- Estudiar y conocer la importancia de una correcta combustión.
- Conocer los hidrocarburos y la composición del aire.
- Diferenciar los productos de la combustión.
- Estudiar los factores que influyen en la combustión.
- Estudiar la importancia de la velocidad de combustión.

INTRODUCCIÓN

En esta primera fase trataremos de entender como se transforma el combustible en calor, y posteriormente como se transforma en movimiento. Analizaremos como es esa transformación en el interior de su motor, sin tomar en cuenta por ahora como se relacionan o actúan mecánicamente las piezas que permiten pasar de la combustión al movimiento. Dejaremos para más adelante cuáles son los elementos que hacen que esa mezcla se encienda, y como se gobierna la dosificación del combustible.

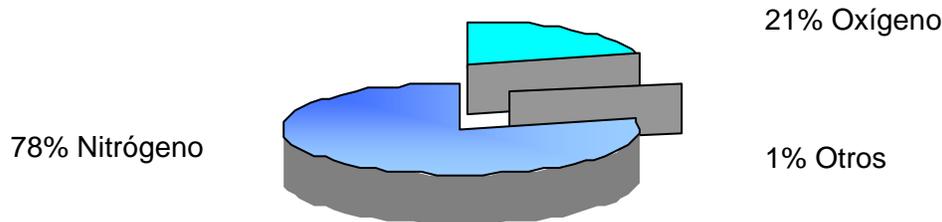
Sin ningún lugar a dudas el punto más importante en el diseño de un motor es el control más perfecto posible de la combustión, y obviamente como aprovechar de la mejor manera posible la misma. Allí comienza y termina todo. El resto es acompañamiento mecánico.

Para que su vehículo pueda funcionar todo comienza en la combustión, por lo tanto, si logramos entenderla, tendremos un excelente punto de partida para comprender lo demás. Piense usted que si la combustión es mala, por la causa que sea, el mejor motor del mundo funcionará mal.

Los combustibles líquidos y gaseosos que habitualmente consumimos se originan en los *hidrocarburos*, los cuales provienen del *petróleo*, *del gas natural* o *de compuestos derivados de ellos*. Están conformados básicamente por moléculas de distintos tamaños compuestas de, *carbono (C)* y *de hidrógeno (H₂)* que requieren *oxígeno (O₂)* para poder quemarse.

Los hidrocarburos tienen como base al carbono y al hidrógeno, combinados de tal manera que forman complejas cadenas y estructuras moleculares.

COMPOSICIÓN DEL AIRE ATMOSFÉRICO



El oxígeno, comprende buena parte del aire que respiramos (21%) y es uno de los elementos más abundantes y activos (que busca combinarse con otros elementos) en la naturaleza. En su forma normal no se percibe por el olfato, sin embargo ante descargas eléctricas o por acción solar y en presencia de otros compuestos forma una molécula llamada ozono, perjudicial al nivel de suelo por ser irritante para el sistema respiratorio, y necesaria en la alta atmósfera para detener el exceso de radiación ultravioleta proveniente del sol. El resto del aire lo configura principalmente el **nitrógeno (N₂)** (78%) y una mezcla de otros gases (1%). De todos los gases componentes del aire, el oxígeno es el más pesado, por lo que es el que más tendencia tiene a estar cerca de la tierra.

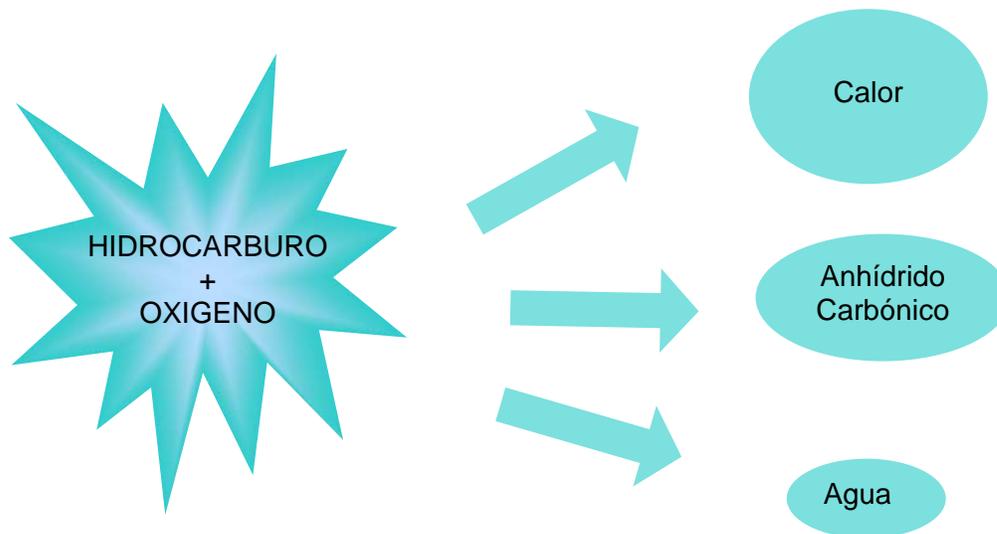
Cuando ascendemos una montaña por ejemplo, no solamente disminuye la presión atmosférica, con lo cual el aire es menos denso, sino que también disminuye el porcentaje de oxígeno presente en ese aire. Recuerde este concepto para más adelante cuando hablemos de los factores de corrección y de la altura en referencia a la potencia entregada por los motores.

PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

Si usted combina hidrógeno con oxígeno en las proporciones adecuadas y enciende esta mezcla, obtendrá una reacción química violenta acompañada de un importante desprendimiento de calor, que deja como residuo solamente agua (H₂O).

En los motores que nos ocupan, el agua generada por la combustión del hidrógeno se manifiesta con las gotas que usted observa en los caños de escape cuando los vehículos están fríos, o también cuando hay baja temperatura ambiente en el vapor que también es visible en el escape.

Como dato ilustrativo sepa que por cada litro de nafta consumido, se genera aproximadamente un litro de agua.



En la práctica para obtener combustiones completas deberemos trabajar con mezclas levemente pobres, es decir con exceso de oxígeno, mientras que para obtener la máxima potencia las mezclas deberán ser levemente ricas, por razones que más adelante explicaremos.

Según el tipo de combustible que se considere variará el llamado **poder calorífico** de ese compuesto.

El poder calorífico de un combustible es una característica que indica, (para condiciones estandarizadas) la cantidad de energía o de calor que es capaz de liberar una determinada masa de combustible en un proceso de combustión completa.

FACTORES MÁS IMPORTANTES QUE INFLUYEN EN LA EFICIENCIA DE UNA COMBUSTIÓN

- Calidad del combustible.
- Proporciones de aire y combustible.
- Recinto donde se produce la combustión.
- Calidad de la mezcla.
- Movilidad de la mezcla.
- Condiciones ambientales.
- Condiciones de encendido.

El punto más importante en el diseño y funcionamiento de un motor es el control más perfecto posible de la combustión, y como aprovechar de la mejor manera la misma. Allí comienza y termina todo. Si la combustión es mala, por la causa que sea, el mejor motor del mundo funcionará mal.

Vamos a repetir una vez más importantísimo concepto, que quizás sea el más importante en lo que hace al funcionamiento de un motor de combustión interna, en nuestro caso particular el de motor de pistones: El punto más importante en el diseño y funcionamiento de un motor es el control más perfecto posible de la combustión, y como aprovechar de la mejor manera la misma. Allí comienza y termina todo.

Si la combustión es mala, por la causa que sea, el mejor motor del mundo funcionará mal.

FORMULACIÓN DE MEZCLAS

Cuando una mezcla combustible entra en combustión, la eficiencia de dicha combustión (si no se consideran los factores de forma y condiciones del lugar donde se quema) estará condicionada por la calidad de dicha mezcla, y la energía liberada será función de la **cantidad de mezcla**. Dicha cantidad de mezcla vendrá dada por la masa de combustible que se quema y por la cantidad de aire de que disponemos para quemar ese combustible.

En el instante previo al encendido la mezcla combustible, debe estar totalmente vaporizada.

¿Cuáles son los factores que pueden influir en la eficiencia de la combustión?

Son muchos, pero trataremos de considerar los de mayor importancia es decir los que hacen a la calidad de la mezcla.

En primer término consideremos el tamaño de las partículas (o gotas) de combustible a ser quemado. Las partículas de combustible deberán necesariamente encontrar oxígeno para efectuar su combustión, y debido a que ese oxígeno en realidad es bastante escaso en la masa de aire (21%) cuantas más partículas tengamos y más pequeñas sean, mejor.

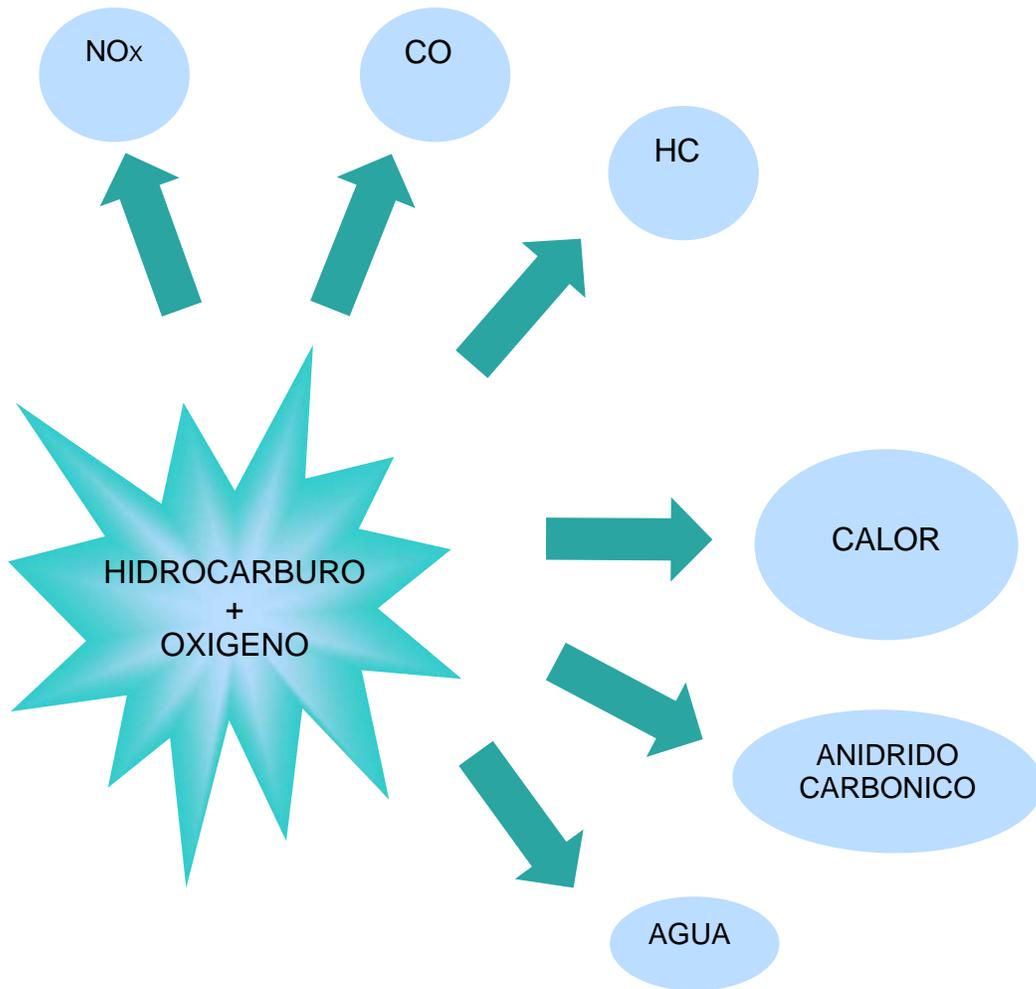
Dada una determinada cantidad de combustible, cuanto más pequeñas sean las partículas expuestas al aire, más cantidad habrá, más superficie total estarán exponiendo, y consecuentemente más fácil será quemarlas.

La forma de obtener las partículas más pequeñas posibles de un combustible se logra vaporizándolo. En los motores de combustión interna el combustible, en el instante anterior a su combustión, debe estar totalmente vaporizado. Una muy fina pulverización del combustible primero, y su posterior transformación en vapor es imprescindible en los motores de combustión interna.

Vaporizar el combustible no es suficiente. Es necesario movilizar tanto el aire como los vapores de combustible para mejorar las posibilidades de encuentro entre el combustible y el oxígeno y es por ello que tanto antes como durante la combustión es conveniente que el combustible y el aire se encuentren en movimiento.

Más que conveniente diremos que la movilidad de la mezcla es imprescindible.

Es de vital importancia recordar esto: *los motores más eficientes requieren formación de mezclas de aire y combustible finamente emulsionadas*, y para el caso de los motores de encendido por chispa mezcladas en las proporciones exactas. (Reiteremos el concepto de que el combustible debería estar completamente vaporizado al iniciarse la combustión). Será función de los sistemas de carburación (que dentro de muy poco pasarán a ser piezas de museo) y de los de inyección dosificar y emulsionar correctamente esas mezclas.



IMPORTANCIA DE LA VELOCIDAD DE COMBUSTIÓN

Es tan importante el tiempo de combustión que puede llegar a limitar (y en los motores de competición es uno de los problemas de mayor importancia) las RPM a que gire el motor y condicionar el diámetro de los cilindros.

Pensemos entonces al proceso de combustión de un motor como una auténtica carrera, dentro de la cual las partículas de combustible tratarán de captar todo el escaso oxígeno disponible, y para hacerlo dispondrán de un tiempo muy breve.

Retornando sobre la velocidad de combustión, tema sobre el que volveremos, digamos que dicha velocidad no puede ser cualquiera.

Si el combustible se quema demasiado rápido, la combustión adquiere características de una explosión, en la que se libera energía demasiado rápido, con la aparición de sobrecargas mecánicas debidas a picos de presión que los motores no están en condiciones de transformar en trabajo útil.

En un motor de cuatro cilindros girando a 6000 rpm es necesario generar 12000 chispas por minuto, o sea 200 por segundo, y que deberán saltar en el cilindro que corresponda y en el instante preciso. Estamos hablando de fracciones de segundo tan pequeñas que resultan difíciles de imaginar. Y como si esto fuera poco el sistema que suministra y sincroniza las chispas deberá acomodar ese instante en función de la solicitud del motor y de las RPM.

Fíjese que cuando se habla de avance de encendido, se lo especifica con precisión de un grado, decimos que el avance en determinadas condiciones debe ser por ejemplo de 28 grados, y de decimos "más o menos 30 grados". Un grado de avance en más o en menos puede afectar notablemente la performance del motor.

Siguiendo el razonamiento anterior y el motor que gira a 6000 rpm, veremos que 6000 revoluciones por minuto equivalen a 100 revoluciones por segundo, es decir que cada vuelta demora una centésima de segundo. Si consideramos que cada vuelta puede ser dividida en 360 grados, para recorrer un grado, a 6000 rpm, un motor tarda...¡¡ 2,8 cienmilésimas de segundo!!.

Es decir que *si al disparar la chispa a 6000 rpm me atraso en una milésima de segundo, el encendido se va a atrasar casi cuarenta grados de avance.*

Una de las principales complicaciones que presentan los motores de encendido por chispa viene dada por el fenómeno de detonación.

La **detonación**, la que detallaremos más adelante, se debe a que en el interior del cilindro, y debido a causas variadas, se producen particulares condiciones de presión y temperatura. Estas condiciones hacen que durante el proceso de combustión se encienda la mezcla por sí sola en algún punto de la parte que aún no se ha quemado, generándose un violento y descontrolado crecimiento de la presión en el interior del cilindro.

La súbita liberación de energía que se produce como consecuencia de la detonación no puede ser transformada por el motor en trabajo útil, y se transforma en calor que no puede ser utilizado, con su consecuente elevación de temperatura, de funestas consecuencias para la máquina.

La potencia y la eficiencia de un motor está también fuertemente influenciada por la velocidad con que se quema la mezcla, y a su vez dicha velocidad dependerá en gran parte de las proporciones con que se mezclan los componentes.

Debemos fijar este concepto, y aceptar que cuando un motor opera en el límite de sus posibilidades, y en el régimen de su máxima potencia, la velocidad con que se quema la mezcla de un motor de encendido por chispa es comparable (del orden) a la velocidad del pistón. Estamos hablando de una combustión y no de una explosión o detonación.

La velocidad con que queman los combustibles depende en gran parte de la relación en que están combinados.

Una mezcla rica en combustible no va a reaccionar a la misma velocidad que una pobre.

Esto tendrá vital importancia para entender como se maneja la economía de combustible, la curva de máxima potencia de un motor, y la calibración del avance de encendido.

Las mezclas pobres tienen una velocidad de combustión relativamente lenta (15 a 20 m/seg) y por el contrario las levemente ricas tienen la mayor velocidad (20 a 45 m/seg).

La potencia y el par torsor de un motor del tipo que nos ocupa, dependerá fundamentalmente de la cantidad de aire que sea capaz de aspirar en cada carrera de admisión. La cantidad de combustible podrá siempre ser dosificada para acompañar esa masa de aire. Este concepto es el básico de un motor de alta performance.

LA COMBUSTIÓN DENTRO DEL MOTOR

OBJETIVOS:

- Estudiar y conocer la importancia de la velocidad de la combustión.
- Conocer las mezclas ricas y pobres.
- Diferenciar el número de octanos.
- Estudiar los efectos del frente de llama y el pistoneo.
- Estudiar la importancia de la potencia y eficiencia.

A mayor masa de aire (y oxígeno) ingresada, mayor par y potencia generados.

Con mezclas excesivamente ricas, solo se estará desperdiciando combustible y generando gases tóxicos, monóxido de carbono CO, e hidrocarburos no combustionados totalmente, denominados habitualmente como HC. En cualquier vehículo debe evitarse la contaminación del aire interior del habitáculo con gases de escape por la intoxicación que pueden producir, con pérdida severa de reflejos e inclusive la pérdida también del conocimiento.

Para el caso de los motores de encendido por chispa tendremos como combustible básico las naftas, si bien se están difundiendo lentamente los combustibles alternativos, basados en gas natural y en alcoholes.

Una característica de los motores alternativos es que completado el ciclo de generación de calor y conversión de ese calor en trabajo útil, el ciclo puede repetirse solo si se renuevan los gases que intervinieron en él. Es por ello que a este tipo de ciclo caracterizado por la renovación reiterada de los gases intervinientes se los llama de **ciclo abierto**.

Cuando la mezcla combustible ha sido introducida dentro del cilindro, por medio de una chispa se inicia la combustión. Cabe preguntarse por qué con una chispa y no de otra forma: simplemente porque una chispa eléctrica es muy fácilmente generable tanto en intensidad como en duración, pudiéndose controlar exactamente el instante en que queremos que se inicie.

Pueden producirse anomalías en el encendido, como ser *la detonación o el autoencendido, fenómenos estos no deseables, debidos a condiciones particulares de presión y temperatura dentro del cilindro, o la presencia de puntos incandescentes.*

En los motores de encendido por chispa el fenómeno de la detonación limita la relación de compresión y el tipo de combustible que puede aplicarse. El número octano de una gasolina nos indica la mayor o menor facilidad que esta tiene para detonar, a mayor octanaje menores posibilidades de para detonar. El fenómeno de la detonación es una compleja condición de funcionamiento, que excede los alcances de este texto, pero sepamos que debe ser evitado, porque su presencia tiene efectos destructivos para el motor. Sepamos que deben ser respetadas las especificaciones del fabricante respecto de la calidad de gasolina y del avance del encendido para cada motor.

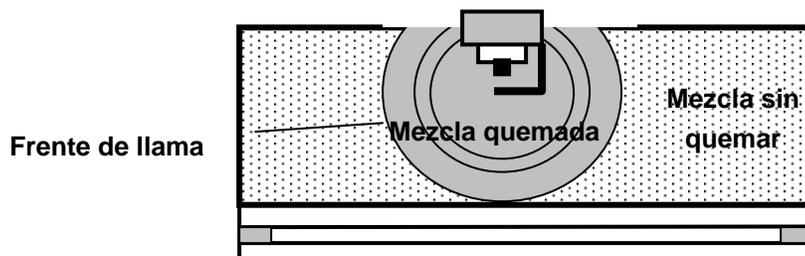
¿Cómo conviene que se queme un combustible y qué sucede cuando es quemado?

Cuando Ud. quiere disolver algo en un líquido sabe que cuanto más pequeños sean los trozos que quiere disolver, más fácil será la operación, por haber mejorado el contacto entre las partículas y el líquido. De una manera similar cuando pretendemos quemar algún combustible, cuanto más pequeñas sean las gotas o partículas de ese combustible, más fácil y eficiente será la combustión por optimizar su

Contacto con el oxígeno. Un caso límite es el de la combustión del gas, en el cual las partículas están a nivel molecular.

En nuestros motores, si las cosas están bien hechas, ya hemos mencionado que el combustible ingresante al cilindro deberá evaporarse totalmente durante el proceso de compresión, de manera tal de estar en ese estado cuando se inicie la combustión. Aquí comienza a tener gran importancia la temperatura del medio en que se realizará la combustión. En la operación correcta de un motor del tipo que nos ocupa puede ser tan perjudicial el exceso de temperatura, como la falta de ella.

Repetimos que los motores eficientes requieren para ingresar a los cilindros, la formación de mezclas de aire y combustible finamente emulsionadas y mezcladas en las proporciones exactas.



El dibujo ilustra una zona idealizada de una cámara de combustión de un motor de encendido por chispa.

El frente de llama es una superficie ideal que separa la mezcla quemada de la que no lo está.

Será función de los sistemas de carburación o de inyección dosificar y emulsionar correctamente esas mezclas.

Tal como mencionamos, alrededor de la chispa se configura la combustión inicial, que luego se propaga a toda la mezcla por medio del llamado **frente de llama**. A medida que la combustión va evolucionando, se produce un incremento rápido, pero regular, en la presión interior del cilindro. En un proceso de combustión normal de un motor de gasolina no existen otras fuentes de ignición que no sea la chispa.



Partes en peso de aire

Partes en peso de combustible

14.5 partes de aire (en peso), se combinan exactamente (en teoría) con una parte de nafta (en peso). En la realidad esto es imposible de lograr, y como resultado queda algo de oxígeno y de combustible sin quemar o quemado parcialmente, pero de todas las relaciones de aire y combustible es la mejor para ser procesada por un catalizador.

De lo que haga el frente de llama y como se mueva dependerá en gran parte el comportamiento de nuestro motor. Tenemos ya una idea de cómo se propaga esa llama, pero veremos que no lo hace siempre a la misma velocidad. Consideremos también que las condiciones que acabamos de enumerar son ideales, ya que en el interior de la cámara de combustión los gases están en permanente movimiento.

Químicamente se establece que la proporción de nafta y aire necesarias para una combustión perfecta es 14,6:1, o sea 14,6 partes en peso de aire seco queman perfectamente 1 parte en peso de nafta convencional.

Pero en la realidad la combustión perfecta no es posible, ya que es prácticamente imposible que se logren encontrar todas las moléculas de combustible con todas las de oxígeno para combinarse entre sí, es decir que todas las moléculas de combustible encuentren el necesario oxígeno para quemarse, y que completada la reacción no sobre nada, ni combustible ni oxígeno. Menos aún si pensamos el breve instante que tiene el combustible para evaporarse, y la mezcla para formarse.

Si lo que pretendemos es que nuestro motor, que es capaz de aspirar una cierta cantidad de aire, nos dé su máxima potencia en función de la riqueza de mezcla, deberemos enriquecer esta mezcla levemente por encima de lo que me indica la química (de 14,5:1 a 13:1 o 12,5:1).

Esto es debido a que el motor consume aire, y si queremos generar la máxima potencia posible debemos aprovechar todo el aire que nuestro motor es capaz de aspirar. Además debemos suministrarle el combustible necesario para usar todo el oxígeno disponible en ese aire. En realidad el gran secreto para que un motor disponga de buen torque y potencia, consiste en hacerle ingresar la mayor cantidad de aire posible, porque el combustible lo podemos dosificar a nuestro antojo.

Si bien ya definimos el significado de **potencia**, vamos a reforzar este concepto con un ejemplo muy común: si usted sube tranquilamente la escalera de su casa, habrá hecho un trabajo equivalente al de levantar su propio peso en la altura correspondiente a un piso. Si usted sube la misma escalera tan rápido como le sea posible habrá realizado un trabajo idéntico, levantar su peso un piso, pero sin embargo su corazón (y probablemente sus piernas) le indicará que algo ha cambiado entre las dos maneras de hacer el mismo recorrido con el mismo peso. ¿Qué cambió?. Cambió el tiempo que tardó para subir la escalera, *usted hizo el mismo trabajo pero en menos tiempo, por lo tanto puso en juego mayor potencia*. Y aquí está la clave del asunto al efectuar un determinado trabajo, cuanto menor tiempo me lleve en hacerlo mayor potencia habré puesto en juego.

Por definición la potencia mide cuanto trabajo se ha realizado en un determinado tiempo. A mayor cantidad de trabajo por unidad de tiempo considerada, mayor potencia se ha desarrollado.

Al quemarse una determinada cantidad de combustible se genera una determinada cantidad de calor. El calor, al igual que el trabajo, es una forma de energía. Tal como ya lo dijimos la potencia mide cuanta energía se hizo presente en un determinado tiempo.

Para que la potencia aumente debo manejar una cantidad mayor de energía en un determinado tiempo (quemo mayor cantidad de mezcla) o bien mantener la cantidad de energía y usarla en un tiempo más corto (quemo la mezcla más rápido), si la combustión se generó más rápido, sin ninguna duda voy a tener mayor potencia disponible.

Además de lo anterior sucede también que al quemarse más rápido la mezcla, el ciclo termodinámico del motor se parece más al ciclo ideal que establecen las leyes de la termodinámica y en consecuencia mejora su rendimiento: *a mayor velocidad de combustión al motor le corresponderán mayor potencia y eficiencia, se trate de una mezcla rica o pobre.*

Como ya dijimos la velocidad con que se quema una mezcla de aire y combustible depende fuertemente de la relación de aire y combustible: las mezclas pobres se quemarán más lentamente que las más ricas, y consecuentemente podrán generar menos potencia que las ricas, pero atención, las mezclas demasiado ricas también se quemarán más lentamente que las ricas. Repitamos una vez más el concepto: *enriquecer la mezcla en exceso de ninguna manera suministrará mayor potencia, por el contrario esta disminuirá. El tradicional concepto de que a mas nafta mayor potencia, no siempre es correcto.*

Hay límites de pobreza en la mezcla que generan dificultades de funcionamiento, no se puede empobrecer ilimitadamente la riqueza de combustible y pretender que el motor siga funcionando.

Mezclas muy pobres tienen dificultades para iniciar la combustión y mantenerla satisfactoriamente, produciendo irregularidades en la marcha del motor. Las mezclas muy pobres requieren técnicas especiales para iniciar su combustión.

El diámetro de los cilindros, la forma de la cámara de combustión, la de la cabeza del pistón, la distancia entre el pistón y la tapa de cilindros, la ubicación de la bujía, la turbulencia con que entran los gases en el cilindro, la velocidad de giro del motor, etc., también influyen en la velocidad y calidad de la combustión.

VARIABLES INTERVINIENTES EN LA POTENCIACIÓN DEL MOTOR

CILINDRADA Y RELACIÓN DE COMPRESIÓN

Se llama **cilindrada** al volumen que desaloja el pistón cuando se desplaza desde el p.m.s. al p.m.i. Siendo **C** la carrera del pistón y **D** el diámetro del cilindro, la cilindrada unitaria **V** es:

$$V = \frac{\pi D^2 C}{4}$$

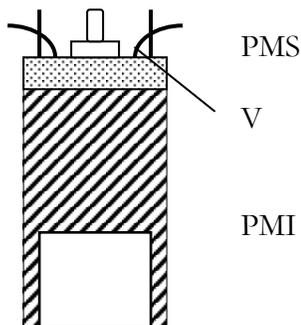
La cilindrada total de un motor es, pues, el producto de la cilindrada unitaria por el número de cilindros. La potencia de un motor aumenta en relación directa con la cilindrada, pues cuanto mayor sea ésta, más cantidad de gases entra en el cilindro, obteniéndose explosiones más considerables. No obstante, la cilindrada está limitada por las posibilidades de enfriamiento y, será tanto más escasa, en general, cuanto más rápido gire el motor. De otra parte, la cilindrada determina la importancia de los esfuerzos a que estarán sometidos el pistón y demás órganos móviles.

Para reducir la importancia relativa de los rozamientos entre el pistón y el cilindro, se fija la relación carrera/diámetro entre unos límites bastantes pequeños.

$$\frac{D}{C} \approx 1$$

Se llama relación de compresión a la relación existente entre el volumen del cilindro cuando el pistón se encuentra en el p.m.i. y el de la cámara de compresión, que es el volumen ocupado por los gases cuando el pistón alcanza el p.m.s. Llamando **p** a la relación de compresión; **V** a la cilindrada; y **v** al volumen de la cámara de combustión, podemos escribir:

$$p = \frac{V + v}{v}$$



La relación de compresión de un motor, da el nivel de compresión a que se somete el gas en el interior del cilindro. Cuanto mayor sea ésta, más presión se obtiene al final de la compresión.

En los últimos años se han diseñado motores con relaciones de compresión cada vez más elevadas, con las ventajas que reportan estos aumentos, que van acompañados de un incremento de la potencia desarrollada y una economía de consumo de combustible, sin que por ello tenga lugar un crecimiento comparable al peso y tamaño del motor.

Con relaciones de compresión mayores, se obtienen presiones de combustión más altas, que determinan un mayor impulso recibido por el pistón y, de otra parte, los gases quemados se expanden hasta un volumen mayor, con lo que el empuje sobre el pistón se realiza durante un recorrido más largo, obteniéndose un trabajo mayor en la carrera de expansión.

Los motores de explosión actuales tienen relaciones de compresión que oscilan entre 9:1 y 11:1. A partir de este valor, el aumento de la relación de compresión lleva consigo la aparición de una serie de problemas especiales.

De otra parte, ha de considerarse que en los motores de elevada relación de compresión es mayor la acumulación de **carbonilla** en la cámara de combustión (por ser esta de menor volumen). La carbonilla se produce a consecuencia de las combustiones incompletas, y paulatinamente va reduciéndose el volumen de la cámara de combustión, con el consiguiente aumento de la relación de compresión real, que puede alcanzar valores tan elevados como para que se produzca la detonación.

POTENCIA DEL MOTOR

El combustible que se introduce en el interior de los cilindros, posee una energía química, que con la combustión se transforma en energía calorífica, de la cual, una parte es convertida en trabajo mecánico. Este trabajo es el producto de una fuerza por un espacio recorrido bajo la aplicación de la misma. Por ejemplo, si se empuja a un pistón desde el p.m.s. al p.m.i. con una fuerza constante de una tonelada y la carrera del mismo es de 80 mm, el trabajo desarrollado es:

$$W = F \cdot d = 1.000 \text{ kg} \cdot 0,08 \text{ m} = 80 \text{ kgm}$$

Suponiendo que este trabajo se realice en una décima de segundo, la potencia desarrollada es:

$$p = \frac{W}{t} = \frac{80 \text{ kgm}}{0,1 \text{ s}} = 800 \text{ kgm} \cdot \text{s}^{-1}$$

La potencia máxima que puede desarrollar un motor depende de diversos factores, de entre los que cabe destacar la relación de compresión y la cilindrada, pues a mayores valores de éstas, les corresponden explosiones más potentes y, en consecuencia, mayor fuerza aplicada al pistón. También depende de la carrera, número de cilindros y régimen de giro de motor.

La potencia desarrollada en el interior de los cilindros de un motor, no está aplicada íntegramente al cigüeñal, pues una parte de ella es absorbida por las resistencias pasivas (calor, rozamiento, etc.). Fundamentalmente podemos distinguir tres clases de potencia en un motor: la **indicada**, la **efectiva** y la **absorbida**.

La primera puede calcularse partiendo del ciclo indicado, cuyo área del diagrama representa el trabajo realizado en el cilindro durante un ciclo. La potencia efectiva se obtiene midiendo con máquinas apropiadas el trabajo que está desarrollando el motor. La potencia absorbida es la diferencia entre las dos anteriores, que puede ser medida también por el trabajo necesario para hacer girar el motor, sin que éste funcione.

POTENCIA INDICADA

Se llama así a la potencia realmente desarrollada en el interior del cilindro por el proceso de combustión. Una de las formas de determinarla es a través de la presión media indicada (p_i) del ciclo, que viene dada por la altura del rectángulo de área equivalente a la del ciclo y representa la relación existente entre el área del ciclo (**A**) y la cilindrada unitaria **V**.

$$p_i = \frac{A}{V}$$

Se entiende por presión media, la presión constante con que sería preciso impulsar el émbolo durante su carrera de trabajo para que, en estas condiciones ideales, la potencia desarrollada fuera igual que la debida a la combustión. La presión media varía con la velocidad del motor y la relación de compresión.

En cálculos aproximados de motores sin sobrealimentación, pueden tomarse valores de hasta el doble de la relación de compresión para regímenes inferiores a 2.000 r.p.m., e iguales al de la relación de compresión a partir de este régimen.

Como el área del ciclo (**A**) es equivalente al trabajo desarrollado en el cilindro, podemos decir que éste es el producto de la cilindrada unitaria (cm^3), por la presión media indicada (kg/cm^2).

$$W = A = p_i \cdot V$$

Puede llegarse también a esta misma conclusión razonando de la forma siguiente:

Sean **D** y **C** el diámetro y la carrera del pistón. La fuerza total **F** que actúa sobre él es el producto de la presión media **p_i**, por la superficie a la que se aplica:

$$F = p_i \frac{\pi D^2}{4}$$

El trabajo realizado por esta fuerza durante la carrera útil es:

$$W = F \cdot C = p_i \frac{\pi D^2}{4} C$$

y teniendo en cuenta que $\frac{\pi D^2}{4} C$ es igual a la cilindrada unitaria **V**, queda: $W = p_i \cdot V$

La potencia indicada en **P_i** es el producto de trabajo desarrollado durante una carrera útil, por el número de ellas realizadas en la unidad de tiempo. Así pues, en un motor de cuatro tiempos, dado que el ciclo se realiza en dos vueltas completas o revoluciones del motor, tendremos:

$$P_i = \frac{W_i}{2} \frac{n}{60} = \frac{P_i \cdot V \cdot n}{120}$$

siendo n el número de revoluciones del motor.

Expresando la cilindrada en litros y las presiones en kg/cm², para obtener la potencia en CV haremos:

$$P_i = \frac{P_i \cdot V \cdot n}{120 \cdot 75} = \frac{P_i \cdot V \cdot n}{900}$$

y para el motor de dos tiempos, quedaría:

$$P_i = \frac{P_i \cdot V \cdot n}{450}$$

En funcionamiento, parte de la potencia desarrollada por el motor es empleada en vencer los rozamientos en el interior del mismo. Por esta causa, la potencia indicada es siempre mayor que la efectiva.

PAR MOTOR. POTENCIA EFECTIVA

La fuerza de la explosión aplicada a la biela y transmitida por ésta al codo del cigüeñal para hacerle girar, produce un esfuerzo de rotación, que se conoce con el nombre de **par motor**. La potencia efectiva es generada por este par y se conoce también como potencia al freno, ya que se mide empleando un dispositivo frenante, que aplicado al eje del motor, se opone al par motor permitiendo medir su valor.

La potencia efectiva P_e es:

$$P_e = W \cdot n$$

siendo n el número de revoluciones del motor en la unidad de tiempo.

Expresando n en revoluciones por minuto; F en kg; y R en metros, la potencia efectiva, en **CV**, viene dada por la expresión:

$$P_e = \frac{2 \pi R F n}{75 \cdot 60} \simeq \frac{R F n}{716}$$

El par motor representa la capacidad del motor para producir trabajo, mientras que la potencia es la medida de la cantidad de trabajo realizado por el motor en un tiempo determinado.

POTENCIA ABSORBIDA

Se denomina así a la diferencia entre la potencia indicada y la efectiva

$$P_a = P_i - P_e$$

Una parte de la potencia desarrollada por un motor (potencia indicada), es utilizada para vencer los rozamientos entre las partes mecánicas en movimiento (pistones, cojinetes, etc.), para accionar los diferentes órganos que reciben movimiento del motor (generador eléctrico, bomba de agua, etc.) y para realizar el trabajo de bombeo del fluido en el cilindro.

La potencia absorbida resulta difícil de medir, dada la diversidad de las causas de pérdidas por rozamiento y las alteraciones de su valor al variar las condiciones de funcionamiento del motor. Puede obtenerse su valor total midiendo la potencia efectiva y restándola de la indicada, previamente calculada. Como este procedimiento resulta complejo, la determinación de la potencia ab-

sorbida suele hacerse obligando a girar el motor sin que éste funcione, midiendo al propio tiempo la potencia que es necesario emplear. Todo ello después de haber estado funcionando el motor y una vez alcanzada la temperatura de régimen.

Este procedimiento da origen a ciertos errores, pero los efectos que ellos causan en un sentido, son contrarrestados por los que producen en sentido opuesto.

Conociendo la potencia indicada y la efectiva, puede obtenerse el rendimiento mecánico del motor

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

que en un índice de la importancia de la potencia absorbida por las resistencias pasivas.

La experiencia demuestra que las pérdidas de potencia por rozamiento son proporcionales a la velocidad de rotación del motor. Una de las causas más notables de estas pérdidas, es el rozamiento de los segmentos contra las paredes de los cilindros, que en determinadas condiciones representan hasta un 75% del total de la potencia absorbida, lo que justifica la tendencia al empleo de los motores de carrera corta.

OTRAS CLASES DE POTENCIA

Además de las ya tratadas, pueden ser consideradas las siguientes clases de potencia:

a) **Potencia teórica:** es la relativa al combustible, es decir, la que debería suministrar el motor si toda la energía calorífica del combustible se transformara en energía mecánica.

La potencia teórica está determinada por el número de calorías contenidas en el peso del combustible consumido. Conociendo también el tiempo empleado en su consumo, se obtiene la potencia.

Ejemplo: Sea un motor que consume 20 litros de gasolina en una hora, siendo 0,7 la densidad de la gasolina y 11.000 kcal/kg su energía interna.

$$20 \text{ l} \cdot 0,7 = 14 \text{ kg}; \quad 14 \text{ kg} \cdot 11.000 \text{ kcal/kg} = 154.000 \text{ kcal}$$

teniendo en cuenta que 1 kcal = 427 kgm, la potencia teórica del motor es:

$$\frac{154.000 \cdot 427}{3.600 \cdot 75} = 243 \text{ CV}$$

b) **Potencia másica:** es la relación existente entre la potencia efectiva y el peso de un motor

$$P_m = \frac{P_e}{M}$$

Actualmente es muy considerada en la fabricación de motores, en los que se tiende a disminuir el peso mediante el empleo de materiales como el aluminio.

c) **Potencia volumétrica:** es la relación existente entre la potencia efectiva por cada litro de cilindrada

$$P_c = \frac{P_e}{V}$$

Las potencias por litro de cilindrada son netamente mayores en los motores de gasolina, consecuencia de una presión media efectiva más fuerte.

RENDIMIENTOS

Se denomina rendimiento, en general, a la relación existente entre la cantidad de energía recogida y la suministrada. En los motores térmicos resulta oportuno considerar los diversos conceptos de rendimiento:

a) **Rendimiento termodinámico (η_t):** es la relación entre el trabajo indicado W_i (medido por el área del ciclo indicado) y el equivalente en trabajo del calor gastado por obtenerlo (W_q).

$$\eta_t = \frac{W_i}{W_q}$$

En términos de potencia, el rendimiento termodinámico es la relación entre la potencia indicada P_i y la potencia teórica P_T

$$\eta_t = \frac{P_i}{P_T}$$

Ya se ha dicho que una parte considerable del calor desarrollado en el proceso de la combustión, se pierde en calentamiento del agua del sistema de refrigeración y en los mismos gases de escape que son expulsados aún calientes.

Estas pérdidas de calor reducen el rendimiento térmico del motor, pues es el calor el que produce la expansión del gas, creando la elevada presión que impulsa el pistón hacia el p.m.i. en su carrera de trabajo. Los cilindros de mayor diámetro reducen las pérdidas de calor, pues éste debe recorrer un camino más largo para propagarse desde el centro de la cámara de combustión hasta las paredes refrigeradas del cilindro. El aumento de la relación de compresión mejora también el rendimiento térmico, ya que los gases se expanden en un volumen mayor, dando lugar a un mejor enfriamiento de los mismos.

b) **Rendimiento mecánico** (η_m): es la relación existente entre el trabajo efectivo medido en el eje motor y el trabajo indicado.

$$\eta_m = \frac{W_e}{W_i}$$

Este rendimiento tiene en cuenta el trabajo absorbido por los rozamiento de los órganos en movimiento del motor (pistones, bielas, cigüeñal, etc.) y de los equipos auxiliares del motor (bomba de agua, generador, etc.), así como el trabajo absorbido en el bombeo (admisión y escape). El rendimiento mecánico empeora, no sólo al aumentar la velocidad media del pistón (cuando sube el régimen motor), sino, además, al disminuir la cilindrada unitaria.

En términos de potencia podemos expresar el rendimiento mecánico como la relación entre la potencia efectiva y la indicada.

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

c) **Rendimiento total** (η_T): en un motor, el rendimiento total es la relación existente entre el trabajo efectivo W_e obtenido en el eje motor y el equivalente a la energía calorífica del combustible consumido W_Q ; por tanto, podemos decir que es igual al producto del rendimiento termodinámico por el mecánico.

$$\eta_T = \eta_T \cdot \eta_m = \frac{W_i}{W_Q} \cdot \frac{W_e}{W_i} = \frac{W_e}{W_Q}$$

En términos de potencia, el rendimiento total de un motor es la relación existente entre la potencia efectiva y la potencia teórica.

$$\eta = \frac{P_e}{P_T}$$

d) **Rendimiento volumétrico** (η_v): es la relación entre el peso del gas (M_e) introducido realmente en el cilindro en cada ciclo y el peso (M_c) de una carga completa, es decir, de volumen igual al del cilindro, en las condiciones atmosféricas ideales (15°C y 760 mm Hg).

$$\eta_v = \frac{M_e}{M_c}$$

El rendimiento volumétrico es función de la velocidad media del pistón, de la sección de los conductos de admisión y del tamaño de las válvulas. Efectivamente, cuanto mayor es la velocidad de rotación del motor, menor es el tiempo que permanece abierta la válvula de admisión, llegándose a una situación en que la cantidad de gases que entran al cilindro es insuficiente, lo que determina una disminución de la potencia que desarrolla el motor a partir de cierto régimen. De ahí es que la velocidad y la potencia de un motor no puedan aumentar indefinidamente.

Los motores modernos son diseñados de manera que la aspiración resulte fácil y posean un rendimiento volumétrico elevado en altas revoluciones, para lo cual, las válvulas de admisión se fabrican más grandes y los colectores de aspiración de mayor sección, con menos sinuosidades y tan cortos como sea posible.

La temperatura de funcionamiento del motor y la del ambiente, también influyen en el rendimiento volumétrico, pues cuanto más elevadas sean, más se dilata el gas que llega al cilindro, reduciéndose la cantidad que puede penetrar.

El rendimiento volumétrico puede mejorarse notablemente comprimiendo el fluido antes de introducirlo al cilindro y, todavía más, si a la compresión sigue un buen enfriamiento entre el compresor y el cilindro. Esta técnica es la empleada en los motores sobrealimentados.

RENDIMIENTO GLOBAL. BALANCE TÉRMICO

1- Rendimiento térmico

La parte de energía suministrada al motor que no aparece en forma de trabajo mecánico, se pierde en forma de calor. Supongamos un motor que está funcionando y observemos lo que pasa en un cilindro:

Expansión: dado que la combustión se produce en un tiempo muy corto, podemos admitir que todo el calor se emplea en elevar la temperatura y, por consiguiente, la presión de los gases. El pistón desciende empujado por esta presión, permitiendo la dilatación del gas; pero durante este

período de tiempo hay intercambio de calor entre los gases, cuya temperatura es de unos 2.000 °C, y las paredes de los cilindros, que están aproximadamente a 100°C. Este intercambio es tanto más importante, cuanto mayor sean la diferencia de temperaturas, superficie de las paredes y tiempo que dura dicho intercambio.

Escape: antes de finalizar esta carrera, la válvula de escape se abre y los gases salen al exterior. Al comienzo de este tiempo, los gases poseen aún una temperatura bastante elevada, pues solamente han cedido calor por expansión y por pérdida a través de las paredes. El resto de su energía se pierde, pues, en el transcurso de esta carrera.

Para reducir esta pérdida al mínimo se ha de procurar enfriar los gases cuando sea posible, pero de una manera útil, puesto que la pérdida es la misma si el calor es disipado por los gases a la atmósfera, o bien cedido a las paredes. La manera útil de enfriarlos es aumentar la carrera de expansión.

El escape influye, además, de otra manera sobre el rendimiento, influencia que se traduce, no en una pérdida de calor, sino en una disminución de la energía cinética del émbolo. Al retroceder éste en su carrera, ha de vencer la contrapresión que se produce en el cilindro y en el tubo de escape, de donde se deduce que es necesario reducir dicha contrapresión al mínimo.

Aspiración: durante este tiempo, al igual que en el de escape, la energía cinética del émbolo disminuye, toda vez que éste ha de vencer la depresión que existe en el cilindro, por cuya causa, como en el caso del escape, hay que reducir todo lo posible dicha depresión.

De otra parte, al ponerse el gas en contacto con las paredes calientes del cilindro, aumenta la temperatura, por lo cual, debe procurarse favorecer dicho calentamiento, prolongándolo cuanto sea posible. Como no cabe pensar en aumentar la carrera de aspiración y, de otra parte, no es conveniente enfriar mucho las paredes del cilindro, como ya vimos al tratar el tiempo de expansión, será preciso calentar el gas antes de su entrada en el cilindro.

Compresión: el trabajo empleado en comprimir el gas antes de la combustión, reduce indudablemente el trabajo disponible. Sin embargo, para aumentar el rendimiento, no es necesario disminuir la compresión, sino todo lo contrario.

Por otra parte, el gas se calienta al ser comprimido y esta energía aparece durante el período útil del ciclo. De otra parte, es evidente que al final de la compresión interesa obtener una presión tan elevada como sea posible, y ésta es tanto más elevada, cuanto mayor sea la cantidad de combustible quemado en un recinto dado.

Para concentrar sobre el émbolo una gran masa de gases explosivos, bastará adoptar una compresión elevada.

Encendido: finalmente, para obtener una combustión rápida (cuyo resultado es una presión final elevada), hay que emplear un encendido intenso.

En resumen, las condiciones que se requieren para obtener un rendimiento elevado son:

- a) Mantener los cilindros a elevada temperatura.
- b) Reducir en lo posible la duración de la expansión.
- c) Disminuir la superficie de las paredes.
- d) Aumentar la carrera de expansión.
- e) Reducir al máximo la contrapresión en el tiempo de escape.
- f) Reducir al máximo la depresión en el tiempo de aspiración.
- g) Calentar el gas antes de introducirlo en el cilindro.
- h) Adoptar una compresión elevada.
- i) Emplear un encendido intenso.

2- Rendimiento mecánico

El trabajo perdido en la transmisión, desde el émbolo al árbol motor, se emplea ya en vencer rozamientos y en mover los órganos accesorios del motor.

Funciones accesorias: el movimiento de los mecanismos que las realizan, absorbe necesariamente un aparte del trabajo producido por el motor. El generador, las bombas de agua y aceite y el ventilador, restan una potencia al motor nada despreciable.

Sistema de escape: la instalación necesaria para la evacuación al exterior de los gases quemados, requiere un cuidadoso estudio en cuanto a la longitud y sección de paso se refiere, para evitar una resonancia acentuada y una pérdida de potencia. La tubería de escape, no debe presentar estrechamiento alguno y su sección debe ser suficiente.

Rozamiento: los rozamientos a vencer son los que más influyen sobre el rendimiento mecánico. Los segmentos, aplicándose como resortes contra las paredes del cilindro, ejerce una presión que no puede ser inferior a cierto valor, si se quieren evitar pérdidas de compresión por fugas de gases hacia el cárter entre ellos y las paredes. Se reduce el rozamiento al mínimo lubricando todo lo posible ambas piezas.

El pistón roza, asimismo, en el interior del cilindro, contra el cual ejerce una fuerte presión debido a determinadas posiciones de la biela. La oblicuidad de ésta puede disminuirse en el momento más perjudicial, es decir, durante la carrera de expansión, descentrando convenientemente el motor, como ya se verá. Los cojinetes de apoyo del cigüeñal y de las propias bielas, producen un rozamiento elevado, que puede ser disminuido grandemente engrasando convenientemente estas uniones

3- Balance térmico

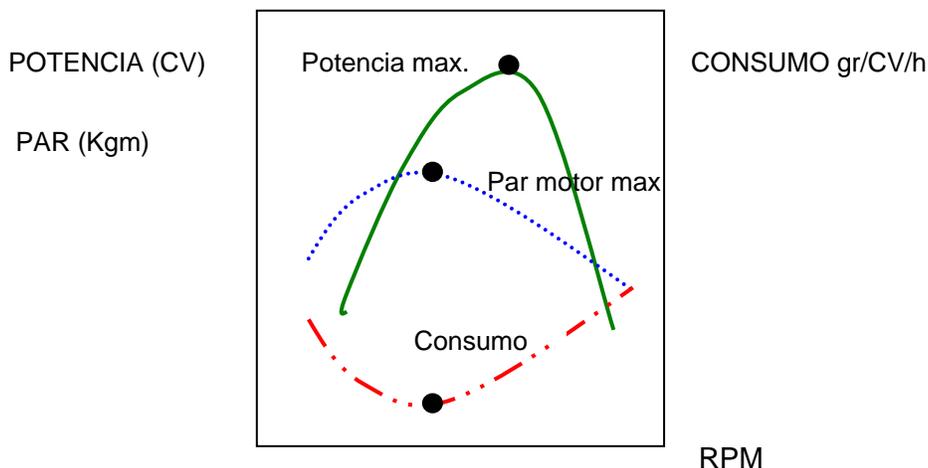
Después de lo expuesto, aparece claro que solamente una pequeña parte de la energía calorífica del combustible quemado en un motor, se transforma en energía mecánica. El resto se dispersa de diversas formas. El balance térmico de un motor de características medias, donde puede observarse que del 100% del poder calorífico del combustible, se pierde un 20% en el agua de refrigeración, un 35% en el escape y un 15% en rozamientos mecánicos y resistencias pasivas. Queda, pues, un 30% de calorías útiles de las que puede disponerse para propulsar el vehículo.

Esta enorme deproporción, obliga a los constructores a estudios cada día más profundos para mejorar el rendimiento de sus motores, cuyo desarrollo tecnológico es cada vez más avanzado.

CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR

El trabajo que es capaz de realizar un motor, está definido por sus curvas características. Fundamentalmente pueden reseñarse las del par, potencia y consumo específico de combustible, en función del régimen de giro.

En la figura siguiente se han representado las curvas características de un motor, obtenidas en el banco de pruebas en condiciones de máxima alimentación, es decir, a plenos gases. En función del régimen de giro, se dan la potencia en CV, el par en kgm y el consumo específico en gr/CVh.



El par desarrollado varía con la velocidad de rotación del motor, alcanzando su valor máximo en el punto A, que corresponde al régimen en que la curva de potencia alcanza su punto de tangencia, con respecto a la tangente a esta curva trazada desde el origen de los ejes de coordenadas. Efectivamente, teniendo en cuenta que:

$$P_e = \frac{RFn}{716}$$

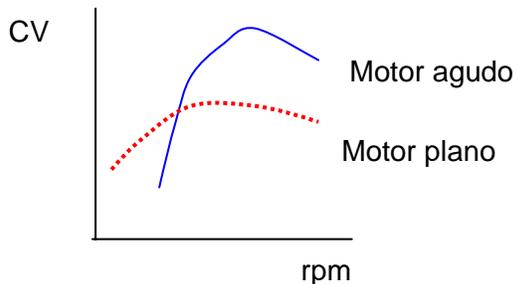
podemos deducir que el par motor RF es:

$$RF = 716 \frac{P_e}{n}$$

y como la fracción P_e/n es precisamente la tangente del ángulo α , podemos concluir que el par motor es máximo para el mayor valor de α .

$$RF = 716 \frac{P_e}{n} = 716 \operatorname{tg} \alpha$$

Cuando la potencia desarrollada por un motor se mantiene sensiblemente igual en un margen amplio de revoluciones, se dice que el motor es plano o elástico. Los motores cuadrados y supercuadrados son generalmente de este tipo. Si la potencia máxima se obtiene en un margen pequeño de revoluciones, se dice que el motor es agudo. En la figura siguiente se dan las curvas de potencia representativas de estos motores.



La potencia desarrollada por un motor puede venir expresada en dos formas esencialmente diferentes, que dependen de cómo se haya efectuado la medición. En unos casos se toma el valor de la potencia funcionando el motor tal como ha de hacerlo en el vehículo (sistema DIN), es decir, dando movimiento a todos los órganos auxiliares (bomba de agua, generador, etc.) En otros (sistema SAE), se mide la potencia que desarrolla sin dar movimiento a ninguno de estos órganos y efectuando al mismo tiempo reglajes de carburación y encendido para cada punto de medida, al objeto de conseguir la máxima potencia.

La potencia del motor suele darse en CV o bien en kW. Un kilovatio equivale a 1,36 CV.

VARIACIONES DE LA CURVA DE POTENCIA EN LOS MOTORES

En un motor, las variaciones de la sección de los conductos de admisión, dimensiones de las válvulas o tiempos de abertura de las mismas, pueden provocar variaciones apreciables de la potencia en un determinado campo del régimen de giro.

Aumentando la sección de los conductos de admisión y el tamaño de las válvulas, mejora el rendimiento volumétrico en regímenes altos, es decir, se consigue un mejor llenado en estos regímenes, con lo cual, aumentan el par y la potencia en estas condiciones. En contrapartida, para los regímenes bajos el rendimiento volumétrico disminuye considerablemente, pues con el aumento de sección de los conductos, la velocidad de entrada de los gases en el cilindro se hace menor, dificultándose el llenado.

Disminuyendo las dimensiones de los conductos y las válvulas, las variaciones se producen en el sentido contrario.

Los tiempos de apertura de las válvulas influyen de manera similar sobre la curva de potencia. Con tiempos largos, es decir, con elevados valores de los ángulos de admisión y escape, las variaciones van en el mismo sentido que al aumentar las dimensiones de los conductos y válvulas, consiguiéndose un aumento del régimen máximo de rotación del motor y un incremento de potencia en las altas revoluciones. En regímenes bajos disminuye el rendimiento volumétrico, lo que determina una pérdida de potencia.

Conjugando estos dos factores a la par, se consigue el rendimiento más adecuado para el motor y, así, resulta claro que en los casos que interesa obtener la máxima potencia posible (como en los vehículos deportivos), se adoptarán grandes dimensiones de los conductos y válvulas, disponiéndose, además, de amplios ángulos de adelanto y retraso.

Las condiciones atmosféricas en las que trabaja un motor, influyen también sobre la potencia desarrollada por el mismo. No es extraño observar cómo disminuye la potencia del motor cuando el vehículo circula por regiones montañosas o con calores intensos. Estudios realizados han confirmado que la potencia desarrollada es directamente proporcional a la presión barométrica e inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta.

Para hacer comparativos los valores de potencia obtenidos con motores en pruebas realizadas en diferentes condiciones de temperatura y presión atmosférica, se ha establecido referirlos a unas condiciones determinadas, esto es, a la presión de 760 mm Hg y 15°C de temperatura, lo cual se logra con la expresión

$$P = Pe \frac{B}{760} \sqrt{\frac{288}{273 + t}}$$

donde B es la presión atmosférica en mm Hg a que se ha realizado la medición; t la temperatura en °C; Pe la potencia efectiva medida al freno; y P la potencia corregida.

PREPARACIÓN PREVIA Y MECANIZADO DEL BLOCK

EL BLOQUE DE CILINDROS

El bloque de cilindros es la base de todo motor. Junto con la tapa de cilindros conforman la base estática en la que va a apoyarse el conjunto completo del tren alternativo, el cigüeñal por la parte baja y los pistones a través de los cilindros. Por otro lado, la tapa de cilindros soportará el movimiento del árbol (o árboles) de levas y el movimiento de las válvulas. Todo el conjunto requiere la suficiente robustez para garantizar que éste constante y acelerado accionamiento interno de las piezas móviles.

Cuando se pretenda la transformación de un motor para competición se mejorará en lo posible el conjunto del bloque porque el motor estará sometido a un mayor esfuerzo, a mayores tensiones, a mayores temperaturas y a un aumento de las presiones, por lo que se debe conseguir el debido equilibrio. El bloque de cilindros debe ser desarmado completamente. Una vez limpio y revisado, se pasará a trabajar en él desde alguno de los siguientes puntos de referencia:

- Limpieza y desincrustación del bloque
- Pulido interior del bloque
- Reforzado de la línea de bancada
- Rectificado del plano superior
- Alezado del bloque
- Desmontaje de los pernos, tapones y esparragos
- Trabajos en las camisas de los cilindros
- Trabajos en los conductores de lubricación

Cada uno de estos puntos va a constituir el contenido del presente capítulo, en el cual empezamos a realizar la descripción de los trabajos prácticos que es necesario llevar a cabo en la tarea de la preparación de un motor para competición.

1) Limpieza y desincrustación del bloque

Cuando se pretende conseguir una buena preparación de un motor de serie se hace necesario el desmontaje total del motor para efectuar cada una de las preparaciones que se hayan estudiado de antemano.

Cuando el bloque de cilindros se encuentre totalmente desprovisto de todas las piezas que soporta, se procede, en primer lugar, a una limpieza a fondo y a una desincrustación de sus paredes tanto interiores como exteriores, sobre todo si el motor ha funcionado algunos kilómetros.

El objetivo de esta limpieza es eliminar el más mínimo vestigio de residuos abrasivos y diminutas virutas metálicas que todavía conserve el motor después de su salida de fábrica o formados a través de unos pocos kilómetros realizados durante el rodaje. Cuando un motor se va a ver sometido a un mayor esfuerzo es conveniente cuidar de estos detalles pues un aumento de las presiones puede desplazar estas virutas, que antes habían permanecido inactivas, y ocasionar desperfectos en las partes móviles durante la prueba.

Conjuntamente con el bloque deberá aprovecharse esta operación para efectuar la limpieza de las camisas y de la tapa de cilindros. La limpieza se realiza con mayor garantía si se dispone de un desengrasante líquido en batea caliente.

Un baño de un activo detergente, muchas veces a base de tricloretileno osales desengrasantes aplicado a una temperatura cercana a los 90° C, permite una limpieza muy a fondo en pocos minutos. Las piezas, una vez terminado el proceso de lavado, pueden sacarse del rodillo prácticamente secas ya que el detergente se evapora de las paredes lavadas en muy poco tiempo.

Este procedimiento asegura una perfecta limpieza incluso en los rincones más angostos del bloque.

De no poseer una batea de este tipo el proceso de limpiado puede ser realizado también a mano, con más esfuerzo y más tiempo, pero, si se hace a conciencia, no con menores resultados. Para efectuar este trabajo se prepara una solución jabonosa de un producto de alto valor detergente, mezclando el agua con un cepillo de cerdas suaves y rascando sobre todos los lugares accesibles del bloque o de la tapa. Finalmente se aclarará la pieza con abundante agua a presión.

Inmediatamente deberá procederse al secado de las piezas, lo cual se lleva a cabo por medio de aire comprimido especialmente en los rincones de más difícil acceso. Cuando la pieza esté seca se procede a darle una capa de aceite mineral muy fluido, sobre todo en aquellas zonas del bloque que no estén protegidas de fábrica por una capa de pintura y muy especialmente en las zonas mecanizadas, que son muy susceptibles de oxidarse con el simple contacto con el aire.

Fórmula para preparar un desengrasante líquido para materiales ferrosos:

- Partes de soda caustica perlítica 35%
- Partes de fosfato trisódico 25%
- Partes de metasilicato de sodio 25%
- Soda solvay 10%
- Resinato de sodio 5%
- Se diluye al 20% en H₂O cuando se lo utilice

2) Pulido interior de los blocks

La ventaja de un bloque de cilindros cuyas paredes interiores dispongan de una superficie lo más lisa y pulida posible, eliminadas todas las rugosidades propias de la fundición de fábrica, radica en que el aceite de lubricación que es devuelto a estas paredes o salpicado a las mismas, tenga tendencia natural a volver lo antes posible al cárter, en la parte inferior. Con ello se consigue, dado el menor tiempo de presencia del aceite muy caliente en esta zona, que el bloque rebaje su temperatura de funcionamiento, así como que el volumen de aceite que se refrigera, en el cárter o a través del radiador de refrigeración de aceite, sea superior; el motor funcionará así bajo un índice de temperatura proporcionalmente más moderada.

Por otra parte, también el aceite, al trabajar más frío de origen, conserva mejor su viscosidad y se muestra más efectivo en sus funciones lubricantes y también como refrigerante de la parte inferior del tren alternativo.

El pulido interior del bloque se efectúa con la ayuda de una piedra portátil muy pequeña, de mando flexible, del tipo de las llamadas "rotaflex". Existen diversos tipos de piedras y de numerosos grados de grano.

El trabajo consiste en pulimentar las paredes internas del bloque por las que puede ser proyectado aceite y dejarlas lo más lisas y uniformes posibles.

3) Reforzado de la línea de bancada

Uno de los caminos más importantes para conseguir aumentar la potencia de un motor consiste en aumentar su presión media efectiva. Ello quiere decir obtener de la combustión unas presiones de mayor valor.

Para conseguir este objetivo se procede a aumentar la relación de compresión y ello comporta, sin duda, un mayor esfuerzo para los pistones, las bielas y el cigüeñal. El último receptor de todos estos esfuerzos es, sin embargo, el bloque de cilindros, como apoyo de todas estas unidades móviles.

Por consiguiente, deberemos reforzar los cojinetes de apoyo de bancada y también el diámetro de los espárragos que tienen por misión soportar los cojinetes a la estructura rígida del bloque. Para ello se agrandarán las roscas de los anteriores espárragos por medio de un nuevo roscado. Como no todos los bloques tienen la misma estructura, la forma de operar también resulta diferente, lo que detallaremos acto seguido.

4) Alineado de las bancadas

Si las tapas de bancadas de los semicojinetes inferiores están colocadas en una misma línea de la base inferior, la solución más conveniente será reforzar los bulones de fijación de las tapas de bancadas.

El punto en que hemos de aumentar el diámetro de los bulones dependerá de los nuevos esfuerzos que se prevean para el motor y del espacio con el que se cuente en tal zona. Sin embargo, bastará seguir el mismo criterio que para los bulones de la tapa de cilindros.

Otro punto importante a considerar en estas bancadas consiste en compensar y limitar las mayores vibraciones transversales que se van a producir en los apoyos del cigüeñal cuando éste alcance velocidades de régimen bastante más elevadas y se creen potentes fuerzas centrífugas en los apoyos.

Para controlar con toda exactitud los valores de vibración transversal de las bancadas, el preparador coloca dos tornillos tensores a cada uno de los lados de la misma. Estos tornillos pueden regularse y fijarse por medio de una contratuerca de fijación, con lo que puede asegurarse el perfecto centrado de las bancadas. Los tornillos de centrado deben ser gruesos, de un tamaño ligeramente inferior a los bulones de las bancadas, y el roscado debe hacerse lo más fino posible para conseguir una máxima precisión en la operación de ajuste.

Durante la operación de centrado las tapas deben quedar absolutamente alineadas entre todos los apoyos del cigüeñal ya que si se efectuara un desalineamiento de alguna de ellas con respecto al eje geométrico del árbol motor, podría perjudicar al citado árbol cigüeñal.

Para evitar que pequeñas variaciones pasen inadvertidas, el mejor sistema consiste siempre en realizar la operación con la ayuda de un comparador centesimal cuyo palpador se mantenga en contacto con el cigüeñal.

En este caso concreto la forma de operar deberá ser la siguiente: bulones de cada apoyo, interrumpiendo el apriete en cuanto se obtenga en la esfera la más mínima desviación de la aguja indicadora.

Seguidamente se pasa a efectuar el mismo montaje en la próxima tapa y se realiza la operación en el mismo sentido. E igualmente en todos los bulones de ambos lados del refuerzo lateral.

Una vez obtenido un correcto ajuste de todos los tensores se pasa a asegurar, por medio de la contratuerca, la posición de todos ellos, aconsejándose el uso de un antiaflojante en las roscas para evitar su aflojamiento.

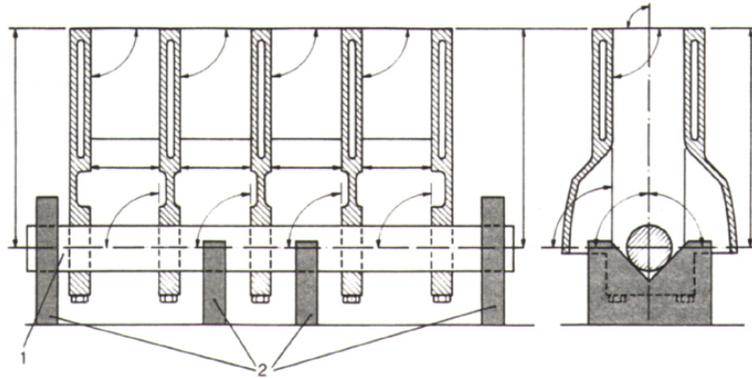
Otra posibilidad de diseño es que las tapas de bancada de los apoyos del cigüeñal se encuentren por encima del plano de la base del bloque de cilindros.

La forma de operar en este caso consiste en seguir las mismas normas anteriores sobre el aumento del diámetro de los bulones de las tapas para mejorar su fijación y asegurar su mayor resistencia a los nuevos esfuerzos que ha de tener que soportar; pero, por otra parte, habrá que vigilar el sistema de anulación de las vibraciones.

En este caso resulta procedente efectuar unos agujeros roscados. Éstos afectan al mismo tiempo al material del bloque y al de la tapa de bancadas.

Posteriormente se podrá introducir por la zona del agujero una espiga de acero o un perno de sección más delgada que el bulón de fijación de la bancada, con el fin de limitar los efectos de las vibraciones transversales.

Este sistema no es tan efectivo como el que hemos visto en el primer caso pero mejora considerablemente el trabajo del cigüeñal en el control de las citadas vibraciones transversales.



5) Rectificado del plano de la superficie del bloque

El aumento de la presión efectiva de un motor comporta el aumento de la relación de compresión. Ello se consigue por medio de dos procedimientos básicos: uno de ellos consiste en rebajar el plano de la tapa de cilindros para que el espacio que queda en la cámara de combustión disminuya. Esta operación también puede llevarse a cabo por medio de un rebaje en la superficie del plano superior del bloque, con lo que se consigue que los pistones sobresalgan discretamente de esta misma superficie y el volumen de la cámara también disminuya.

El camino intermedio, rebajar ligeramente el bloque y hacerlo también para la tapa, es bastante corriente y suele dar los mejores resultados de fiabilidad.

En este caso, se deberá proceder a rebajar la superficie superior del bloque una medida previa calculada con la mayor exactitud; este trabajo hay que encomendarlo a un taller provisto de una máquina rectificadora.

Si la cantidad a rebajar es importante, previamente se pasa el bloque por una fresadora y luego por la rectificadora, hasta conseguir el rebaje exacto para toda la superficie que se ha solicitado.

6) Roscado del bloque

Veamos ahora una serie de consejos prácticos sobre el modo de realizar el roscado de las paredes del bloque, operación que hemos de realizar para conseguir colocar bulones de mayor diámetro a los originales del motor.

Esta operación requiere una serie de cuidados que hace que nos ocupemos de ella particularmente aun cuando el trabajo de hacer roscas sea una práctica corriente del taller en la que cualquier mecánico deberá estar avezado en su ejecución.

Para ello efectuaremos roscados de precisión en los que las roscas que intervienen deberán sujetar bulones sometidos a esfuerzos muy elevados, muy superiores a los que el ingeniero que proyectó el motor con el que trabajamos ideó en un principio. Por lo tanto, deberemos emplear también herramientas de precisión, es decir, machos nuevos y de la mejor calidad, por medio de los cuales la exactitud del labrado de las roscas y de su medida esté asegurado.

Los machos son elementos sujetos a desgaste y no deben utilizarse en trabajos de preparación de motores cuando han superado cierto grado de desgaste a partir del cual el resultado comenzaría a ser impresentable.

Por otro lado, los machos empleados en el trabajo de mecanización del aluminio, el bronce y otras aleaciones ligeras requieren machos especiales, con las estrías helicoidales que permitan la salida de la viruta e impidan que la herramienta se atasque.

7) Preparación del bloque

Por lo general, los bulones y espárragos que deben ser aumentados de diámetro son los de sujeción de las tapas de bancada de los apoyos del cigüeñal y los del plano superior del bloque para la unión de la tapa al mismo.

En ambos casos se comienza por efectuar un agujero roscado en los mismos orificios ya previstos para este fin en el bloque. La misión de este agujero es servir de base al paso del macho de roscar que deberá colocarse posteriormente.

Si se ve que el bloque no dispone de gran espesor, será preferible un paso de rosca inferior al indicado (es decir, en vez de 1,75 pasar a un paso de rosca de 1,50 o en último extremo de 1,25 mm) Con ello obtendremos que, con el mismo espesor de la pared útil del bloque, actúan mayor cantidad de hilos de rosca, lo que facilitará su fijación y soporte.

En este caso, la tabla puede servirnos de orientación y adaptando un paso de rosca de 1,50 mm, podemos decidir que el agujero sea de $(12 - 1,50 =) 10,50$ mm.

Utilizando este sistema de cálculo siempre podremos encontrar una solución que se avenga con el grosor de las paredes del bloque y el aumento de los esfuerzos a soportar que se consideren más convenientes.

Agujereado del bloque

El secreto de todo buen agujero es que sea absolutamente redondo, condición que no se cumple con cualquier tipo de taladro. En nuestro caso, la preparación de motores de competición requiere herramientas de la mayor calidad de modo que la agujeradora debe ser de columna para que nos asegure un perfecto centrado del agujero.

El bloque de cilindros de la disposición “en línea” suele ser fácil de aplicar a la mesa de la agujereadora, así como de sujetar en las mordazas convencionales de la máquina herramienta.

Con pocas operaciones podremos nivelarlos y escuadrarlos para que la mecha penetre perfectamente en el orificio de cada uno de los agujeros roscados originales.

Pero en los motores en V los bloques tienen la base inclinada, lo que requerirá la presencia de dispositivos de escuadrado semejantes a los utilizados para rectificar el bloque.

En cualquiera de los casos deberá conseguirse una nivelación perfecta, lo que puede comprobarse con un medidor de nivel de burbuja de aire y un perfecto escuadrado con relación a la perpendicularidad con el eje de giro de la agujereadora de columna.

Una vez perfectamente centrado el orificio a realizar y colocada la mecha en el husillo de la máquina, se aconseja comenzar por seleccionar la velocidad más reducida de avance y de giro, pues de esta manera tendremos la seguridad de que la mecha se estará realizando con las mejores garantías y se evitará la posible rotura de la mecha en funcionamiento.

El agujereado se debe hacer por igual en todos los lugares en los que debe haber un espárrago o un bulón hasta completar esta primera fase del trabajo.

8) Roscado del bloque

Una vez realizados todos los agujeros se deberá formalizar el trabajo del roscado de los agujeros siguiendo las instrucciones ya dadas y las medidas indicadas en la pasada tabla.

Según el material del bloque se deberá elegir el tipo de macho. Para iniciar el roscado conviene colocar un macho ahusado que permita establecer el camino de los posteriores machos de tallado y acabado.

Este primer macho puede colocarse desde la misma agujereadora, para así conseguir asegurarse de su perfecto centrado.

Se tendrá especial cuidado, al iniciar el trabajo, en que la herramienta penetre en la agujereadora perfectamente alineada con respecto al plano de trabajo; para ello es buena práctica girar con ella el husillo de la agujereadora hasta iniciar la penetración del macho y provocar las primeras pasadas del ladrado de las roscas.

Posteriormente se pasará a colocar el segundo macho de tallado en el giramachos, de la manera tradicional, y ya se podrá realizar este trabajo a mano sin peligro de que exista desviación de la rosca.

Igualmente se hará con el macho de acabado, hasta dar por definitivamente terminada la operación de fileteado del agujero.

Esta misma operación deberá realizarse en los otros agujeros, hasta conseguir el roscado completo de todos ellos y su limpieza a fondo, para lo cual se utilizará un abundante chorro de aire comprimido hasta asegurarse de que se expulse todo resto de viruta metálica que hubiera podido alojarse en el fondo del agujero.

El procedimiento a seguir para realizar los agujeros y roscados de los orificios de los bulones de las tapas de apoyo del cigüeñal será el mismo que se acaba de describir.

9) Tapones de agua en el bloque

Muchos bloques de cilindros de serie están provistos de unos orificios laterales, tapados con sus correspondientes tapones obturadores, que se hallan en contacto con las cámaras de líquido de refrigeración que se encuentran alrededor de las camisas o bien de los cilindros, en los bloques de camisas secas o de cilindros labrados.

Los tapones obturadores deben ser desmontados y sustituidos cuando se prepara un motor de competición. En primer lugar, para poder tener acceso a las cámaras de refrigeración y proceder a su máxima limpieza en el caso de que el motor hubiera ya funcionado y pudiera tener depósitos calcáreos que dificultan la transmisión del calor. Y, en segundo lugar, para tener la seguridad de que un cuidadoso reemplazo de los tapones en la instalación permitirá que éstos no causen problemas cuando el motor esté girando sometido a mayores presiones y temperaturas.

Aunque este trabajo es práctica de taller, como quiera que no se realiza con frecuencia, vamos a hacer una rápida descripción de cómo se lleva a término.

Se comienza por eliminar cuidadosamente, con la punta de una rasqueta, todo residuo de rebabas de pasta de estanqueidad que pueda encontrarse adherida en los bordes del tapón obturador. También puede ocurrir que en esta zona se haya depositado suciedad de barro o grasa, todo lo cual hay que limpiar previamente.

A continuación se efectuará un agujero en el mismo centro del tapón, con la ayuda de una agujereadora y su correspondiente mecha. Ésta bastará con que sea de unos 8 mm de diámetro, aunque su tamaño depende del mismo diámetro del tapón y requerirá una agujereadora tanto más grande cuando mayor sea el tapón. Sin embargo, los 8 mm suelen ser suficientes para la mayoría de los motores de cilindradas medias de cuatro cilindros o de mayores cilindradas en motores de seis cilindros.

Si los tapones son bastante grandes golpean con un embutidor, el cual debe tener el diámetro ligeramente menor que el tapón para lograr con ello que llegue a despegarse de su asiento.

Cuando se nota que el tapón ha hecho movimiento se coloca en el agujero que hemos hecho con anterioridad la punta de un destornillador grande, o cualquier otro elemento con punta, mediante el cual se pueda ejercer brazo de palanca y, ayudándose de un taco de madera, hacer palanca para que el tapón se desprenda y salte de su alojamiento.

Esta misma operación deberá ser realizada en todos los tapones de obturación del bloque.

Después de este trabajo, se procederá a la limpieza interior de las paredes del bloque y cuando esta operación se dé por terminada, se instalarán los nuevos tapones de obturación.

Para efectuar esta instalación es necesario, en primer lugar, efectuar una perfecta limpieza de toda la zona de asiento en la que deberá alojarse cada uno de los tapones. Con tela de esmeril muy fina se podrá eliminar todo resto de la parte anterior y dejar el orificio en adecuadas condiciones de recibir el nuevo tapón.

A continuación se pasará a disponer de una pasta de estanqueidad con la cual se impregnará toda la zona que queda en contacto entre el tapón y su asiento en el bloque. Con la ayuda de un pincel, impregnaremos con pasta estas superficies citadas.

Acto seguido, y con el mismo embutidor, se obliga al tapón nuevo a asentarse en su apoyo en el material del bloque. Como que estos tapones tienen una ligera sobremedida será necesario dar algunos golpes de martillo hasta conseguir que se asienten perfectamente en su ubicación, la cual debe considerarse correcta cuando el tapón se enrasa perfectamente en el material del bloque. Vigilar que ningún tapón quede por encima de la superficie exterior del bloque, pues en este caso no estaría colocado con la suficiente garantía.

Dejar que la pasta de estanqueidad se seque totalmente antes de someter el bloque a presión. Cuando la pasta esté bien seca, los tapones quedarán en condiciones de soportar sin problemas las elevadas presiones y temperaturas del circuito de refrigeración.

10) Trabajos en las camisas de los cilindros

Como es sabido, pueden existir, fundamentalmente, tres tipos de montajes del cilindro con respecto al bloque que lo sostiene. Son los siguientes:

Cilindro integrado en el material del bloque

Camisas secas

Camisas húmedas

El sistema de la implantación de camisas es el más utilizado en la actualidad, pero vamos a referirnos a los dos primeros sistemas y a sus posibilidades de actuación desde el punto de vista de su preparación para los motores de competición.

Cilindro integrado en el material del bloque

Una solución utilizada desde hace mucho tiempo es aquella en la que el cilindro se encuentra labrado en el mismo material del bloque.

La característica más sobresaliente de este sistema consiste en la posibilidad de realizar un número de operaciones de rectificado del cilindro que puede establecerse en cuatro oportunidades. Por otra parte, el sobredimensionado del que puede disponerse es del orden de los 0,25 mm para cada rectificado, lo que da una idea de sus posibilidades y ventajas.

Sin embargo, este sistema no es del agrado de los fabricantes actuales porque requiere unos tratamientos caros y difíciles de las superficies de contacto de los cilindros y, además, porque resulta mucho más práctico hacer los cilindros en forma de camisas, de modo que se sustituyan éstas con facilidad cuando el motor tiene un desgaste o una irregularidad en la superficie por donde se desliza el pistón.

Si se trata de llevar a cabo la preparación de un motor de este tipo, la mejor solución para el mecánico consistirá en convertir el bloque para aplicarle camisas postizas, las cuales se comportarán de la misma forma que veremos al referirnos a las “camisas secas”.

Para ver si esta transformación es posible se deberán considerar los siguientes datos:

Primero. El diámetro interno de los cilindros que deberá poseer el motor que se pretende mejorar.

Segundo: El espacio de que se dispone entre cada dos cilindros consecutivos del mismo bloque para procurar que no se debiliten demasiado las paredes que los separan.

Tercero: El espesor (s) de la pared de las camisas, el cual se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$s = \frac{D}{2} \left(\sqrt{\frac{K + 0.4 \times Pz}{K - 1.3 \times Pz}} - 1 \right)$$

En esta formula tenemos que:

K es número constante que se refiere al coeficiente de trabajo, que en la fundición es de 350 kgcm² y de 500 a 800 kgcm² en el acero utilizado en los bloques.

Pz es el valor de la presión máxima de la combustión.

D se refiere al diámetro interno del cilindro expresado en milímetros.

Una vez efectuado el cálculo y comprobado por su resultado que el diámetro de las nuevas camisas sea de posible aplicación en el bloque de que se dispone, sin que sus paredes contiguas queden demasiado debilitadas, se podrá proceder a las operaciones necesarias para llevar a cabo la aplicación.

Deberán mandrinarse los orificios de los cilindros para que se avengan a las nuevas medidas. En este mandrinado se deberá tener en cuenta la necesidad de dejar los alojamientos a una medida mayor que la de la camisa en unos valores que se encuentran entre 0,020 a 0,025 mm por cada 100 mm del diámetro exterior de la camisa postiza que se aplicará.

Una vez realizado el alezado, y supuesto que el ajuste de las nuevas camisas va a ser realizado a presión, se deberá proceder a calcular la medida exacta a que van a quedar los alojamientos una vez mecanizados. Para ello se llevará a cabo el siguiente sistema empírico.

Con la ayuda de un micrómetro de exteriores se procederá a la medición del diámetro exterior de las camisas que vamos a implantar, lo que requerirá efectuar por lo menos tres medidas a diferentes alturas de cada una de las camisas.

Luego se suman los resultados de todas estas mediciones y se busca la media aritmética, es decir, se divide por 3 la suma total de las tres mediciones para conseguir de este modo el valor promedio general de la camisa.

Acto seguido se procede a restar del resultado obtenido la cantidad de 0,0012 mm por cada 25 mm del valor del diámetro exterior. El resultado de este cálculo nos dará el diámetro exacto a que deberá mecanizarse el alojamiento de la camisa en el bloque.

Camisas secas

El sistema de utilización de camisas o cilindros postizos que se aplican sobre el material del bloque origina extraordinarias ventajas, entre las que cabe destacar la posibilidad de que un mismo bloque dure tanto como se desee, pues al tener que hacer los rectificadores basta con cambiar las camisas y ajustarlas a los pistones que van a trabajar dentro de ellas. De este modo podemos hacer camisas de materiales mucho más resistentes y con mayores ventajas para su engrase y duración, mientras el bloque puede ser de un material más barato y con menores costos de mecanización.

Estas camisas se hallan insertadas en el material del bloque por un ajuste a presión y para su desmontaje se requiere una prensa hidráulica de puente con una capacidad de trabajo que oscile alrededor de las 60 Toneladas, según el diámetro de las camisas. Sin embargo, para el montaje, el valor de las cargas resulta mucho más limitado porque se establece que son necesarios del orden de 2 a 3 Toneladas para las camisas de hasta 60 mm de diámetro, mientras bastarán 4 Toneladas para las de entre 60 y 80 mm, y de 5 a 6 Toneladas para los diámetros comprendidos entre los 80 y los 100 mm.

Como puede deducirse, el montaje se efectúa por deslizamiento a presión, considerando que los alojamientos de las camisas tengan las tolerancias adecuadas para el paso de las mismas por el orificio del bloque. El mecánico deberá trabajar en colaboración con el rectificador para conseguir los mejores resultados, ya que es fundamental que las camisas queden perfectamente escuadradas con respecto al eje formado posteriormente por el árbol cigüeñal.

Por esta razón es necesario, al iniciar el montaje, tener especial cuidado en que las camisas se encuentren debidamente colocadas a 90° con respecto a los alojamientos del bloque.

También será buena norma emplear para el montaje de estas camisas secas algún líquido que, además de ser lubricante, tenga la particularidad de ejercer una acción oxidante de modo que, una vez instalada la camisa, asegure su total inmovilización.

Desde el punto de vista de la práctica en el taller, un líquido que tiene todas estas cualidades y que está al alcance del mecánico, es el mismo líquido de frenos, el cual puede ser un útil auxiliar en este sentido.

Como quiera que un motor de competición se supone que va a trabajar en condiciones mucho más duras que un motor de serie, a mayor número de rpm y, por consiguiente, también a más altas presiones, es absolutamente necesario cerciorarse del perfecto escuadre de las camisas con respecto al cigüeñal, pues de otro modo puede producirse una grave avería en el motor durante la competición, además de que éste perderá potencia por aumento de las zonas rozantes.

Para llevar a cabo este trabajo se coloca un falso eje en los apoyos del cigüeñal, eje que no hace falta que sea acodado. Tanto el eje como el bloque del motor puede sostenerse por medio de prismas que sujeten convenientemente el conjunto.

Ahora hay que buscar la perfecta perpendicularidad de cada una de las camisas con respecto al eje postizo.

Si se cumplen estas condiciones puede decirse que el montaje de las camisas es correcto y podrá pasarse después a un rectificado de las mismas para ajustarlas perfectamente a cada uno de los pistones colocado en cada cilindro.

La colocación de camisas secas tiene una cierta complicación adicional en el caso de los motores en V, en donde cada uno de los bloques debe ser alzado y nivelado antes de realizar la presión con la prensa hidráulica para la entrada de la camisa sin desviamientos posteriores.

Dado que la tapa de cilindros ejerce una fuerte presión sobre el bloque cuando está montada y todos los pernos están colocados al adecuado par de apriete, el posicionado de las camisas suele sufrir una modificación de centésimas. Los buenos preparadores de motores de competición están atentos a todos los detalles y buscando los mejores resultados suelen fabricar una basta pieza de hierro que dispones del mismo número de bulones que la tapa original, así como también orificios que suplantán las cámaras de combustión de las tapas. Esto es lo que se llama una "máscara".

Esta "máscara" se coloca en el bloque como si se tratara de una tapa de cilindros, y con sus bulones, al par de apriete adecuado. Teniendo el conjunto mecánico es estas condiciones se pasa a efectuar el trabajo de ajuste de las camisas desde la rectificadora y actuando desde abajo.

De esta manera queda garantizado el perfecto escuadrado de las camisas con respecto al cigüeñal y, por lo mismo, se anulan todos los posibles roces que darían como objeto un desgaste más rápido del motor y una pérdida en su potencia final.

Consideraciones acerca de las medidas de las camisas secas

Para finalizar este tema digamos que en las camisas secas ha de tenerse en cuenta también la medida de la longitud de la misma camisa para su perfecto acoplamiento y ajuste al material del bloque. En la parte más elevada de la camisa se encuentra un reborde o pestaña que viene a resultar unos 4 mm, aproximadamente, más larga que el espacio reservado en el bloque para su instalación. De esta forma, cuando una camisa se coloca a fondo, todavía sobresale del plano superior del bloque unos milímetros.

Por este procedimiento se asegura, mediante la acción de la prensa, un perfecto asentamiento de los resaltes que forma la pestaña en esta parte superior de la camisa.

Con este procedimiento se consigue instalar perfectamente la camisa seca pues el pistón de la prensa la obliga hasta el final del alojamiento.

Una vez montada la camisa se pasará a anular el saliente de la pestaña. Para ello basta con la ayuda de una lima plana de grano fino, con la que deberá limarse hasta conseguir eliminar la mayor parte del material que sobresale.

Posteriormente, el acabado final se realiza por rasqueteado o por aplanado, hasta enrasar la superficie superior de la camisa con la del material del bloque.

Rectificado y bruñido de cilindros

Una vez instaladas las camisas y en la seguridad de haber alcanzado el perfecto escuadrado de las mismas, se debe continuar hasta dejar las paredes internas del cilindro en perfectas condiciones de ajuste y bruñido para recibir el paso del pistón.

Una vez instaladas las camisas se ha de actuar en ellas siguiendo los mismos procedimientos propios de los bloques con cilindros labrados en su mismo material, salvo el caso de que las cuchillas rectificadoras efectuaran ahora un menor corte de material, debido a que las camisas vienen de fábrica más ajustadas a los pistones que las anteriores.

En todo caso, la operación comienza por una medición muy precisa del diámetro del pistón y una medición, igualmente precisa, del diámetro interior de la camisa.

Para efectuar esta medición tan exacta se utiliza con preferencia un comparador de esfera, el cual nos puede proporcionar valores muy precisos sobre el diámetro interno de la camisa.

También puede utilizarse un micrómetro de interiores, pero resulta más rápido y cómodo el sistema indicado anteriormente.

Si la diferencia de medición con respecto al pistón es grande, se puede comenzar por someter el cilindro a un arranque de material relativamente importante hasta alcanzar en el cilindro un diámetro que sea menor, de 0,20 a 0,25 mm, con respecto a la medida exacta a la que debe producirse el ajuste de cilindro y pistón.

Llegados a este punto deberemos someter el cilindro a un rectificado por medio de una rectificadora vertical, la cual tiene por misión arrancar algo de material para dejar las medidas muy precisas. Estas máquinas utilizan piedras abrasivas de carburo de silicio montadas sobre útiles portapiedras de diseño especial para que limiten la presión ejercida contra las paredes del cilindro mientras se está produciendo el rectificado.

Las primeras pasadas del rectificado se efectúan utilizando piedras de dureza de 150 a 180 y tamaño de grano J o K, hasta llegar a un diámetro inferior en 0,005 mm al de la cota nominal.

Después se dan unas pasadas de acabado con piedras de grado 220 y grano H o I, hasta conseguir medidas de un diámetro que se encuentre dentro de las tolerancias de acabado. En los motores preparados para competición esta tolerancia suele ser de 0,04 mm por cada 100 mm de diámetro.

La máquina bruñidora se parará cada quince o veinte desplazamientos y se verificará la medida obtenida por medio del comparador de esfera, como ya vimos, o bien con un micrómetro de interiores.

La última operación de acabado se efectúa a base de un bruñido, utilizando una herramienta bruñidora unida a una taladradora de mano.

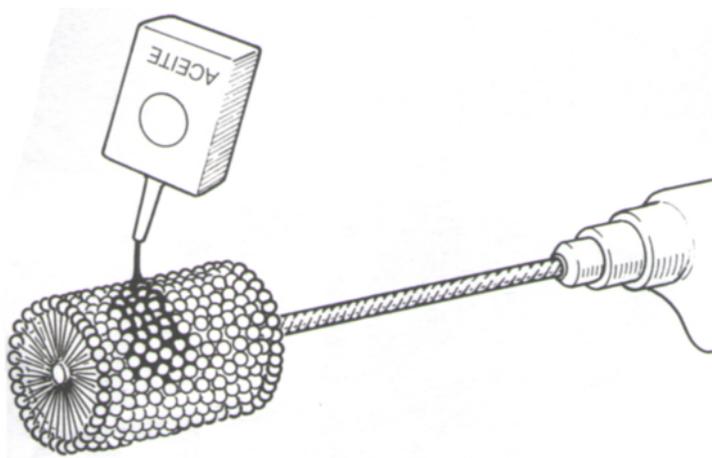
Este trabajo se lleva a cabo escogiendo el bruñidor adecuado con respecto al diámetro del cilindro a bruñir y aplicándolo al husillo de una agujereadora con la que se aseguren unas revoluciones mínimas de 300 rpm y máximas de 800 rpm.

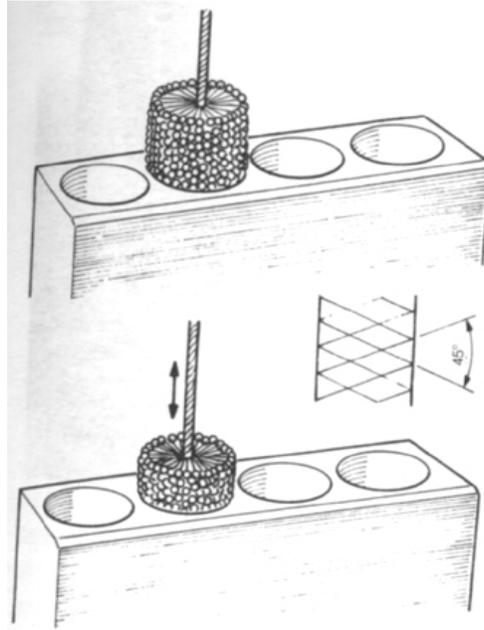
Previamente se le aplican unas gotas de aceite al aparato bruñidor. Este aceite puede ser del tipo corriente de aceite mineral para motor pero de un grado de 10 a 30 SAE.

A continuación se pone en funcionamiento la agujereadora dentro de los límites de velocidad indicados. Una vez puesta en marcha la herramienta, colocar el bruñidor por el interior de las camisas. El bruñidor debe introducirse en el interior de la camisa con movimientos regulares de vaivén y por una duración de sólo entre 20 a 40 segundos para obtener un resultado perfecto.

Cuando haya transcurrido el tiempo indicado se debe retirar el bruñidor, siempre en marcha, y pararlo cuando haya salido por completo del orificio de la camisa.

Después, limpiar cuidadosamente el cilindro y toda su superficie y retirar la más, mínima traza de abrasivo o de aceite.





La siguiente prueba consiste en comprobar que el juego entre el pistón y su correspondiente cilindro sea tal que se encuentre dentro de las tolerancias de adaptación de ambas piezas. Esta comprobación se efectúa introduciendo el pistón en el interior del cilindro, en la misma posición de trabajo, y comprobando, con una sonda de espesores, el valor del ajuste logrado. El ajuste puede considerarse correcto cuando la sonda entra y sale de su posición con sólo un ligero esfuerzo de tracción, tal como ocurre en toda medición con sondas de espesores. Si la sonda no entra y sale con esta facilidad, será necesario ajustar de nuevo los valores del diámetro de la camisa, efectuando una ligera pasada con la pulidora hasta obtener los resultados indicados.

Como quiera que el esfuerzo necesario para extraer una sonda de espesores de un huelgo determinado depende del criterio del mecánico, existen unas normas que hacen más precisa esta comprobación, a base de utilizar un dinamómetro para estirar la sonda una vez introducida ente pistón y cilindro. Cuando se prepara un motor de competición hay que trabajar muy fino y las sondas de espesores, sean de la medida que sean, deben extraerse con una tensión del dinamómetro de 150 gramos.

Por último debe enjuagarse muy bien el block y quedará listo para los siguientes pasos.

PREPARACIÓN, MECANIZADO Y ARMADO DE BIELAS, PISTONES Y COJINETES

LAS BIELAS EN LOS MOTORES DE COMPETICIÓN

Todo mecánico conoce sobradamente lo que es una biela y la función que ejerce como intermediaria entre el pistón y el codo o manivela correspondiente del cigüeñal para transmitir, por una parte, el movimiento creado por la combustión entre pistón y cigüeñal, y, por otra, convertir el movimiento rectilíneo del pistón en movimiento circular para el árbol motor o cigüeñal.

Considerar la enorme presión que ejercerá el pistón tras la combustión y la reacción que ejercen las ruedas a través de la transmisión, nos pone sobre aviso de los enormes esfuerzos que se le encomiendan a esta pieza intermediaria que en virtud de todas estas fuerzas está, más que ninguna otra, sometida a severos esfuerzos de compresión, tracción, flexión y torsión. De ahí la excepcional importancia de las bielas al preparar un motor para competición.

Para soportar todos estos esfuerzos, el material con el que se construyen las bielas debe tener unas características especiales, entre las que sobresalen, además del acero estampado propio de las bielas de serie, las aleaciones de aluminio de alta resistencia y las de titanio, estas últimas utilizadas con preferencia en los motores de Fórmula o de alta competición.

Un punto intermedio en lo que respecta al material escogido para la construcción de las bielas es el representado por los aceros aleados con cromo-níquel-molibdeno, los cuales tienen una alta resistencia a la fatiga y son ideales para las bielas de los motores transformados para competición. Por supuesto, bielas de titanio son todavía más ventajosas porque permiten la rápida evacuación del calor almacenado en los pistones, lo que facilita la posibilidad de aumentar la relación de compresión sin riesgo de detonación, al estar la cabeza del pistón más fría que la de los motores que se valen de bielas de acero. Sin embargo, los precios de adquisición de estas bielas pueden ser prohibitivos para desembolsarlos en la preparación de un motor de serie, y todo ello suponiendo siempre que el reglamento de la competición permita el cambio de las bielas.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN POR PANDEO

Sea cual sea el material elegido, lo que se ha de tener en cuenta es la capacidad de las bielas para soportar los esfuerzos a que estará sometida una vez preparado el motor para competición. Uno de los mayores esfuerzos a que debe hacer frente una biela es a su resistencia a la flexión por pandeo, situación que se presenta más acusadamente en los motores de biela larga que en los motores de biela corta.

Con el fin de conseguir que un motor pueda girar a mayor número de r/m, los preparadores han ido insistiendo cada vez más en la construcción de motores supercuadrados, en los cuales el diámetro del pistón es superior a la carrera que desarrolla. Este sistema consigue una cámara de combustión con cabida para cuatro válvulas y la bujía; además, puede disponer de buenos efectos de turbulencia y, finalmente, permite el uso de una biela corta, con lo que los efectos de pandeo son mucho más reducidos.

Además, las bielas cortas son, lógicamente, más ligeras y ello permite también aumentar el número de r/m del motor con menos esfuerzos y atenuando los efectos nocivos creados por una excesiva inercia.

Los motores de serie con bielas largas no son lo más adecuados para competir con éxito con los motores de bielas cortas, a pesar de que éstas, al obligar al motor a tener una carrera más larga, también tengan sus ventajas, por ejemplo, fatigar menos las paredes del pistón con respecto a las del cilindro ya que ofrecen menor oblicuidad en sus giros y, por consiguiente, una menor presión lateral que las bielas cortas.

En general, todas las bielas trabajan, en los momentos de mayor carga, sometidas a esfuerzos de flexión por pandeo. Para el cálculo de su sección en función de su longitud y de la fuerza ejercida sobre ella, se considera el trabajo de las bielas como el de una columna y las fórmulas varían según se considere la columna empotrada o libre en sus extremos.

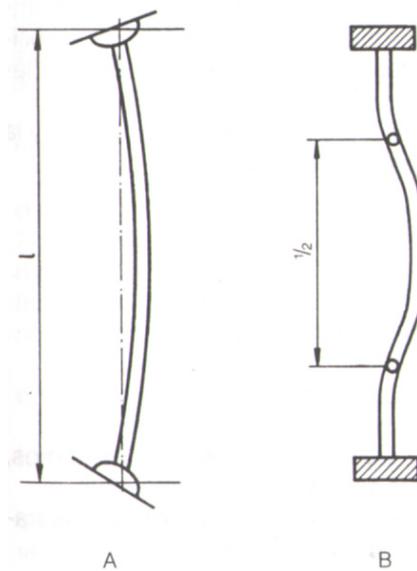
En el caso concreto de las bielas de motor de automoción, podemos considerarlas como un caso mixto entre las de columnas empotradas por sus extremos y las de extremos libres.

Pueden considerarse libres en sus extremos dentro del plano de oscilación y, en este sentido, el esfuerzo de flexión de pandeo actúa sobre toda la longitud del vástago de la biela. Peor en el sentido perpendicular al plano de oscilación, la biela puede considerarse como una columna de extremos empotrados, actuando el esfuerzo de flexión por pandeo solamente en la mitad central del vástago.

Debido a que el momento flector es proporcional al cuadrado de la longitud sobre la que actúa la fuerza de flexión por pandeo, este momento será cuatro veces mayor en el sentido del plano de oscilación que en el plano perpendicular al mismo. De ahí la forma de sección en H que se suele dar al vástago para que presente una mayor resistencia.

Se deduce pues que, para un mismo peso de la biela, es preferible emplear bielas de sección robusta y corta longitud, mejor preparadas para soportar los efectos de flexión por pandeo.

Así pues, son preferibles las bielas cortas, aun a riesgo de aumentar la presión lateral del pistón sobre la pared del cilindro, que puede compensarse con el desplazamiento del eje de giro.



Trabajos de mejoramiento de las bielas

Las bielas son unos elementos bastante delicados y deben ser manipulados con una cierta experiencia y conocimiento de causa.

El trabajo que comportan las bielas puede resumirse en los tres siguientes puntos:

- Reforzamiento de los pernos de fijación
- Aligeramiento del peso de la biela
- Equilibrado de bielas

Vamos a ver cada uno de estos puntos por separado, dedicando a cada uno de ellos la extensión que merece.

REFUERZO DE LOS BULONES DE BIELA

Mejorar la fijación de las tapas de las bielas con objeto de asegurarnos de una mayor fiabilidad en los bulones de biela, es un trabajo bastante sencillo. Únicamente consiste en aumentar los diámetros de los orificios destinados a alojar los pernos proporcionalmente al aumento del índice de compresión que se pretenda obtener en el nuevo motor.

Las fórmulas para determinar el diámetro de los nuevos bulones son las siguientes:

$$n\varnothing = S \times nR; s = \frac{\varnothing}{R}$$

En estas formulas los términos son los siguientes:

$n\emptyset$ = nuevo diámetro de los bulones modificados.

S = fracción de diámetro de los bulones primitivos por unidad de relación de compresión.

nR = nueva relación de compresión del motor mejorado.

\emptyset = diámetro de los bulones primitivos.

R = relación de compresión antes de la mejora.

Pongamos un ejemplo para aclarar la utilización correcta de esta fórmula.

Supongamos un motor al que hemos decidido aumentar la relación de compresión desde los 9:1 iniciales del motor de serie hasta los 11:1 que nos parece posible de acuerdo con los cálculos técnicos realizados. Los bulones de las bielas originales disponen de un diámetro de 10 mm.

Buscaremos el factor **S** que se deduce de la división entre el diámetro (\emptyset) y la relación de compresión antes de la mejora (**R**). Así, tenemos que:

$$S = \frac{\emptyset}{R} = 1,1111$$

Con este dato podemos pasar a realizar la segunda parte de la fórmula:

$$n\emptyset = 1,1111 \times 11 = 12,22 \text{ mm}$$

Así pues, la medida de 12,22 deberá ser el nuevo grosor de los bulones, que podremos redondear a 12 mm, lo que deberá ser suficiente.

Una vez calculado el diámetro de los nuevos bulones se puede efectuar el trabajo de taller sobre las cabezas de bielas y los orificios de los pernos.

En primer lugar se despoja la cabeza de biela sobre la que se va a trabajar de los semicojinetes. Luego, se monta la tapa de biela y se colocan los bulones como si fuéramos a montar definitivamente la biela, apretándolos con torquímetro a sus valores de apriete final.

La siguiente operación consiste en sujetar la cabeza de biela así preparada a una morsa banco, cuidando de que la tapa no pueda ser retirada al sacar uno de los bulones, es decir, que queden bien sujetas ambas partes de la biela en las garras de la mordaza. A continuación se retira el bulón de modo que se muestre a la vista el total del orificio entre las dos partes.

Ahora se procede a un escariado de este orificio, utilizando para esta operación escariadores fijos de corte helicoidal. La operación debe hacerse, dada la naturaleza de la herramienta empleada, con cortes progresivos de 0,25 mm hasta alcanzar una medida del diámetro interno que esté de acuerdo con el aumento de diámetro que hemos calculado.

Una vez terminada esta operación se coloca el perno sobremedida que previamente habremos seleccionado de acuerdo con nuestro cálculo. Lo apretaremos al valor de par adecuado, con torquímetro.

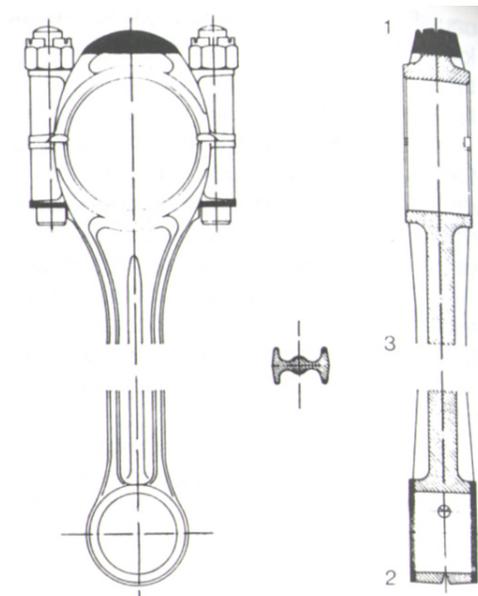
Una vez terminada una parte realizaremos la misma operación en la parte contraria. De esta forma habremos colocado los pernos sobremedida en ambos lados.

Alivianado del peso de la biela

Uno de los trabajos más delicados a la vez que más corrientes a la hora de actuar en las bielas para un motor de competición es, sin duda, el de rebajar el peso de las bielas, comprometiendo lo menos posible su resistencia. Aligerar las masas del tren alternativo es una condición indispensable para conseguir reducir las fuerzas de inercia que impiden al motor alcanzar regímenes de giro elevados, y en este trabajo la biela es uno de los principales elementos.

En los motores lentos (o relativamente lentos) que proceden de serie, se suele dotar la biela de una cantidad excesiva de material en la zona de la tapa de biela, para que, desde este punto, se ejerza una función de contrapeso que tienda a regularizar el giro del cigüeñal. Como que éste no es el caso de un motor de competición, tenemos una buena zona en la que podremos obtener resultados satisfactorios.

También en las partes laterales del pie de biela disponemos de una oportunidad para rebajar algo el peso de la biela.



Por último, otra zona importante de rebaje es la misma caña del cuerpo de la biela, cuya sección puede rebajarse ligeramente sin peligro.

Ahora bien: todas estas operaciones son bastante delicadas y han de realizarse con la máxima precisión pues una rotura en marcha de este elemento ocasiona un verdadero desastre mecánico en el motor. Por lo tanto, vamos a dar una serie de normas que será conveniente que se tengan en cuenta cuando se trabaje en las bielas para mejorar un motor.

Para llevar a cabo las operaciones de alivianado y pulido de las bielas se precisa disponer de una máquina rectificadora de mano, tal como las del tipo "rotaflex".

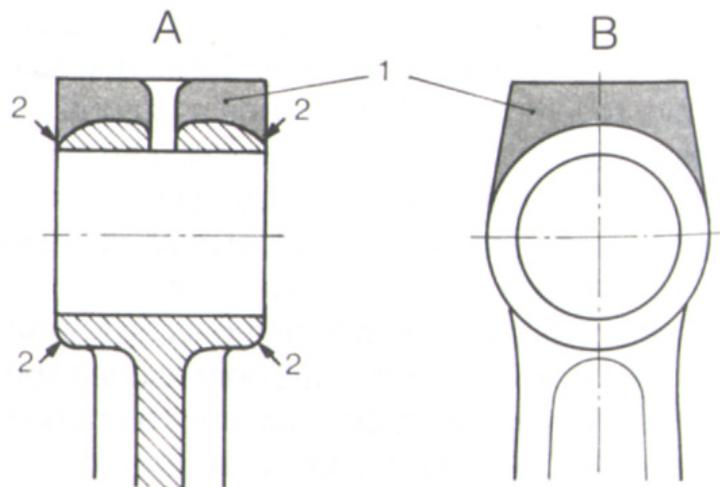
Estas máquinas nos permiten acceder a todos los rincones de las bielas y deben poder trabajar a un mínimo de 15.000 r/m. Para este trabajo han de utilizarse piedras de carburo de silicio.

Pie de biela

El rebaje del pie de biela lo consideramos en la siguiente figura. Las zonas tramadas son aquellas de las que se ha de sacar el material para conseguir el alivianado de esta parte de la biela.

La parte de contrapeso superior (1) puede ser eliminada por completo dejando que el esfuerzo que forma el pie de biela tenga una forma completamente redondeada.

Tal como se aprecia en (A), la zona alta del pie de biela puede también ser redondeada (2) para hacer desaparecer, en caso de que existan en la biela de serie, los cantos vivos de la parte exterior del pie de biela.



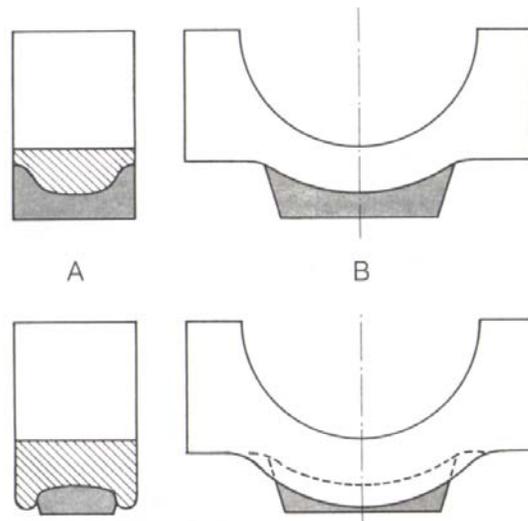
En esta zona, la profundidad máxima de rebajado será de 1,50 mm en la parte exterior del alojamiento del bulón, o eje del pistón, y será conveniente darle una forma oval, es decir, que proporcione una sección mayor en el centro de apoyo del perno que vaya disminuyendo hacia los extremos, tal como se muestra en (A).

En cuanto al rebaje de las caras laterales del pie, se efectuará hasta una profundidad máxima de 2 mm por cada flanco.

Tapa de biela

La zona de donde más sustancialmente vamos a perder peso será, sin duda, la parte de la cabeza de biela ya que en ella es donde los constructores de motores de serie suelen ubicar los mayores contrapesos.

La eliminación del contrapeso no compromete en nada la robustez de la biela, de modo que si el motor debe girar a bastante mayor número de vueltas por minuto, hemos de llevar a cabo este rebaje.



El criterio a seguir para efectuar este trabajo es el mostrado en la siguiente figura, según el tipo de construcción de la biela.

La parte tramada es la parte que es posible alivianar. El espesor depende del diseño de la biela y también, por supuesto, del tamaño de la misma pero, en general, puede sacarse varios milímetros sin que ello comporte problemas en la robustez y la fiabilidad de la biela.

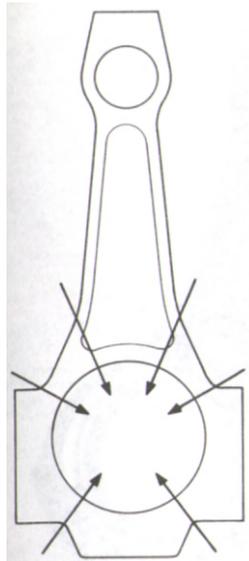
Es importante dejar redondeada la parte de la que se ha quitado el material pues la forma de puente es la que ofrece la garantía necesaria para conseguir la mayor resistencia de la tapa de biela.

Otro punto importante a tener en cuenta en la zona de la cabeza de biela es el material que queda en los alrededores del alojamiento de cada uno de los pernos.

El importante que el orificio se mantenga perfectamente perpendicular al esfuerzo de tracción que ejercerá, durante la marcha, el perno. Por lo tanto, hay que asegurarse del perfecto escuadrado de esta parte.

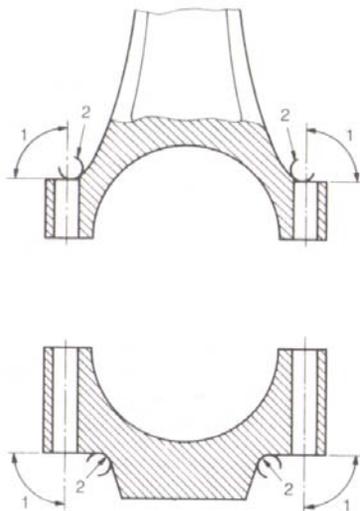
También es importante redondear las zonas de apoyo de la cabeza de los pernos o de su tuerca de sujeción, para evitar los cantos vivos a través de los cuales podría ser el inicio de una fisura que acabara con la rotura de la biela.

Los puntos más conflictivos en los que se detecta la mayor cantidad de las roturas de las bielas son los señalados con flechas en la figura siguiente. Éstas son zonas en donde se debilita el material cuando una biela es sometida a un esfuerzo muy superior al que le corresponde en un motor de serie. Por esta razón se ha de evitar en estas zonas la presencia de cantos vivos.



Rebaje en el cuerpo de la biela

Así como en las operaciones anteriores se puede trabajar con bastante tranquilidad en el caso del rebaje en el cuerpo de las bielas hay que actuar con sumo cuidado, pues es ésta una zona en la que se compromete la resistencia de la pieza en el caso de un rebaje que pueda resultar excesivo.



En buena lógica, para que el rebaje de esta parte pueda resultar significativo se debería someter la biela a un control de resistencia, con máquinas especiales, y a través de complicados cálculos determinar el exceso de material sobrante aun cuando el motor pueda estar sometido a un mayor e importante esfuerzo. Pero si se parte de un motor de serie, los resultados no nos iban a dejar gran margen porque los ingenieros que estudiaron la biela para el motor de serie seguro que, con el fin de optimizar los costes, adoptaron una biela muy ajustada a los esfuerzos que ha de soportar.

En la gran mayoría de los casos lo mejor que puede hacer el mecánico es pulir el cuerpo de la biela a base de eliminar de ella todas las rugosidades para asegurarse de que no va a producirse, a través de ellas, puntos donde sea fácil que se inicien grietas en el material, las cuales serían sin duda el origen de una fractura posterior de la biela.

La práctica ha demostrado que las fisuras que se producen en una biela están originados en el punto donde existe la cavidad de una rugosidad. De ahí la importancia de dejar esta superficie perfectamente lisa, o lo mejor que se pueda con las herramientas de que se disponga.

Además, el perfecto pulido de la superficie del cuerpo de la biela permite que el aceite de engrase que caiga sobre ella se escurra con mayor facilidad, lo que hace que el aceite active su recorrido. Aunque ésta no es la mayor ventaja del pulido, también contribuye a mejorar el funcionamiento del futuro motor.

Vistas ya las posibilidades de rebaje del material de las bielas, continuaremos con los trabajos para controlar el peso de todas las bielas y el equilibrado de las mismas.

Equilibrado de bielas

Para que el giro del motor sea lo más “redondo” posible es necesario que todos los órganos de su tren alternativo pesen lo mismo, regla que se refiere tanto a los pistones como a las bielas, bulones y contrapesos del cigüeñal.

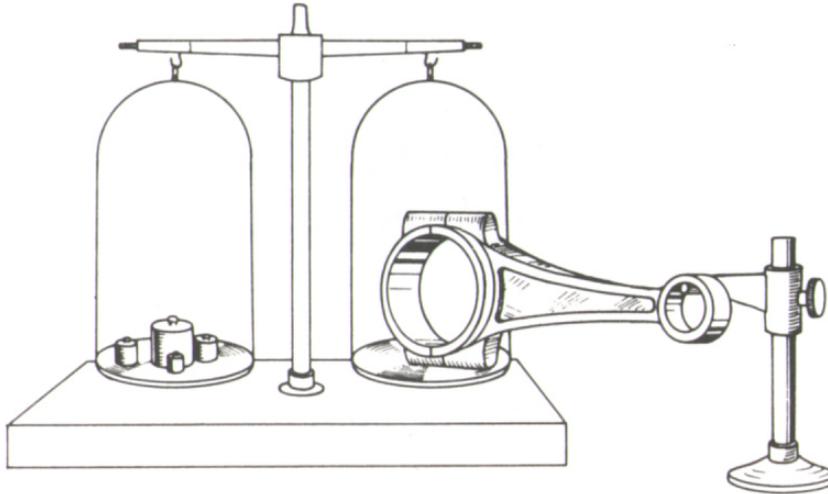
La biela tiene considerable responsabilidad en las vibraciones transversales al acelerar el motor a altos regímenes de giro; por ello hay que vigilar que, después de haber efectuado el rebaje de material, unas bielas pesen mucho o sensiblemente menos que otras.

Aunque existe una cierta tolerancia, y una diferencia de 2 gramos entre la biela más pesada y la menos pesada del equipo suele considerarse aceptable, es preferible que todas las bielas pesen exactamente lo mismo.

Además, el peso debe verificarse tanto en la zona de la cabeza como en la del pie de biela y es preciso hallar las diferencias en cada una de estas zonas para conseguir su buen equilibrado.

En la siguiente figura podemos ver una balanza que nos permite realizar este pesaje de un modo sencillo y efectivo. En el ejemplo nos hallamos frente al caso de verificar el peso de la cabeza de biela. Con la ayuda de un soporte fijo colocamos la biela entre el soporte que sostiene su pie y el platillo de medición, procurando que quede paralela al suelo.

Por medio de los necesarios pesos en el platillo contrario llegaremos al peso exacto de la cabeza de biela cuando los platillos se equilibren.



Una vez realizada esta operación, anotaremos en un papel el peso exacto que nos ha proporcionado la cabeza de biela y efectuaremos la misma operación con la biela siguiente y con todas las demás.

Conocidos ya los pesos de todas las cabezas de biela, daremos por bueno el de la biela menos pesada y rebajaremos el material de la zona baja de la tapa de biela de las demás cabezas hasta lograr el peso exacto de esta parte.

Invirtiendo la posición de las bielas y regulando el soporte efectuaremos la misma operación con los pies de biela y rebajaremos el material de su parte superior hasta lograr que todas las bielas pesen lo mismo.

Si en algunos casos, durante el aligeramiento del material de las bielas, se nos ha ido demasiado la mano con respecto a la cantidad de material rebajado en una biela determinada, podemos usar el siguiente truco: como que lo importante es que el conjunto del tren alternativo formado por el pistón y la biela tenga el mismo peso, si una biela pesa demasiado poco podemos compensar su falta de peso con respecto a las demás a base de montar en ella el pistón más pesado después de haber realizado en él los trabajos de alivianado. Lo importante es pues que el conjunto pistón/biela pese lo mismo en todos los cilindros.

A veces, podemos conseguir que todos los conjuntos pesen lo mismo sin necesidad de hacer rebajes adicionales en las bielas o en los pistones para acomodar sus pesos respectivos.

Por lo tanto, y en lo que respecta a los motores de competición, hemos de considerar que las bielas están, de origen, en perfecto estado, sin hallarse sometidas a deformaciones ni desalineaciones, lo cual comportaría un trabajo de alineación y aprovechamiento que nunca es aconsejable en un motor que se piensa dedicar exclusivamente a la competición.

COJINETES DE BANCADA Y BIELA

Otro aspecto muy importante en la parte mecánica, referido a un motor de serie que vamos a transformar para competición, es el estudio de los cojinetes de bancada del cigüeñal y los cojinetes de biela. Son los cojinetes también conocidos con el nombre de antifricción, mediante los cuales el cigüeñal puede girar sobre sí, a pesar de estar soportando por sus apoyos metálicos, y las cabezas de biela pueden, a su vez, girar en los muñones del cigüeñal.

Los cojinetes, al ser de un material liso, deben tener algunas muy particulares condiciones para evitar el desgaste, precisamente en una de las zonas más comprometidas de un motor, sometida a los mayores esfuerzos y tensiones.

Es importante que el mecánico que desee dedicarse a la preparación de motores tenga una buena formación técnica sobre el comportamiento y las propiedades que se exigen a este tipo de cojinetes.

Las propiedades exigibles a los cojinetes de este tipo son las siguientes:

Primera. Deben tener un material de tal naturaleza que, aun en el caso de que la película de aceite destinada a proteger las superficies sometidas a fricción se interrumpa (ya sea por avería de la bomba de aceite del circuito, o por falta de lubricante) el material del cojinete nunca raye la superficie del material del muñón del eje que soporta.

Segunda. Estos cojinetes deberán poder soportar temperaturas superiores a los 150°C sin que se aprecie sobre el material ablandamiento apreciable, para evitar desplazamientos plásticos del material antifricción, lo que limitaría su capacidad de soportar las cargas que sobre él se aplican.

Tercera. Deben ser lo suficientemente blandos para que en ellos se puedan incrustar las diminutas partículas sólidas contenidas en el aceite, sin dañar las superficies de los ejes que soportan.

Cuarta. Deben ser resistentes a la acción corrosiva de los ácidos contenidos en los aceites empleados.

Quinta. Finalmente, cabe exigirles también una relativa facilidad para ser montados en los ejes o soportes.

Las cualidades que acabamos de ver se cumplen con bastante eficacia en las aleaciones realizadas con materiales como el aluminio, el plomo y la plata junto con otros materiales que les acaban de proporcionar las cualidades necesarias para cumplir con las exigencias que acabamos de indicar.

El resultado de estas aleaciones recibe el nombre de metal antifricción; existe en el mercado una gama de varias posibilidades que se distingue en la práctica por su coloración y que son las siguientes:

- Cojinetes de metal blanco (antimonio, aluminio, plata, plomo, estaño)
- Cojinetes de metal rosado (cobre, estaño)
- Cojinetes de aluminio reticulado

Cojinetes de metal blanco

Las aleaciones principales que componen el metal blanco suelen hallarse dentro de alguna de las características que indica la siguiente tabla. Como puede apreciarse, las primeras son ricas en estaño, mientras las últimas son ricas en plomo. Veamos su composición.

Aleación de cojinetes de metal blanco en %

Estaño	Antimonio	Cobre	Plomo	Hierro	Arsénico	Bismuto
90	4,0 – 5,0	4,0	0,35	0,08	0,10	0,08
86	6,0 – 7,5	5,0	0,35	0,08	0,10	0,08
88,25	7,0 – 8,5	2,2	0,35	0,08	0,10	0,08
4,5	9,2 – 10,7	0,5	86,00	0,60		
9,2	14,0 – 16,0	0,5	76,00	0,60		
0,9	14,5 – 15,5	0,6	resto	1,00		

En esta tabla se dan los valores en tantos por ciento y las cantidades indicadas son orientativas. Los cojinetes de antifricción de metal blanco son utilizados para motores lentos y sometidos, en general, a poca carga. Su ventaja más destacable es que pueden aplicarse a materiales de giro (cigüeñal, árboles de levas...) que no sean demasiado duros, por ejemplo, contra materiales que no lleguen a alcanzar los 250 Brinell, y los mantiene en buenas condiciones de funcionamiento por la calidad de blandura que este tipo de material antifricción posee en los regímenes de giro y presiones moderados.

Sin embargo, su punto de fusión es bastante bajo, por lo que es necesario proveerle de buenas condiciones de refrigeración. Una pérdida por avería en el caudal o presión del aceite significa la casi inmediata fusión del metal y, con ello, la ausencia del cojinete y la rápida avería del motor.

Además, los cojinetes antifricción de metal blanco tampoco admiten grandes cargas en su superficie. Todas aquellas que superan los 140 kg/cm^2 comienzan a ser altamente peligrosas para la integridad del cojinete. Ciertamente estas cargas son inferiores a las que se producen en un motor STD con una relación de compresión de 9:1 y velocidades de giro entre las 5.000 y las 6.000 r/m.

COJINETES DE METAL ROSADO

En los motores de competición, de elevadas relaciones de compresión (directas o a través del turbocompresor), e incluso en los motores de serie para vehículos de gran sport, los motores están sometidos a unas presiones internas mucho más elevadas y los fabricantes recomiendan cojinetes en los cuales los principales componentes de la aleación son el plomo y el cobre. Ello da origen a los cojinetes denominados de cupro-plomo.

En algunos casos, la presencia de hierro con plomo da origen a la introducción del bronce y por ello también se les denomina cojinetes de bronce al plomo. En ambos casos, el cobre presta a la aleación una coloración rosácea, de modo que el nombre de cojinetes de metal rosa queda perfectamente justificado.

La característica positiva que presentan estos cojinetes, comparados con los de metal blanco que vimos anteriormente, es su mayor resistencia ante esfuerzos mucho mayores, los cuales pueden cifrarse en 250 kg/cm^2 .

Sin embargo, su mayor dureza motiva algunos aspectos negativos, ya que colaboran al desgaste de los ejes que soportan, por lo que se deben tomar especiales medidas a la hora de su aplicación. Una de ellas consiste en dotarlos en su superficie exterior de un revestimiento de metal antifricción a base de plomo-estaño o plomo-indio, con el fin de proteger los ejes durante el período de asentamiento del cojinete a la superficie del eje con el que ha de trabajar. Además, es necesario endurecer las superficies de los ejes en contacto con los cojinetes de metal rosado.

Por otra parte, las aleaciones de metal rosado son bastante frágiles, y durante el proceso de aleación es difícil lograr una buena homogeneidad, sobre todo cuando hay paredes de relativo gran espesor. Por esta razón lo habitual es utilizar tejuelos de acero que se recubren interiormente con una capa de metal rosa, de pequeño espesor, que es quien efectúa realmente la función de cojinete.

En líneas generales, los componentes principales de las aleaciones de este tipo de cojinetes suelen ser las que indicamos a continuación para cuatro posibles variantes de cojinetes de cobre-plomo.

COJINETES DE ALUMINIO

Con el fin de conseguir cojinetes antifricción que mejoren las condiciones de resistencia que presentan los de metal blanco y, por otra parte, no presenten la dureza de los de metal rosa, se ha acudido a estudiar aleaciones con base de aluminio.

Aleaciones usuales

Plomo	40 %	Plomo	55 %
Cobre	57,5 %	Cobre	43 %
Níquel	1,2 %	Níquel	2 %
Bismuto	1,2 %		
Cobre	70 %	Plomo	44,5 %
Plomo	28 %	Cobre	55 %
Estaño	2 %	Hierro	0,25%
		Aluminio	0,25%

Los límites de la resistencia a la fatiga establecidos para veinte millones de períodos corresponden, en este tipo de cojinetes, al orden de los 430 kg/cm².

La única exigencia de estos cojinetes es un abundante caudal de aceite convenientemente filtrado y refrigerado.

Como que la superficie de roce de este tipo de cojinete es bastante blanda, intermedia entre el metal blanco y el rosa, no se precisa que la superficie de roce de los ejes esté endurecida. Sin embargo, en los motores de competición se la endurece ligeramente por procedimientos de cromado duro, nitruración, etc. Veamos a continuación una tabla sobre la composición de las aleaciones con base de aluminio de que se construyen estos cojinetes.

En general, estas aleaciones requieren también un tratamiento térmico para conseguir de ellas las características mecánicas y de antifricción que las capacitan para su utilización como cojinetes de roce metal con metal. Como se verá, en la siguiente tabla solamente se dan los datos de dos tipos de aleaciones de este género, la **B 80 S** y la **750**, ambas bien conocidas por los especialistas.

Tipo B 80 S

Aluminio	91,5 %
Níquel	1,0 %
Estaño	6,5 %
Cobre	1,0 %

Tipo 750

Aluminio	89,5 %
Níquel	0,5 %
Silicio	2,5 %
Estaño	6,5 %
Cobre	1,0 %

ELECCIÓN DEL TIPO DE COJINETES ANTIFRICCIÓN

Un buen preparador de motores de competición debe estudiar las características de los esfuerzos a que va a ser sometida cada zona en la que deba instalarse un cojinete antifricción y considerar, de acuerdo con ello, el tipo de cojinete que podrá soportar con mayores garantías el tipo de esfuerzo al que va a estar sometido. Por lo tanto, en las preparaciones de motores de competición lo habitual es realizar un montaje mixto, de modo que determinados soportes lleven cojinetes de metal blanco, otros de metal rosa y otros, de aluminio.

La forma de proceder es la siguiente: se montará semicasquillos de metal rosa con recubrimientos de plomo-indio en las zonas de los cojinetes considerados como de ataque, es decir, aquellos que están sometidos a los máximos esfuerzos de choque y compresión. Por otra parte, en los semicasquillos contrarios, es decir, de la zona opuesta, se montarán cojinetes de metal blanco para optimizar el comportamiento de las superficies al deslizamiento.

Pongamos un ejemplo en el caso de una cabeza de biela. En esta parte de la biela la zona de ataque es aquella que va unida al vástago y es, precisamente, la que recibe los fuertes empujes resultantes de la explosión. Por el contrario, la zona de la tapa de biela solamente verá aumentado su esfuerzo crítico al actuar en el tiempo de compresión, situación evidentemente mucho menos comprometida que el tiempo siguiente de la explosión.

Así, pues, la solución sería aplicar cojinetes de metal rosa en la parte alta de la cabeza de biela y de metal blanco en la parte baja o, de la tapa de biela.

En los cojinetes de apoyo del cigüeñal esta situación se invierte: el semicojinete que va a soportar los mayores esfuerzos va a ser el que sirve de apoyo al cigüeñal, es decir, el que ocupa la parte inferior del mismo, el que lleva la tapa postiza, mientras que los esfuerzos de fricción serán solidarios de la tapa que resulta, a su vez, solidaria del bloque.

En según que condiciones puede resultar muy favorable hacer entrar en juego los cojinetes de aleaciones antifricción de base de aluminio, cuyas ventajas ya han sido expuestas, pues el objetivo de toda esta combinación de semicojinetes debe estar de acuerdo con las presiones que se prevea va a tener que soportar el motor que estamos preparando para competición.

En lo que respecta a los cojinetes de los pies de biela y también a los de los árboles de levas, la práctica ha puesto de manifiesto que el uso de los cojinetes de aluminio, en sus dos mitades, ofrece los mejores resultados.

MONTAJE DE LOS COJINETES

Todo mecánico conoce sobradamente la forma en que han de ser montados los cojinetes antifricción de un motor. Solamente vamos a dar una serie de consejos que deberán unirse a esos conocimientos prácticos.

Primero. Medir cuidadosamente los muñones y los cuellos del cigüeñal, así como los apoyos de los árboles de levas, y comparemos los cojinetes viejos que de origen equipaban al motor con los nuevos que ahora vamos a instalar, para comprobar si coinciden los taladros destinados a la lubricación, los fijadores de posicionamiento y todos los demás pormenores.

Bajo ningún concepto se instalarán cojinetes que discrepen de sus antecesores en algún detalle sin antes proceder a la modificación de estos y solucionar todos los problemas de coincidencia de orificios. Únicamente en aquellos casos en los que la naturaleza de la transformación del motor haya afectado seriamente la disposición normal del mismo (tal como sería el haber trasladado el árbol de levas de posición, o practicado en la línea de la bancada un nuevo circuito de engrase, etc.) habremos de instalar cojinetes con diferencias sobre los de origen, pero teniendo siempre en cuenta las características y cotas.

Segundo. Los cojinetes de las cabezas de las bielas se mandrinarán de tal forma que los ejes geométricos del casquillo del pie de biela y el del cojinete de cabeza sean paralelos, debiendo quedar la biela perfectamente escuadrada con respecto al muñón del cigüeñal cuando se monte sobre éste.

Tercero. Antes de cualquier operación de escariado de los cojinetes de cabeza o pie de biela, verificaremos y corregiremos los posibles defectos de alineación y escuadrado de las bielas, siguiendo para ello los procedimientos habituales en el taller, tales como el empleo de un utillaje para el escuadrado u otro cualquiera de los procedimientos tradicionales. El escuadrado es tan importante que incluso deberemos comprobarlo una vez alojados los cojinetes y mandrinados.

Cuarto. Suponiendo que todos los alojamientos de los cojinetes y los muñones sean correctos dentro de las tolerancias establecidas, se limpiarán cuidadosamente todas las superficies que deban servir de asiento a los cojinetes, e incluso estos mismos, antes de proceder a su instalación.

Cualquier cuerpo extraño, que ocasionalmente pudiera adherirse entre las dos superficies de contacto, podría ocasionar, en los sucesivos, graves problemas para correcto funcionamiento del motor.

Quinto. Hay que tener la completa seguridad de que los cojinetes estén bien alojados y de que el tope que impide el movimiento de giro en el alojamiento esté perfectamente situado en su ranura. De estarlo, debe existir una pequeña holgura entre el tope y la ranura, al efecto de que, al apretar la segunda mitad del cojinete, no se produzcan deformaciones. En el caso de que no fuere así, se procederá a limar la escotadura hasta obtener el huelgo adecuado.

Sexto. Los semicasquillos colocados en sus respectivos alojamientos no deben quedar al ras con la pieza destinada a soportarlos, sino que deben sobresalir de sus planos en 0,05 mm, a fin de que al apretar las dos mitades se genere una expansión que los inmovilice. Se cuidará, sin embargo, de que no sobresalgan excesivamente, ya que ello daría origen a que se deformara el cojinete agarrotándose sobre su eje.

Séptimo. Cuando se instalen las tapas de biela y bancadas hay que tener especial atención en no colocarlas en diferente lugar. Para ello deberá procederse, antes de desmontar el motor, a marcar las bielas y tapas, según el número del cilindro que ocupan. Si se instalasen las tapas en orden equivocado o incluso al revés de su posición normal de trabajo, se perjudicaría el cojinete en forma inevitable.

Octavo. Las tapas de las bielas y las de los cojinetes de la bancada deben ser apretadas ligeramente por mediación de sus respectivos pernos, dando después un pequeño golpe en el centro de ellas para asentarlas debidamente antes de proceder a apretarlas a su correspondiente par máximo de apriete.

Noveno. Para proceder al control de la holgura correcta de montaje se emplearán relojes comparadores y micrómetros, actuando de la siguiente forma:

a) Se apretarán todas las tapas de la línea de la bancada a su tensión correcta, con los cojinetes montados y el cigüeñal fuera del bloque. Se coloca el comparador o el micrómetro de interiores en cada uno de los cojinetes, verificando su diámetro interno. Por otra parte, se medirán, con la ayuda de un micrómetro, los cuellos del cigüeñal. La diferencia entre ambas mediciones nos dará la holgura existente. De idéntica forma se procederá con las cabezas de biela y sus correspondientes muñequillas y muñones.

b) Aunque la utilización del comparador o, en su defecto, del micrómetro, es la más recomendable, también puede hacerse este trabajo con la ayuda con la sonda calibradas de acero.

Se instala la tapeta con su correspondiente semicojinete y se aprieta al par indicado. Con la galga así posicionada debe ser posible voltear el cigüeñal a mano.

Si el cigüeñal quedara trabado se debería desmontar el conjunto y ajustar los semicojinetes a mano, con la ayuda de un rasquete, con la retirada de muy poco material.

Luego se vuelve a instalar en las mismas condiciones anteriores y se comprueba ahora si efectivamente el cigüeñal gira de forma suave y uniforme.

Décimo. Cuando se trate de apretar los pernos de las tapas es conveniente, para conseguir un apriete lo más correcto posible, actuar de la siguiente forma:

En los motores previstos de cuatro cilindros en línea, que disponen de cinco apoyos en el cigüeñal, el orden de apriete deberá ser el siguiente:

Primero: tapa 1, Segundo: tapa 5, Tercero: tapa 2, Cuarto: tapa 4, Quinto: tapa 3.

En los motores de seis cilindros, por el contrario, es más aconsejable comenzar por la tapa central, pasar luego a la delantera, luego a la trasera y finalmente a las tapas intermedias.

Para completar la información ofrecemos una serie de huelgos o juegos recomendados para los cojinetes de bancada y biela de los motores con aplicaciones en diferentes tipos de cojinetes.

Veamos estos datos en la siguiente tabla:

Material del cojinete	Luz de Bancada	Luz de Biela
Metal blanco	0,001 mm por mm de Ø hasta 50 mm. Después de 50 mm 0,0005 mm por mm de Ø.	0,0005 mm por mm de diámetro
Metal rosa	0,0015 mm por mm de Ø hasta 50 mm. Después 0,002 mm por mm de diámetro.	
Aleaciones de aluminio	0,003 mm por mm de Ø hasta 50 mm. Después 0,002 mm por mm de diámetro	

Undécimo. Cuando el motor posea axiales independientes, se instalará la mitad superior cuando el cigüeñal esté colocado en su posición, introduciéndola en la ranura circular y haciendo que la capa de antifricción quede frente a la zona de empuje del cigüeñal (para el lado del cigüeñal).

La mitad inferior se instalará conjuntamente con la tapa inferior correspondiente.

Duodécimo. Antes de llevar a cabo la instalación definitiva de los cojinetes de la línea de bancada se purgarán los conductos de lubricación con el objeto de que durante las primeras vueltas que dé el motor no trabajen en seco y dispongan ya de aceite antes del arranque. También puede lubricarse el cojinete con una delgada capa de disulfuro de molibdeno (Molikote).

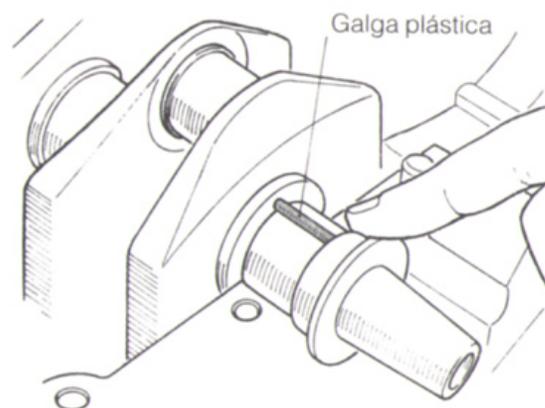
Décimo tercero. Cuando se proceda a la instalación de cojinetes del tipo denominado de “pared delgada” (de 0,02 a 0,07 mm de sobrecapa de metal antifricción), deberá comprobarse que la fijación o apriete del cojinete en su alojamiento sea correcta (tiraje), puesto que, si por cualquier circunstancia los cojinetes quedaran flojos, girarían en su alojamiento, estropeándose las superficies de respaldo y del propio alojamiento.

Si, por el contrario, el apriete de los cojinetes (mucho tiraje) fuera excesivo, éstos sufrirían deformación y ocasionarían puntos de rozamiento sobre las superficies de contacto.

Para corregir esta falta de redondez no puede procederse a ninguna operación de mandrinado ni rasqueteado ya que por poseer tan escaso espesor de material blando enseguida se pondría al descubierto el metal base del antifricción.

Para conocer el huelgo de asentamiento de un cojinete de este tipo con su eje lo mejor es acudir al sistema de Plastigage. Este sistema, bastante conocido en algunos talleres, aún no es utilizado en otros, de modo que vamos a explicarlo aquí.

El sistema de galgas plásticas, puesto a la venta por la casa Perfec Circle, recibe el nombre de “Plastigage” y consiste en lo siguiente: Una vez colocado el cigüeñal (o el eje de levas o la cabeza de biela) en sus apoyos de bancada, de la misma forma que se muestra en la siguiente figura, y después de haber limpiado cuidadosamente el cuello para que no queden restos de aceite que podrían falsear la medición, se coloca una tira de galga plástica a todo lo largo del cuello del cigüeñal, como se indica en la figura.



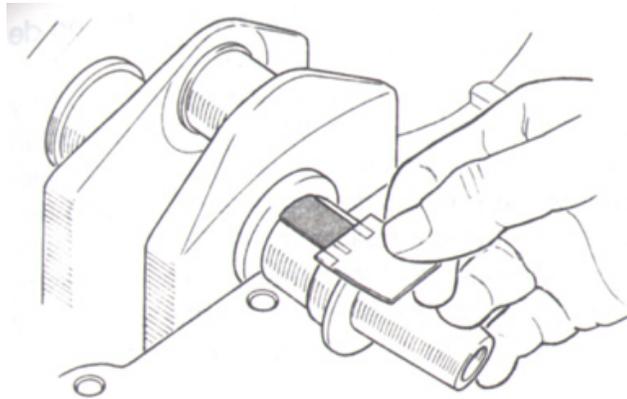
Una vez colocada la galga se instala encima la bancada con sus bulones correspondientes y se aprietan como si de su montaje definitivo se tratara, es decir, utilizando una llave dinamométrica y el par de apriete correcto y definitivo.

Con esta operación la galga plástica recibe un aplastamiento a través del cual conoceremos exactamente el huelgo o luz que existe entre los dos semicojinetes y el cuello. Para ello es necesario desmontar los bulones de la tapa y retirarlo procurando no dañar la galga plástica.

Al sacar la tapa veremos que la galga plástica está ahora más o menos aplastada, de modo que el plástico de la galga se ha ensanchado. Sin tocarla pasaremos a comprobar su aplastamiento con una carta de verificación, que se adjunta en el equipo "Plastigage".

La anchura obtenida por la galga plástica que corresponda a la señalada en la carta nos dará exactamente el valor del huelgo que este muñón del cigüeñal presenta.

En la figura siguiente se indica el momento en que se está efectuando esta comprobación por medio de la carta de verificación. De esta forma puede medirse con bastante exactitud valores incluso de varias pocas milésimas de milímetro.



Para la correcta y adecuada utilización de las galgas plásticas hay que tener presente las siguientes precauciones:

Primera. El cojinete debe hallarse escrupulosamente limpio y bien seco de todo resto de aceite, con el fin de no alterar los resultados de la medición, en la que se controlan, como acabamos de indicar, milésimas de milímetro.

Segunda. En ningún caso deberá moverse el eje durante la medición. Si se efectúa una medición en un cigüeñal hay que asegurarse de que, durante la operación de apriete del sombrerete, el eje permanece completamente inmóvil.

Tercera. Los puntos correctos de colocación de la galga plástica deben ser siempre los equivalentes al punto muerto superior o al punto muerto inferior, pero no a otras zonas.

Cuarta. El sombrerete debe ajustarse siempre por el simple y exclusivo apretado de sus pernos, operación que ha de realizarse sin golpes efectuados con martillos de cabeza blanda ni otros sistemas más o menos violentos, aun cuando se realicen con suma delicadeza, ya que ello desvirtuaría los resultados de la medición.

Quinta. La operación de medición indicada debe repetirse para cada uno de los cojinetes, pues es normal que existan variantes entre cojinetes vecinos.

La importancia de controlar y ajustar el huelgo entre los cojinetes entre los cojinetes antifricción y los cuellos del eje es máxima, con objeto de asegurarse la fiabilidad del motor. El huelgo resultante deberá, durante el funcionamiento del motor, llenarse de una película de aceite: si el huelgo resulta excesivo, la presión de aceite en el circuito decrece y la parte alta del motor no queda correctamente alimentada. Por el contrario, si el huelgo resulta demasiado estrecho, la película de aceite resulta excesivamente fina y la presión de aceite será excesiva, de modo que el aceite permanecerá muy poco tiempo entre cojinete y cuello y el engrase será, en definitiva, incorrecto y peligrosamente distribuido.

MODIFICACIONES EN LOS COJINETES

Cuando se efectúe un mejoramiento en un motor de serie, la mejor solución es instalar cojinetes antifricción de características idénticas a las que poseían los que equipaban el motor de origen. Pero en el caso de tener que modificar las muñequillas de los cigüeñales para conseguir aumentar la superficie de carga nos veremos precisados a emplear cojinetes de mayor extensión.

Si efectuamos modificaciones de este tipo nos encontraremos con que no es posible aumentar la anchura de las cabezas de las bielas (salvo que sustituyamos las bielas por otras nuevas especiales con las medidas muy particulares que ahora vamos a necesitar). Si no se da este caso, podemos optar por equipar las cabezas de las bielas con semicasquillos de mayor anchura, pero atendiendo siempre a que éstos no sobresalgan del apoyo de la cabeza de biela.

Se verá enseguida, en esta explicación, una contradicción, pues si los cojinetes son más anchos será inevitable que sobresalgan. Pero existe una posibilidad práctica de alargar la superficie de roce de éstos.

Generalmente, los cojinetes de cabeza de biela de los modernos motores son del tipo llamado liso, es decir, de aquellos similares a lo que nos muestra la figura a, en los que la distancia (L) se corresponde con la misma distancia para el grosor de la cabeza de biela, de modo que los bordes de ambas piezas coinciden sin sobresalir.

Ahora bien; cuando nos veamos obligados a aumentar la superficie de choque deberemos cambiar de tipo de cojinete, empleando en estos casos semicasquillos provistos de valona, del tipo del representado en la figura b en los cuales apreciamos que la distancia (L) que determina el grosor de la cabeza de biela es menor que la longitud total del cojinete, incluidas sus valones.

Con este procedimiento tenemos asegurada la fijación del cojinete con una mayor superficie de adaptación al cuello del cigüeñal que se haya agrandado, y una perfecta sujeción de aquel a la biela gracias a la disposición de las valonas.

Estas valonas deben ser de muy poco grosor, pues el esfuerzo del pistón durante el tiempo de explosión de descarga violentamente, sobre todo el cojinete y debe encontrar el apoyo directo del material de la cabeza de biela; no obstante, resulta una solución para adaptarse al cuello ensanchado del cigüeñal de manera barata y efectiva.

Además, la ventaja adicional que proporcionan los semicojinetes con valona consiste en controlar el empuje lateral de las bielas, disminuyendo en este sentido el empuje de los pistones contra las paredes del cilindro.

La adaptación de estos semicojinetes es un trabajo de ajuste de taller que debe ser realizado con el mayor cuidado para garantizar el engrase de toda la zona, tal como es normal en estos casos de adaptación de semicojinetes de antifricción a los motores.



Figura a

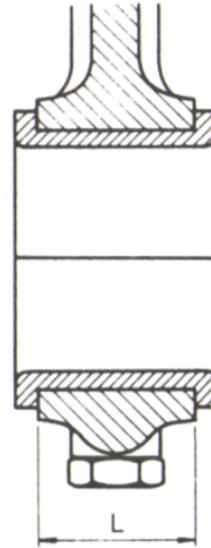


Figura b

LOS PISTONES Y SUS AROS

En la realización de todo mejoramiento de un motor, los trabajos que se han de efectuar en los pistones guardan una especial relevancia con respecto a todas las mejoras de otros órganos del motor. No en vano el pistón es quizás el elemento más significativo de esta compleja máquina alternativa.

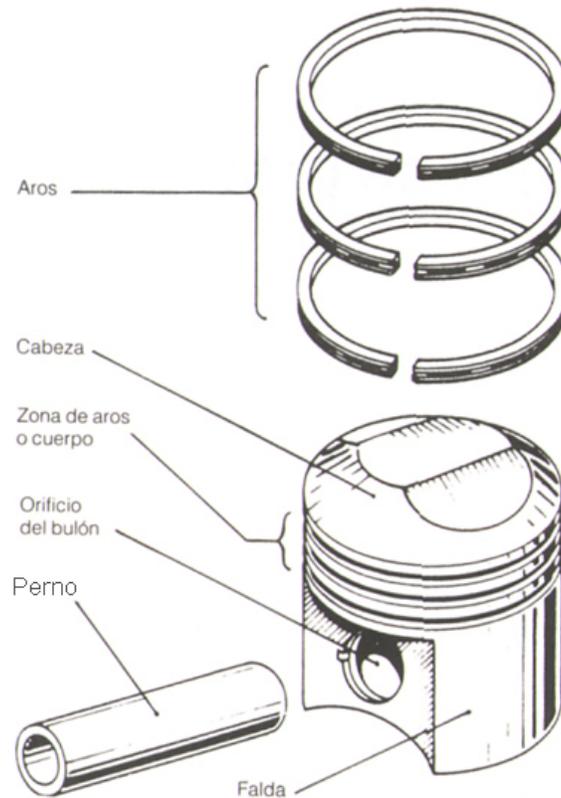
El pistón cumple a la vez con tres funciones de máxima importancia. De una parte, hace la función de pared móvil de cilindro; de otra, transmite a la biela la fuerza generada por la expansión de los gases en el cámara de combustión; y de otra, ha de ser capaz de impedir que los gases quemados pasen al interior del motor.

El pistón es, por consiguiente, un elemento que si bien no es complicado en cuanto al diseño de su forma, resulta muy complejo y debe contar con una serie de características muy especiales que a veces incluso son contradictorias entre sí.

Así, por ejemplo, para resistir las altas presiones que se originan sobre la zona superior, o cabeza del pistón, en los momentos de la compresión de la mezcla y en los inmediatamente posteriores a la explosión, es necesario dar a esta parte de los pistones un espesor de cierta entidad, por medio del cual la pieza sea capaz de resistir las cargas elevadas a que va a ser sometida sin que se produzca su perforación o rotura. Esta condición no tendría problema si no fuera porque, el propio peso del pistón hace que aumenten los valores de la inercia durante su movimiento alternativo. Como quiera que las altas velocidades de régimen son una necesidad primordial para los motores de competición que, al estar sometidos a un reglamento, nunca pueden acudir a conseguir más potencia a base de un aumento de su cilindrada, se hace necesario que el peso de todos los elementos que constituyen el tren alternativo, y especialmente el de los pistones, deba ser reducido en la mayor medida posible, sin perder de vista los límites de seguridad. Todo ello con objeto de que los fenómenos de inercia sean poco acusados y no perturben el funcionamiento del cigüeñal con vibraciones de carácter torsional.

El pistón o émbolo es, en este aspecto, un elemento de la mayor importancia. En la siguiente figura, tenemos un dibujo que nos muestra un pistón junto con sus aros y su bulón o eje de pistón.

Un buen mecánico que se especialice en la preparación de motores debe conocer la función de cada una de las partes de un pistón para tomar las debidas precauciones en el caso de trabajar en esta pieza. Vamos por ello a destacar varias condiciones desfavorables que tienen que soportar algunas de las partes constituyentes de los pistones.



La temperatura y la dilatación

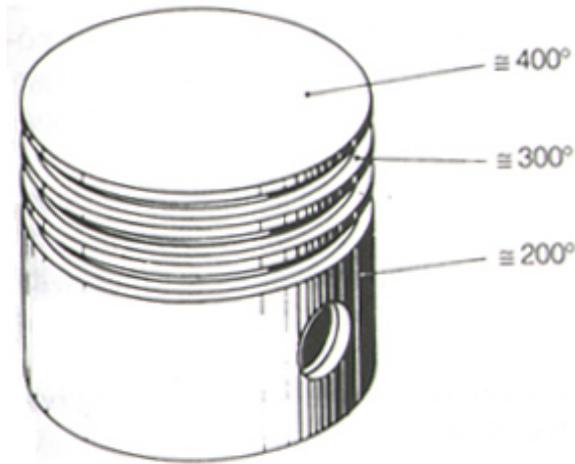
El pistón es el encargado de conseguir una cámara variable, de compresión y de explosión, que se mantenga dentro de la máxima estanqueidad a pesar de su desplazamiento.

El problema de la estanqueidad del pistón con respecto a las paredes del cilindro por el que se desplaza comporta una serie de problemas.

En primer lugar hemos de contar con los valores de la dilatación de los metales con respecto a la temperatura que soportan. En este sentido, si consideramos que el pistón recibe directamente en su cabeza la alta temperatura procedente de la combustión ya lo podemos catalogar como uno de los elementos más calientes del motor. Pero el pistón se mueve dentro de una pared —el cilindro— que resulta mucho más fría porque, a través del bloque, recibe una enérgica refrigeración a través del líquido de refrigeración, de modo que la temperatura del pistón, a pesar de que la cede a la pared del cilindro, es muy elevada y diferente entre ambas piezas que se encuentran en contacto. Así, en el caso de hacer el pistón muy ajustado al cilindro podrá realizar sin dificultades su trabajo de lograr la máxima estanqueidad, pero al dilatarse por efectos de la temperatura, llegará a tener mayor diámetro que el cilindro y, en consecuencia, se agarrotará.

Por el contrario, si el pistón dispone de un diámetro demasiado inferior al del cilindro, no se agarrotará pero su estanqueidad quedará muy perjudicada.

En este terreno de la dilatación existe también el inconveniente de que la temperatura que debe soportar un pistón no es uniforme en toda su extensión. En la figura, podemos ver una relación de temperaturas medias que soporta un pistón dentro de un hipotético motor.



Para conseguir la estanqueidad, los diseñadores persiguen que el pistón sea exactamente del mismo diámetro (salvo una pequeña tolerancia) que el cilindro, y como que las temperaturas a soportar son diferentes y también lo son los efectos de la dilatación, las medidas de los diámetros de un pistón son diferentes desde la cabeza hasta la falda. Así, mirado estrictamente, un pistón no es una pieza perfectamente cilíndrica, como aparenta, sino dotada de diferentes diámetros de acuerdo con la temperatura a que se le supone va a trabajar en cada zona de su cuerpo.

Esta condición de los pistones es de la mayor importancia para el mecánico, dado que uno de los trabajos más importantes en el pistón es el aligeramiento del mismo y ello se consigue de forma que el material sea rebajado, es decir, eliminado.

La cuestión de las temperaturas de funcionamiento consideradas como críticas para las diferentes zonas de los pistones son, sin embargo, muy complejas, ya que dependen de múltiples factores, entre los que se encuentran el valor de la relación de compresión, el número de aros o segmentos que posea el pistón, la duración del tiempo de cruce del diagrama de la distribución, el tipo de material de que esté construido el pistón y otros factores menos relevantes pero que también intervienen de un modo activo en esta característica.

Pero cuando un motor se prepara para competir, una de las mejoras más necesarias y utilizadas consiste en aumentar la relación de compresión, lo que origina de inmediato un aumento de la temperatura de funcionamiento. Por consiguiente, el pistón cambia sus condiciones de trabajo, lo que hay que tener en cuenta para estar de acuerdo con los nuevos valores de dilatación que van a producirse.

Para desprenderse del calor acumulado en el material del pistón, éste dispone, en primer lugar, de los aros, que se encuentran siempre en contacto directo con las paredes del cilindro, de modo que el número de aros de que dispone el pistón es un factor muy importante para asegurar su refrigeración.

También el tiempo denominado de “cruce de válvulas”, según su valor, puede atender energicamente a la refrigeración de las superficies de la cámara de combustión: cuanto mayor sea el número de grados de giro del cigüeñal en los que las válvulas permanezcan simultáneamente abiertas, mayor será la circulación de gases frescos por el interior de la cámara y, por consiguiente, mayor la cantidad de calor robada a la parte alta de la cabeza del pistón.

En lo que respecta a la naturaleza del material con el que se ha construido el pistón, cabe decir que afecta también considerablemente a la forma de disipar el calor que en él se va acumulando. Se han estudiado aleaciones capaces de deshacerse del calor con la mayor rapidez posible; las aleaciones a base de aluminio son, en este sentido, las más utilizadas.

Para los motores de serie esta solución suele ser la más corriente, pero para los motores de competición hay que acudir al forjado de los pistones para conseguir dotarlos de la mayor resistencia, de modo que las fibras del material se mantengan en las condiciones más favorables para dotarlos de la mayor resistencia.

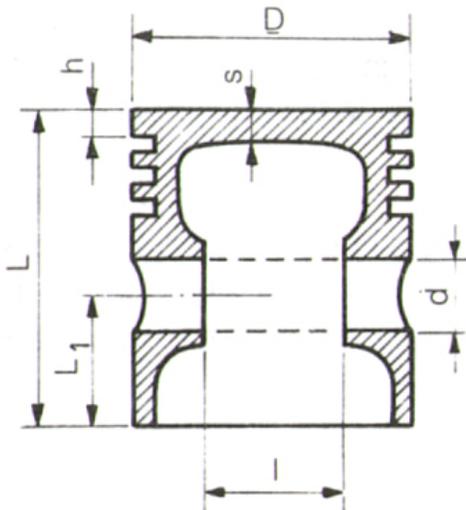
El sistema de construcción por forjado se realiza sometiendo el material a grandes presiones en una prensa que da forma al aluminio desde su estado semilíquido. Con este procedimiento se consigue que el material sea más homogéneo y de una estructura más densa y compacta, y se puede establecer que estos pistones serán hasta un 70% más resistentes que los de fundición, cuya construcción se lleva a cabo, como es sabido, por la caída, a la fuerza de la gravedad, del material fundido en una coquilla o molde.

Los pistones forjados no siempre pueden obtenerse con facilidad y, de hacerlo, su precio es muy superior al de los pistones de serie, como corresponde a un trabajo artesano. Su elección por parte del preparador de motores depende del presupuesto con el que se cuente para la preparación del autor.

Dimensiones de los pistones

En la siguiente tabla vemos una serie de dimensiones que constituyen la armónica distribución de las medidas en los pistones diseñados para los vehículos comerciales de serie. Como se observa en la citada tabla, todas las cifras están relacionadas con el diámetro del pistón.

En el caso de intervenir en los pistones para un motor preparado, se recurre generalmente a trucos o estratagemas para conseguir que un pistón disminuya de peso y aumente su refrigeración sin que pierda resistencia ni efectividad, o hasta incluso que mejore sus condiciones de rendimiento mecánico y térmico. En la figura siguiente se ve el dibujo de un pistón en el que se han indicado todas las cotas a que se hace referencia en la siguiente tabla.



Cota Relación con respecto al diámetro

L	De 1,1 a 1,5 x D
L1	De 0,55 a 0,7 x D
s	De 0,1 a 0,2 x D
h	De 0,06 a 0,1 x D
d	De 0,25 a 0,3 x D
l	De 0,32 a 0,44 x D

Trabajos prácticos de reducción del peso de los pistones

Supuesta una misma cilindrada, para aumentar la potencia es necesario aumentar el régimen de giro de un motor y para ello es preciso un aligerado de las masas que están en constante movimiento para cumplir las exigencias del ciclo. Una de las masas más comprometidas es, precisamente, el pistón.

Para conseguir rebajar el peso de unos pistones que, sin embargo, no pueden debilitarse demasiado, pues van a estar sometidos a mayores presiones y mayores temperaturas, puede seguirse varios procedimientos, que serán los siguientes:

- Utilización de pistones forjados
- Recortes de la falda de los pistones
- Recortes internos de la cabeza

Utilización de pistones forjados

El primero de los procedimientos para rebajar peso consiste en conseguir pistones forjados, los cuales pueden sustituir a los de fundición de serie. De esta manera, en el supuesto de que el pistón no esté específicamente preparado para el mismo modelo de motor de serie que vamos a mejorar, podemos realizar un rebajado de masas en aquellos puntos en los que el pistón tenga demasiado peso. Tal será el caso de las paredes internas del pistón y buena parte de la zona interior de la cabeza.

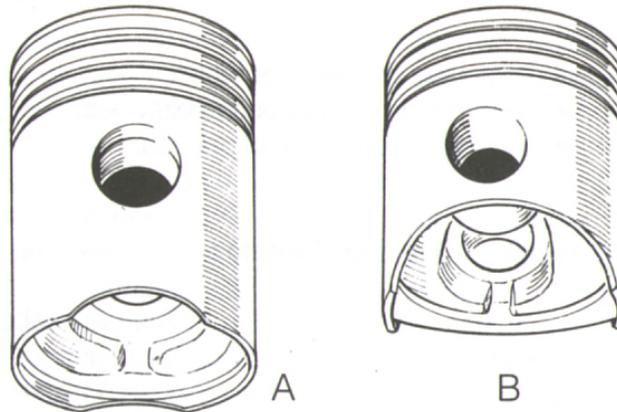
Conseguir una reducción de 90 gramos en un pistón de 80 mm de diámetro, en un motor de ocho cilindros en V, puede significar una pérdida general de peso, para el tren alternativo, de 720 gramos, lo que es muy importante y digno de tenerse en cuenta. Sin embargo este sistema solamente se puede llevar a cabo con un presupuesto bastante importante.

Recortes de la falda de los pistones

Otro procedimiento, utilizado por la mayoría de los preparadores, consiste en la reducción del material de la zona de la falda, con lo que, además de una reducción de peso, se consigue una disminución de la superficie de fricción con las paredes del cilindro.

Un ejemplo de este sistema lo tenemos en la figura siguiente, en la que el pistón de serie (A) ha sido recortado por la parte de su falda, quedando como se aprecia en (B).

Este trabajo se ha efectuado, sencillamente, cortando la falda del pistón en redondo, a una distancia de unos 4 a 5 mm por debajo de los muñones del alojamiento del eje de pistón. Este trabajo puede ser iniciado con un torno y acabado a mano.



El ejemplo mostrado en la figura puede superarse. El pistón B quedaría, una vez montado en el cilindro, deficientemente guiado a través de las paredes del cilindro y actuaría el borde superior del cuello de los aros en forma de cuña en los momentos de mayor oblicuidad de la biela. Este importante defecto puede ocasionar, además del campaneo, un ahusamiento que deformaría las paredes del cilindro después de haber recorrido el vehículo unos cuantos cientos de kilómetros. Un sistema, pues, nada aconsejable.

La forma más conveniente de proceder a la modificación de las faldas de los pistones para obtener de ellos un rendimiento verdaderamente satisfactorio, consiste en darles, en las zonas de ataque, guía suficiente para que se desplacen correctamente por el interior del cilindro y no cabeceen.

De acuerdo con la última tabla que hemos visto, la longitud de la falda puede ser, como mínimo, 1,1 veces el diámetro del pistón. Mantengamos esta cota pero recortemos el material de las zonas laterales no sometidas a empujes, con lo que se obtiene una estructura de pistón, en forma de émbolo-patín.

Todas las operaciones de este tipo de recortado deberán empezar por la confección previa de una plantilla, que podemos hacer con cartulina, en la que dibujaremos una zona correspondiente a la forma y cantidad de material que deseamos cortar. Una vez cortado el primer pistón la plantilla deberá servirnos para hacer exactamente la misma operación en los restantes pistones, de modo que todos tengan la misma forma cuando el trabajo se dé por finalizado.

Durante el trabajo de recortado de las faldas (como en todo trabajo de aligeramiento de estas masas) se deberá controlar con sumo cuidado el peso del pistón resultante con frecuentes pesadas, sobre todo cuando nos acercamos a la forma final definitiva. Se necesitará una balanza de precisión, capaz de detectar, como mínimo, diferencias de medio gramo.

Cuando todos los pistones estén trabajados se procurará que todos pesen exactamente lo mismo que el menos pesado. A este respecto, una diferencia final superior a los 2 gramos entre el más pesado y el más ligero puede tolerarse, pero el trabajo bien hecho consiste en conseguir un peso y una forma exactamente iguales para todos los pistones.

El mecánico debe tener en cuenta que en cualquier motor policilíndrico el valor de la relación de compresión final obtenida es de la mayor importancia para el equilibrado de los motores, y si ella es diferente para cada cilindro, el exacto peso de los pistones no tiene relevancia alguna.

En lo que respecta a la superficie exterior de los pistones, algunos preparadores tratan de mejorar el engrase a base de practicar en las paredes una serie de orificios ciegos, cuyo diámetro varía entre los 2 y los 4 mm, con el fin de que en ellos quede aprisionado el aceite que se proyecta sobre la parte baja de la pared de los cilindros cuando el pistón baja y lo devuelve a las paredes en la zona más alta del mismo. De esta manera se efectúa una lubricación adicional que mejora las condiciones de funcionamiento de la pieza móvil.

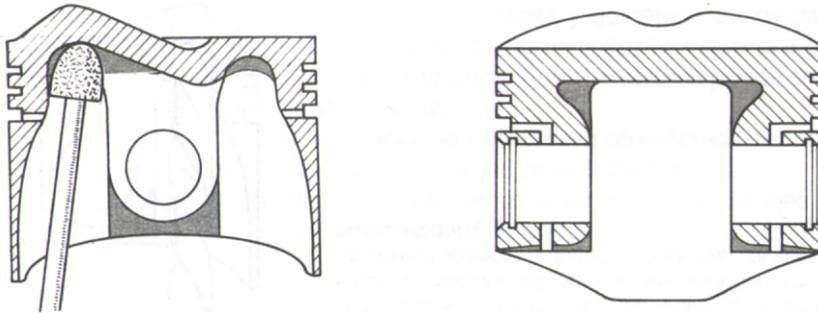
El objetivo fundamental de este trabajo consiste en asegurar la lubricación, sobre todo cuando el motor está frío, durante la puesta en marcha y durante la marcha a ralentí.

Téngase en cuenta que un motor al que le aumentamos la potencia deberá girar a mayor número de r/m y entonces el régimen de ralentí puede quedar fácilmente por encima de las 2.000 r/m. En este momento es cuando los agujeros cumplen principalmente con su misión.

Cuando se escoja este procedimiento de aplicación de orificios de lubricación, este trabajo deberá primero dibujarse en una plantilla para que todos los pistones dispongan de estos agujeros exactamente en el mismo lugar relativo de su superficie. Los agujeros deben ser exactamente iguales y el peso resultante encontrarse dentro de las indicaciones dadas para el recorte de las faldas.

Recortes internos de la cabeza

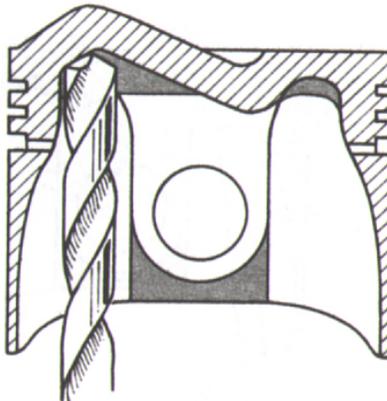
Existe todavía otra posibilidad de aligeramiento de muchos pistones según la forma que presenten, a base de labrar el material excedente de fundición que queda en el interior de su cabeza y que los fabricantes no mecanizan. Un ejemplo de este tipo de trabajo lo tenemos en las figuras siguientes, que muestran un pistón comercial en dos vistas diferentes y en donde la zona tramada corresponde a las partes en las que el material puede ser eliminado.



En este trabajo se ha de cuidar siempre de que las líneas resultantes tengan la forma de bóveda, ya que ésta es la forma más resistente posible. De ahí que, con el fin de aligerar masas, podamos siempre acudir a redondear los cantos vivos, lo que se traduce en un menor peso, por una parte, y en el mantenimiento de la misma resistencia del conjunto, por otra.

Todos estos trabajos son convenientes realizarlos con una fresa de mano, aplicada a una herramienta fija (por ejemplo, una agujereadora), de modo que podamos tener una referencia exacta del avance, lo que nos proporcionará una garantía de un mismo arranque de material para todos los pistones.

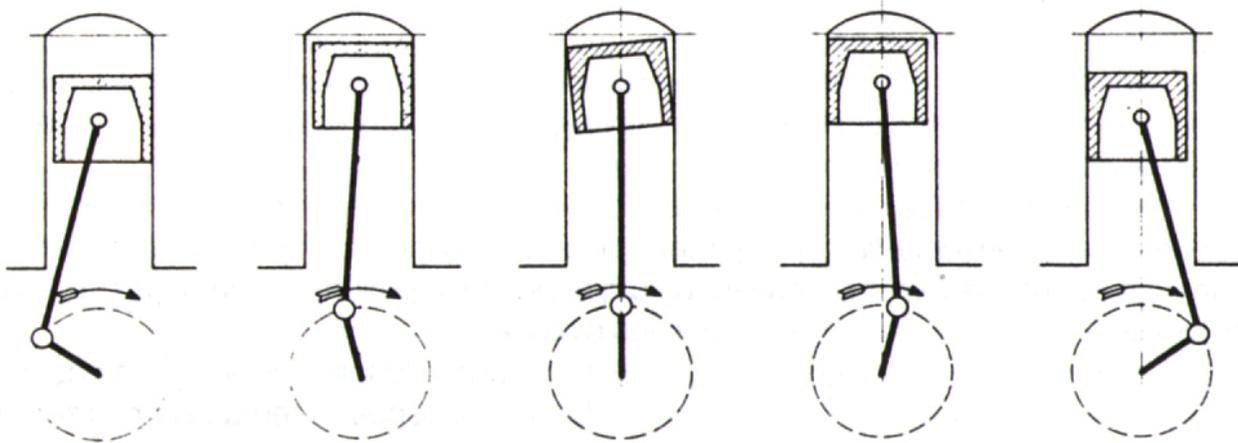
A continuación se tomará nota del avance dado a la taladradora, para hacer la misma operación exactamente igual en todos los pistones, además de realizar un constante control del peso durante la operación para seguir consiguiendo piezas iguales y del mismo peso cuando el trabajo se dé por finalizado. Si se tiene mucha práctica, este trabajo también se puede realizar con una broca, pero el resultado puede no ser tan preciso por este procedimiento.



Trabajos y características en los pernos de pistón

El sistema de articulación de los pistones con respecto a su unión a la biela se efectúa, en los motores de serie, instalando los pernos de pistón, a presión en su alojamiento. De esta forma, el perno queda completamente fijo por sus extremos y solamente pivota sobre el cojinete del pie de biela. Por este procedimiento no se puede evitar que, en cada carrera del tren alternativo, se genere un esfuerzo torsional que actúa como freno al movimiento de articulación del pistón, provocando el golpeo de éste contra las paredes del cilindro, a la frecuencia de dos veces por ciclo.

En la próxima figura tenemos un ejemplo gráfico del comportamiento del pistón, con sus tendencias al campaneo, durante el desarrollo de una fase de la carrera en la que el pistón cambia de posición. En esta figura se nos muestra esta tendencia al campaneo del pistón a la que nos referimos, y que en la figura se muestra, por supuesto, muy exagerada, para expresar mejor el concepto.



Si la combinación de estos esfuerzos torsionales y golpeteos de los pistones los multiplicamos por el considerable aumento del número de r/m a que va a girar un motor mejorado, podremos fácilmente comprender que el problema puede empezar a preocupar en una carrera de larga duración. De hecho, en el campo de la competición se emplea otra técnica distinta para la instalación de los bulones, conocida como de pistones flotantes.

Esta técnica consiste en el mandrinado de los alojamientos de los ejes de los pistones, de la misma forma y con las mismas tolerancias que se hace con los cojinetes de pie de biela.

En estas condiciones, el pistón queda articulado en sus alojamientos del perno, tanto en la parte del pie de biela como en los extremos de soporte. Los esfuerzos torsionales en este punto quedan eliminados y la mayor suavidad en el desplazamiento de cada uno de los pistones queda manifestada en un aumento espontáneo del régimen de r/m, además de un funcionamiento más suave de todo el tren alternativo y un menor desgaste del cilindro y de los pistones.

Este trabajo de mandrinado debe complementarse, sin embargo, con la previsión de un nuevo tipo de lubricación para los extremos de los pernos, que ahora quedarán sometidos a roce, con el fin de que se prevea el fácil deslizamiento de los mismos en los orificios de los extremos laterales de los pistones. Para ello se deberá practicar unos orificios de lubricación en los alojamientos extremos del perno, desde la parte inferior del pistón, y unos canales o "pastas de araña" en el interior de los alojamientos por medio de los cuales se distribuirá el aceite sobre la superficie de contacto del eje y del bulón.

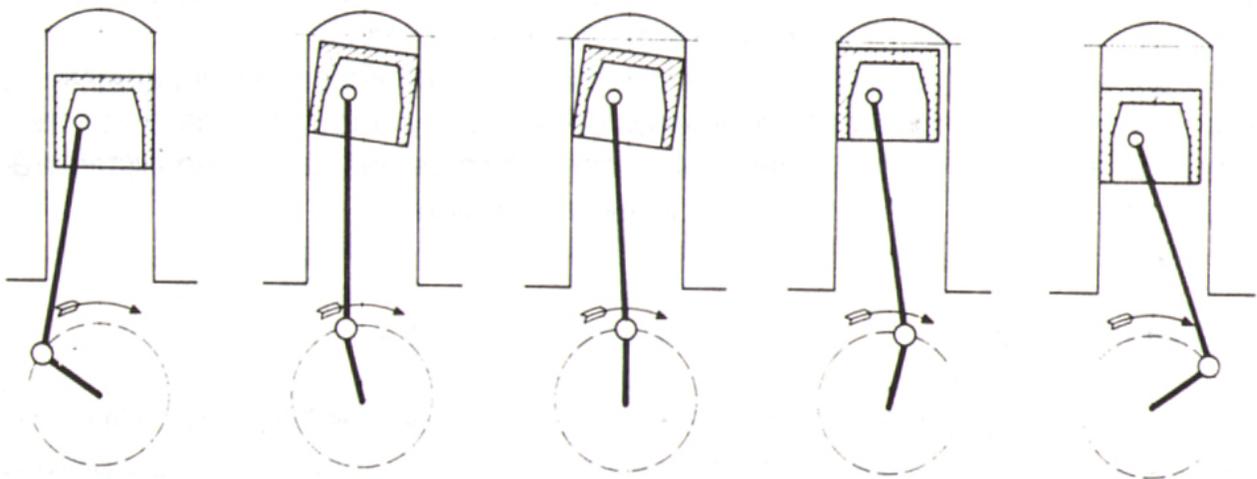
Pernos desplazados

En los motores altamente revolucionados, diseñados de origen para la competición, se suele acudir, para paliar este inconveniente del campeo de los pistones, a la solución de utilizar pistones con el eje del perno desplazado de su eje geométrico.

Esta solución trata de compensar el campeo de la siguiente forma, que nos ayudará a comprender la presencia de la figura siguiente en comparación con la figura anterior. Observemos cada uno de los estados angulares de un pistón entre ambas figuras.

Con el eje del perno centrado, al finalizar el pistón su carrera de compresión e iniciar el descenso, cambia violentamente de posición, dando origen al golpeteo sobre las paredes del cilindro en el preciso momento en que se encuentra en el tiempo de explosión, por lo que el golpe está cargado de energía.

Por el contrario, el perno descentrado se prepara, durante el desarrollo del tiempo de compresión, a adoptar una posición de la falda y la cabeza del pistón que no cambiará durante el tiempo de explosión. De esta forma no existe golpeteo porque el golpe de la máxima energía (que es el del tiempo de la explosión) encuentra al pistón en una situación favorable a continuar la carrera descendente. El contacto es ahora mucho más suave y la pérdida de energía por rozamiento mucho menor.



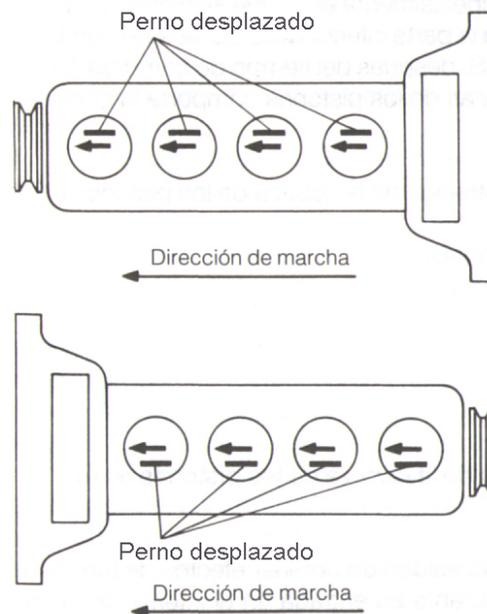
Instalación de los pistones con perno desplazado

La aplicación de un sistema de pistones con perno desplazados no puede realizarse sin estudios de ingeniería, de modo que el sistema está lejos de poderlo llevar a cabo un mecánico porque requiere muchos estudios y muchas pruebas en un banco.

Sin embargo, lo que sí puede ocurrir es que el mecánico disponga de algún kit en estas condiciones. En este caso, vamos a dar unos breves consejos con respecto a la instalación en el motor de este tipo de pistones.

El sentido de giro de los motores, salvo muy raras excepciones, es siempre a derechas, mirando el motor desde su parte delantera, o sea, desde el lado donde se halla emplazado el mecanismo de accionamiento de la distribución. Visto el motor girando a derechas, el desplazamiento de los ejes de pistón ha de quedar situado en el lado izquierdo del eje motriz.

Esta situación resulta válida para cualquier emplazamiento del motor, tanto situado delante como detrás del vehículo y aunque varíe su posición relativa con respecto al sentido de la marcha del vehículo, tal como se puede comprobar en la próxima figura.



Por lo general, cuando los pistones tienen alguna particularidad especial de montaje, en la cabeza se señala siempre esta circunstancia, ya sea por medio de una flecha o bien con la letra "F". Por esta razón, si en la elaboración del pistón y su consiguiente alivianado nos vemos obligados a hacer desaparecer esta indicación o marca, será necesario que la señalicemos de nuevo por medio de una marca u otro procedimiento, para que no sea posible la confusión al efectuar un nuevo montaje.

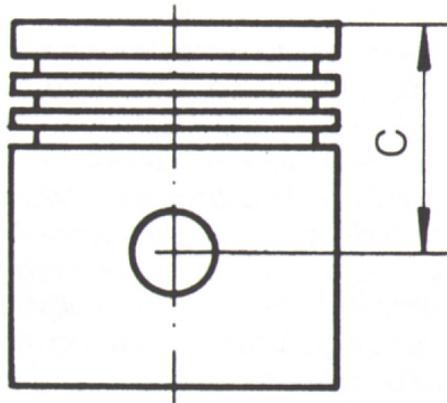
En el caso concreto de los pistones con eje desplazado téngase en cuenta que un montaje erróneo comportaría un gran aumento del golpeteo en el motor, por actuar éste de una forma diametralmente opuesta a las ventajas que se esperan de este procedimiento.

Trabajos prácticos en la cabeza de los pistones

Los pistones son las piezas más importantes de una preparación, de modo que todavía hay mucho que decir sobre ellos desde el terreno puramente práctico, además de lo relativo a la pérdida de peso por alivianado del material.

Para poner un ejemplo basta considerar que todo aumento de potencia de un motor mejorado pasa siempre, inicialmente, por un aumento de la relación de compresión. Para conseguir este aumento se necesita reducir el volumen de la cámara de combustión y, para ello, las soluciones mecánicas más utilizadas y fiables se hallan siempre dentro de los siguientes procedimientos:

- Rebajar el plano de la tapa de cilindros (en cuyo caso los pistones pueden tocar con las válvulas);
- Rebajar el plano del bloque (en cuyo caso los pistones sobresalen del plano del mismo al alcanzar su P.M.S.);
- O bien aumentar la altura de los pistones (generalmente a base de aumentar la distancia entre la cabeza del pistón y el eje de alojamiento del perno, es decir, aumentando la distancia C de la figura siguiente).



Lo más aconsejable es, desde luego, ganar pequeñas ventajas de cada parte, a base de aplicar todos los procedimientos que hemos enunciado, es decir, rebajar un poco la tapa, rebajar un poco el plano del bloque y, de poder ser, aumentar un poco la altura de los pistones. Con este sistema se logra no debilitar el motor en ninguna de sus partes y se obtienen, por lo general, resultados muy eficaces.

Las nuevas modificaciones que llevemos a cabo comportarán también un trabajo adicional de elaboración del pistón, especialmente en lo que se refiere a la parte superior de su cabeza, la misma que forma la parte inferior de la cámara de combustión cuando el pistón se encuentra en P.M.S. después del tiempo de compresión.

El trabajo de elaboración de las cabezas de los pistones comporta la consideración de los siguientes puntos:

- Determinación de la altura de penetración de la cabeza de los pistones en el interior de la tapa.
- Elección del juego de pistones a emplear
- Construcción de la plantilla de trazado
- Trazado de los pistones
- Construcción de calibres
- Mecanización de los pistones
- Operaciones de afinado y pulido

Determinación de la altura de penetración de la cabeza de los pistones en el interior de la tapa de cilindros

Dada la posición de las válvulas y la necesidad de obtener efectos de turbulencia en la mezcla durante su entrada en el interior de la cámara de combustión, las cabezas de los cilindros suelen tener formas bastante alejadas de toda disposición simétrica. De este modo resulta bastante difícil establecer por cálculo la cantidad de masa que debe sobresalir del pistón para que penetre en la cámara de compresión y conseguir con ello un determinado aumento de la relación de compresión. En la práctica no existe otro sistema que actuar por un procedimiento experimental.

En este sentido, el primer paso consistirá en medir el volumen de la cámara de combustión que tiene de origen la tapa. Con este dato deberemos calcular, por medio de un fórmula matemática, el nuevo volumen de la cámara que deseamos obtener con respecto a un aumento de la relación de compresión que hayamos establecido de antemano.

Una vez trabajada la cámara para mejorar la respiración del motor (aumento del tamaño de las válvulas u otras modificaciones) volveremos a medir el volumen de la cámara resultante y la diferencia con respecto al cálculo inicial deberá ser cubierta por una mayor penetración del pistón en el interior de la cámara. Veamos un ejemplo:

Supongamos que tenemos un motor con una cámara de combustión que mide, inicialmente, 27 cm³.

Hecho el cálculo de la relación de compresión que conviene a nuestro motor preparado, llegamos a la conclusión de que deben hallarse en 10:1. Ahora bien, al trabajar en la cámara y aligerar algunas partes de la misma podemos haber aumentado su volumen, de modo que en una segunda medición del volumen la cámara tiene 28 cm³.

Sin embargo, según el cálculo, para que la cámara tenga una relación de compresión de 10:1 es necesario obtener un volumen total de la misma de sólo 20 cm^3 . De acuerdo con ello, el volumen del pistón que ha de penetrar en la cámara será de $28 - 20 = 8 \text{ cm}^3$.

Conociendo el volumen del pistón que ha de penetrar en la cámara podremos organizar el trabajo. Un sistema bastante efectivo cuando el pistón tiene una cabeza irregular y resulta muy difícil su cálculo geométrico, consiste en tomar la tapa y cerrar por completo las válvulas. A continuación se procede a untar con una suave capa de aceite fluido toda la superficie de la cámara. Después se vierte cera líquida en ella, en un volumen total (en el caso de nuestro ejemplo) de 20 cm^3 .

Una vez llena de cera caliente, se introduce la cabeza del pistón hasta el punto donde la cera, presionada por la entrada de dicha cabeza, se acerque al plano de la tapa, lo que nos dará el punto exacto en el que el pistón debe penetrar en la cámara y, además, nos hará un molde exacto de la forma a que la cámara quedará reducida, una vez la cera se haya enfriado y solidificado.

Tomada nota del plano en que el pistón debe sobresalir del plano del bloque todo será cuestión de conseguir, o bien rebajar el bloque, o bien utilizar pistones más altos o con el eje del perno un poco más bajo con relación a la cabeza. Cualquiera de estas soluciones resolverá el problema.

El modelo de cera podrá servirnos para realizar la plantilla de cómo deberá ser la cámara, tema de la mayor importancia porque no hay nada más poco beneficioso para el motor que mantener cuatro o más cámaras de combustión con diferentes valores de compresión, aunque las diferencias sean relativamente pequeñas. Por lo tanto, y en este sentido, hay que procurar hacer todos los trabajos de las cámaras exactamente con los mismos resultados.

Elección del juego de pistones a emplear

La obtención de unos pistones adecuados para el mejoramiento de un determinado motor no es cosa tan sencilla como pudiera parecer a primera vista. De hecho, la elección de unos pistones adecuados requiere especial atención a los puntos siguientes:

Primero. Diámetro de los pistones adecuado a las dimensiones de los cilindros.

Segundo. Alta calidad del material que permita las mínimas tolerancias de montaje.

Tercero. Tener preferencia por los pistones cuyo proceso de fabricación sea el forjado o estampado del material.

Cuarto. A poder ser, decidirse por pistones con el eje del perno desplazado para mejor control de los golpes y empujes laterales.

Quinto. Elegir preferentemente pistones provistos de esqueleto antidilatación, en el caso de que sea fundidos.

Sexto. Prestar atención a la altura de compresión y asegurarse de que esté dentro de los límites más próximos a los apetecidos.

Construcción de la plantilla de trazado

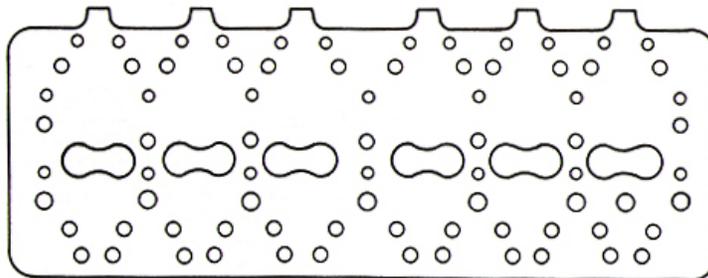
En el caso más frecuente, de que, para aumentar la relación de compresión, la cabeza del pistón deba penetrar más o menos profundamente dentro de la cámara de combustión de la tapa, su forma deberá adaptarse a la geometría de la cámara y dejar espacio suficiente para que el desplazamiento de las válvulas no se interfiera con el movimiento del pistón.

Cuando se trate de motores cuyas cámaras no sean cilíndricas o hemiesféricas, el primer paso para la modificación de la cabeza de los pistones será la construcción de una plantilla de trazado mediante la cual reproduzcamos las medidas en las que se va a mover todo este conjunto (válvulas y pistón).

Para llevar a cabo la realización de una plantilla de este tipo el procedimiento a seguir es bastante simple. Consiste en obtener una reproducción del plano de asiento de la tapa sobre una cartulina de un tamaño capaz de cubrir toda la tapa en su plano inferior. Se coloca la cartulina sobre este plano y, por medio de un martilleado muy suave entre la cartulina y el plano de la tapa nos quedarán marcadas con exactitud, en la citada cartulina, todos los orificios de los pernos o espárragos, de los conductos de refrigeración y, por supuesto, de las cámaras de combustión.

El resultado será semejante al que nos muestra la siguiente figura.

Una vez obtenido el contorno de las cámaras de explosión y de los orificios para los pernos de fijación de la tapa, instalaremos esta cartulina resultante sobre una placa de madera contrachapada, con el fin de hacer una plantilla que presente una mayor solidez. Ello significará recortar el contorno de las cámaras mediante una sierra y efectuar el agujereado de los orificios hasta dejar la plantilla sólida para ser utilizada.



Trazado de los pistones

Para proceder al trazado de la cabeza de los pistones deberán estar éstos montados en sus respectivas bielas después de haber sido ya todo el conjunto debidamente aligerado y mecanizado. También el montaje de las bielas deberá ser perfecto, con los ejes perfectamente escuadrados y alineados.

Se pintará la cabeza de todos y cada uno de los pistones con una mezcla de finísimo polvo de yeso diluido en alcohol, o bien con una solución de sulfato de cobre. Acto seguido se montan el conjunto de las bielas con sus pistones (desprovistos por ahora de aros) en el cigüeñal; como es lógico, con todos los pistones en sus cilindros respectivos en los que van a trabajar en lo sucesivo.

A continuación haremos girar el cigüeñal hasta colocar las cabezas de dos pistones (por ejemplo, el primero y el último) al mismo nivel en el plano del bloque.

Seguidamente pasaremos a montar la plantilla de trazado construida poco antes, como si se tratara de una simple junta de tapa y la fijaremos mediante unos cuantos bulones para que no pueda desplazarse durante la operación de trazado.

Con la ayuda de una punta de señalar seguiremos el contorno de la plantilla correspondiente a los dos cilindros citados que se encuentran en P.M.S. De esta forma, podremos grabar sobre la superficie de la cabeza la forma del contorno de la cámara de combustión, la cual quedará perfectamente dibujada sobre la pintura antes habíamos aplicado sobre la cabeza de cada uno de los pistones.

Una vez dibujado exactamente el contorno, se deberá retirar la plantilla. Se vuelve a girar el cigüeñal para conseguir poner a nivel otra nueva pareja de cilindros sobre los que volveremos a poner la plantilla y a trazar sobre la superficie de la cabeza el dibujo de cada una de sus cámaras correspondientes.

El desmontaje de la plantilla a cada giro del cigüeñal puede ser necesario cuando los pistones sobresalen del plano del bloque, pues de otro modo, al mover el cigüeñal, la plantilla podría inutilizarse.

Una vez conseguido el dibujo de la forma de la cámara de combustión en el plano superior de los pistones, se procede al desmontaje de todo el conjunto del tren alternativo y a trabajar en la cabeza de los pistones para conseguir mecanizar esta parte y dejar el pistón con un resto de material equivalente a lo que se pretende penetre en el interior de la cámara de combustión.

Con el fin de asegurarse de que el dibujo no va a desaparecer con las futuras manipulaciones antes del definitivo mecanizado, se aconseja rodear todo su perfil con pequeños y finos golpes de martillo de modo que no pueda desaparecer su forma.

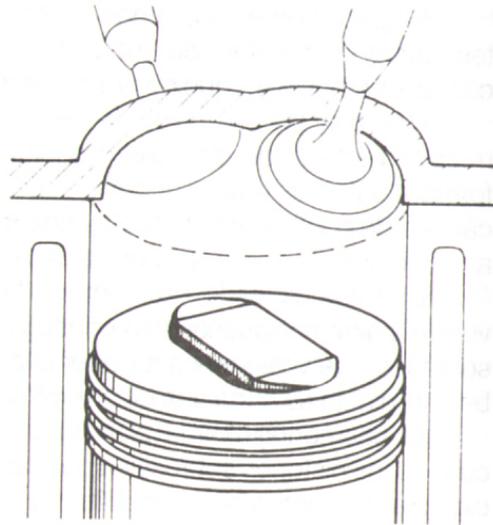
Construcción de galgas o calibres

Cuando la parte de una cabeza de pistón que penetra en el interior de la cámara de combustión debe tener la misma forma que presenta la misma cabeza del pistón, es obvio que no se precisa realizar ningún tipo de trabajo. En este caso no es necesario labrar la cabeza del pistón de modo que no hay mecanizado del mismo.

Ahora bien: Cuando se precisa que la cabeza del pistón tenga alguna forma particular que se acople a la cámara de combustión resultante, todas las nuevas formas fresadas en la cabeza deberán tener la misma forma exacta para todos los pistones del equipo y, por consiguiente, será necesario tomar medidas especiales para reproducir esta nueva forma con al mayor exactitud.

Así pues, el trabajo ahora descrito se refiere solamente a aquellos casos en los que se aumente la relación de compresión, y en los que la cabeza del pistón debe tener una forma especial que se acople a la forma de la cámara de combustión.

Un ejemplo de lo que acabamos de decir lo tenemos en la próxima figura, en donde la cabeza del pistón deberá quedar con el aditamento de material que se muestra en la figura, en el centro de la cabeza del pistón.



Cuando los pistones deben estar provistos de estas formas especiales en sus cabezas es necesario tomar nota exacta de los perfiles para que el mecanizado deje los pistones exactamente iguales y la relación de compresión de cada cilindro se mantenga invariable en todos los casos.

La realización de estos calibres de comprobación se efectúa a base de aprovechar el molde de cera que se hizo para obtener el cálculo de penetración del pistón en la cámara. De acuerdo con las características de este molde se puede determinar la forma que deberá adoptar la cabeza en el interior de la cámara. Para ello, se puede modificar el volumen de cera hasta obtener una forma que beneficie la turbulencia de la corriente de mezcla que entrará por la válvula –o válvulas- de admisión, y del gas quemado que saldrá por las válvulas de escape.

Una vez determinada la forma, se recorta una plantilla de plancha de hierro o latón, en sentido longitudinal, y otra plantilla en sentido transversal, las cuales deberán servir de base para el mecanizado.

Por supuesto, pueden existir formas que resulten mucho más complicadas que las que vemos en la figura. En ese caso, el mecánico deberá realizar tantas plantillas como crea necesario, con el fin de poder reproducir exactamente la misma forma en cada una de las cabezas de los pistones cuando llegue el momento de realizar el mecanizado de las cabezas.

Existe también la posibilidad de disponer de una fresadora copiadora tridimensional, cosa que haría que la creación de plantillas que acabamos de exponer no tuviera ya demasiada importancia.

En el caso de poder disponer de este sistema de copiado, bastará con efectuar el mecanizado del primer pistón para tener la garantía de que todos los demás serán exactamente iguales a partir de los ángulos y formas del primero.

De no disponer de este u otro tipo de máquina copiadora adecuada, se realizará el trabajo desde un punto de vista artesanal y ello es lo que estamos describiendo.

Mecanización de los pistones

Una vez dispongamos de la forma grabada en la cabeza del pistón y de la profundidad de la misma, de acuerdo con las plantillas, se procederá al mecanizado de la cabeza del pistón. La máquina más adecuada para hacer este trabajo es una fresadora. Se recomienda el empleo de una fresa frontal, por medio de la cual se comienza por rebajar el material del pistón hasta el punto indicado por el trazado y a la profundidad que de antemano ya hemos determinado por medio de las plantillas.

En este primer trabajo de aproximación se aconseja conservar una distancia de una 4 a 5 décimas de mm antes de llegar a la forma definitiva de contorno, y finalizar la operación, después, con la ayuda de limas finas, de las utilizadas en los trabajos de precisión que realizan los ajustadores.

De hecho, se deberá estar comprobando constantemente con un calibre, los resultados que se van obteniendo a medida que avanza en el trabajo, y modificando las medidas hasta obtener los valores correctos indicados en los planos.

La mejor solución, una vez terminado completamente el mecanizado de la cabeza de un pistón, es acudir a una fresadora copiadora de formas, pues así tendremos, la seguridad de que no van a encontrarse diferencias entre los cuatro o más pistones del motor que tratamos de mejorar.

De no poder disponer de esta máquina, el trabajo deberá hacerse a mano, con el riesgo de equivocarse y echar a perder algún pistón. Pero ello es necesario si no se dispone de un sistema de mecanizado como el indicado.

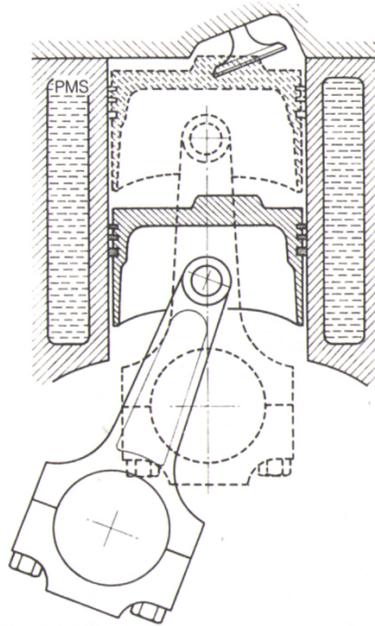
Verificación

Una vez mecanizados todos los pistones, se realizará su montaje de nuevo en el motor que estamos preparando.

Sin necesidad de montar los aros se procederá a instalarlos en sus bielas y luego éstas en sus respectivos codos del cigüeñal.

También se supone, para este trabajo de verificación, que la tapa ya ha sido debidamente trabajada de antemano y ahora tiene todas sus válvulas montadas y en condiciones de acabado.

Lo que nos interesa verificar en este momento es si la altura dealzada de las válvulas puede quedar interferida, en algún momento, por la alzada del material de la cabeza del pistón, es decir que no ocurra lo que muestra la próxima figura.



Aquí podemos ver que, durante su funcionamiento normal, cuando el pistón alcance su P.M.S. y la válvula esté abierta en su posición máxima de carrera, el golpeo con el pistón es inevitable.

Con el fin de evitar este importante defecto, que arruinaría el motor, es necesario mecanizar de nuevo esta parte del material del pistón para dar salida a la válvula.

Con el fin de verificar este posible defecto, empezaremos por tinter, con azul de Prusia, la zona interna de las cámaras y, por supuesto, la copa de todas las válvulas.

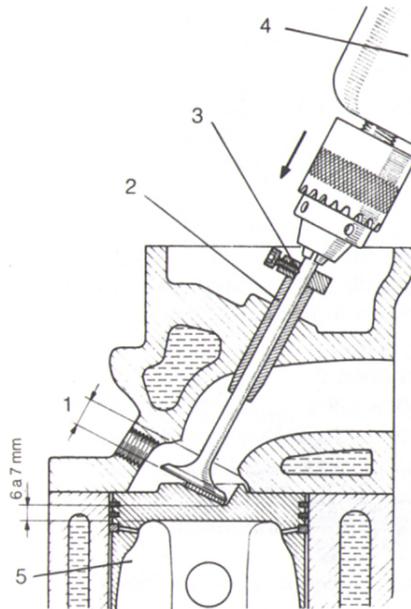
A continuación, se pasa a montar la tapa en el bloque pero sin poner la junta de estanqueidad de la tapa. Se apretarán los pernos de fijación a menos de la mitad de su par de apriete normal.

La tapa deberá hallarse con el eje o ejes de levas, montados, y se deberá efectuar la puesta a punto de la distribución exactamente igual a como se hace en la práctica cuando el motor se dispone para que preste un servicio regular.

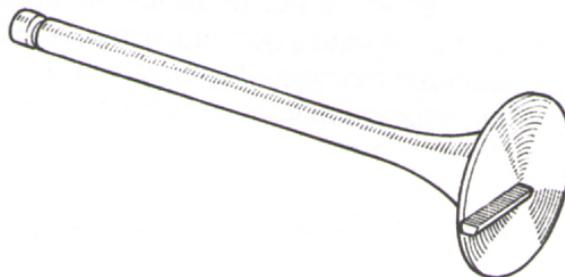
Una vez realizadas todas estas operaciones previas, se procederá a mover el cigüeñal a mano y con sumo cuidado, con la intención de estar muy atentos a detener inmediatamente su giro en cuanto se note la más mínima obstaculización. Si no se encuentra obstaculización alguna, se le darán al cigüeñal varias vueltas.

Acto seguido se pasa a desmontar la tapa, y de acuerdo con lo indicado por el azul de Prusia, veremos en que zonas del pistón se producen los roces con las copas de la válvula, por observar la presencia de restos de pintura sobre la cabeza de los pistones.

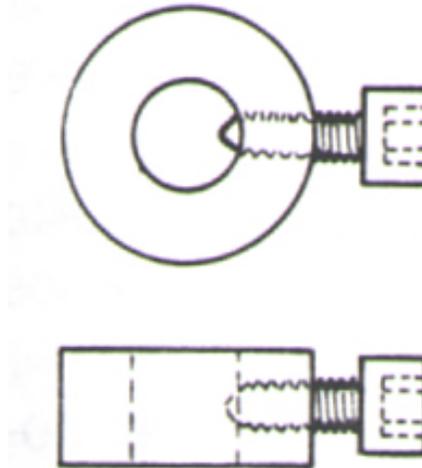
Si no hubo roce observable durante la operación de giro a mano del cigüeñal no tampoco existen ahora restos de pintura en al cabeza de los pistones, ello indica que no existe contacto de las válvulas con éstos. Pero si la situación fuera la contraria, será necesario efectuar los trabajos de retoque y rebaje del material en la cabeza de los pistones para obtener la coincidencia de las válvulas y del pistón en P.M.S., sin que exista interferencia entre las dos piezas mecánicas. Una forma práctica muy efectiva de llevar a cabo este trabajo con la mayor exactitud, puede hacerse preparando una válvula con una cabeza cortante y actuando con una agujereadora de mano.



Desmontada la tapa y visto el golpe en la cabeza del pistón, se pasa a medir la distancia que existe entre el asiento de la válvula y su alzada máxima, es decir, la señalada con el (1) en la figura. A continuación se toma una válvula vieja del mismo tipo de las que se utilizan en el motor que estamos preparando, y se le aplica por soldadura, y en la parte exterior de la copa, una plaquita de acero de corte, no mayor de 2 mm, la cual después se afila y se deja de la forma que se aprecia en la figura.



Luego se pasa a desmontar la válvula buena del motor y, en su lugar, se aplica la válvula cortante. En la cola de esta válvula se habrá montado un casquillo con tornillo de fijación, del tipo que nos muestra la figura siguiente, el cual se habrá ajustado correctamente a la distancia máxima de alza de la válvula. Ahora ya podrá pasarse a mecanizar la zona del pistón en al que se ha comprobado existe interferencia con la válvula, de la forma que se está haciendo en la figura anterior.



En estas operaciones de rebaje de la cabeza del pistón, no es aconsejable que la pared de la cabeza del pistón se vea rebajada más de 6 o 7 mm, pues, de otra forma, la perforación de la cabeza puede hacerse efectiva en marcha y ocasionar la pérdida total de rendimiento del motor.

Una vez realizada esta operación deberá extremarse la limpieza del pistón, la cámara de combustión y el asiento de las válvulas, con el fin de eliminar por completo todo resto de virutas y de posibles esquirlas metálicas que se hayan podido introducir en los rincones de la cámara o entre las paredes del cilindro.

Operaciones de afinado y pulido

Una vez se dé por terminado el proceso de mecanizado de los pistones, tal como lo hemos visto y descrito, conviene pasar a realizar un trabajo final de pulido de las superficies mecanizadas. Para ello se utilizan con éxito telas abrasivas de grano muy fino, impregnadas en un baño de aceite muy fluido.

Posteriormente se pasa a someter los pistones a una máquina pulidora de discos de paño, ya que cuanto más pulimentadas estén las superficies sobre las que deban circular los gases, mayor será el rendimiento obtenido por el motor, debido a la menor acumulación de depósitos carbonosos sobre estas superficies. Cuando existe la formación de estos depósitos resulta menor la posibilidad del pistón para deshacerse del calor que en su normal funcionamiento va acumulando.

Cuando los pistones se den por terminados totalmente convendrá efectuar de nuevo su pesaje. Lo ideal es que todos los pistones pesen lo mismo, pero si ello no es así en esta primera verificación, se deberá conseguir que las diferencias de peso entre el más liviano y el más pesado se mantenga más o menos alrededor de 1 a 2 gramos. Si no se da esta circunstancia, deberán efectuarse pequeños rebajes de material en los pistones más pesados para conseguir el fin indicado.

La forma más efectiva para conseguir igualar pequeñas diferencias consiste en efectuar una serie de avellanados en las paredes internas del pistón, preferentemente en la cabeza si no hemos castigado mucho el mecanizado, por el anverso, de la cabeza del pistón.

Estos avellanados deberán ser de muy poca profundidad, pero, a pesar de ello, este procedimiento puede servir para que el pistón más pesado pierda algunos gramos y se empareje perfectamente con los pistones más livianos.

Finalmente, procederemos a una limpieza a fondo de los pistones con kerosene, con el fin de asegurarnos de la eliminación de la más mínima partícula metálica o abrasiva que haya podido quedar adherida en cualquier parte del material.

A continuación se pasará a lavarlos con una solución jabonosa y un cepillo de cerdas no muy duras y enseguida a secarlos por medio de una fuerte corriente de aire comprimido.

Por último, y para terminar la operación, se colocará una fina capa de aceite muy fluido sobre toda la superficie, tanto interna como externa, de cada uno de los pistones.

Luego, si todavía no tenemos la tapa preparada y el montaje definitivo del motor no es inmediato, los embalaremos con papel parafinado y los guardaremos en estas condiciones hasta que llegue el momento definitivo de su montaje, una vez preparadas las otras partes del motor.

LOS AROS

El último de los elementos que forma parte del pistón y que debemos considerar, siquiera sea brevemente, es el conjunto de los aros de pistón, elementos que tienen la misión de asegurar la estanqueidad de la cámara formada entre la cámara de combustión y la cámara formada entre la cámara de combustión y la cabeza del pistón.

Los aros evitan que pueda, introducirse hasta el cárter los fuegos de la explosión y los valores de la mezcla, los cuales diluirían y degradarían las propiedades de los aceites depositados en el fondo del cárter si llegan a juntarse.

En los motores de serie se suele utilizar solamente tres aros pero en los motores de competición, debido a la necesidad de reducir cuanto sea posible el peso y los efectos de fricción de los órganos que componen el pistón. Además, los aros de competición tienen formas y soluciones técnicas diferentes de los aros de los motores comerciales.

Aros empleados en competición

Los aros empleados en los motores de alta competición se construyen de fundición de gran elasticidad, al objeto de que presenten una máxima adaptabilidad, en todos sus puntos de contacto, con la superficie interna de los cilindros.

Por otra parte, y con el fin de reducir el desgaste y frenado de los pistones, los aros de competición suelen tener cromada la superficie de roce. La aportación de esta película de cromo poroso permite aplicar a los aros una sobrepresión radial que asegura la perfecta obturación de los cilindros durante los grandes efectos de vacío que se originan en los momentos de la aceleración.

El rebaje practicado en el borde superior interno del aro, permite una ligera deformación torsional a cada fase del ciclo, aumentando la estanqueidad del aro a la vez que se consigue así que solamente roce con las paredes del cilindro por uno de sus bordes, según sea el sentido de movimiento del pistón. Con esta acción se reduce considerablemente la acción de frenado que ejerce el aro sobre las paredes del cilindro.

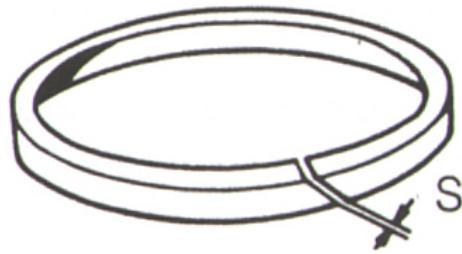
El aro estudiado para cumplir la segunda de las funciones de estos elementos, el control del aceite, recibe el nombre de aro rascador de aceite. Este aro se halla formado por varias piezas montadas entre sí. Está compuesto por un aro de fundición idéntico a los empleados en los motores comerciales, provistos de ranuras para el drenaje del aceite; consta además de dos rieles de acero, cromados en su borde de contacto con la pared del cilindro que son los que actúan a modo de rascadores de aceite y de compresión simultáneamente; y un aro de expansión, de acero ondulado, situado entre la garganta del pistón y el respaldo del conjunto de anillos que constituyen el aro hidráulico.

Estanqueidad y luz de las puntas de los aros

La elasticidad de un aro queda compensada cuando se introduce en el interior del cilindro. Entonces sus puntas se aproximan y, lejos de juntarse por completo, deben todavía dejar una separación para compensar los efectos de la alta temperatura y su consiguiente dilatación.

Los aros contruidos para los motores de competición suelen presentar bastantes diferencias en el tallado de las puntas con respecto a los aros comerciales.

En primer lugar, el corte de compensación de la dilatación, tal como puede verse en la primer figura, está tallado con un ángulo de 45° , en vez de los 90° que es corriente en el corte en los motores comerciales de serie. Esta variación tiene su justificación en los siguiente cálculos.



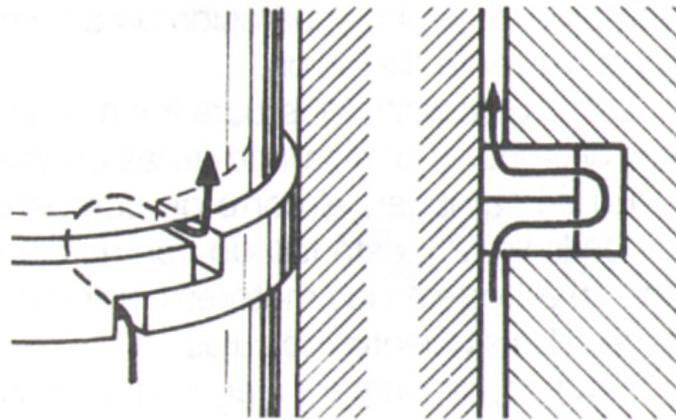
Ejemplo: veamos, en primer lugar, lo que ocurre en el caso del tallado a 90°. Considerando un coeficiente de dilatación lineal de 0,00001 para el material de los aros, y una temperatura de funcionamiento de 150 °C, la separación entre puntas, con un corte a 90°, se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$s = 3,1416 \times D \times 0,00001 \times 150$$

D: el diámetro del cilindro en milímetros,
S: el valor de la dilatación.

En el caso del corte a 45° la fórmula será:

$$s = \pi \times D \times 0,00001 \times 150 \times 45^\circ = 3,1416 \times D \times 0,00001 \times 150 \times 0,707$$



La presente tabla proporciona diversos valores de luz aconsejados en aros con corte a 90°, en función del diámetro del cilindro.

Ø mm	Luz mm	Ø mm	Luz mm.
40-50	0,10-0,25	101-110	0,30-0,50
51-60	0,15-0,30	111-120	0,35-0,50
61-80	0,20-0,35	121-130	0,35-0,55
81-90	0,25-0,40	131-140	0,40-0,55
91-100	0,25-0,40	141-150	0,50-0,60

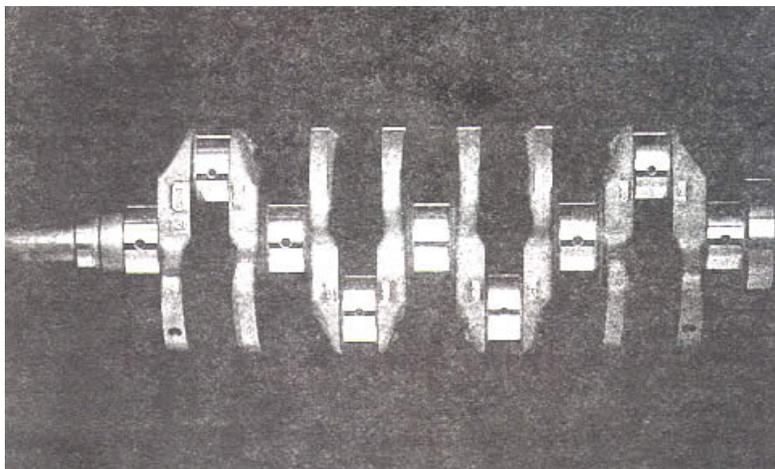
PREPARACIÓN Y MECANIZADO DEL CIGÜEÑAL Y COJINETES

CIGÜEÑAL Y VOLANTE DE INERCIA

El cigüeñal es una pieza básica del motor que, además de tener la facultad de centralizar toda la energía que le mandan todos y cada uno de los pistones durante cada una de sus combustiones, tiene la particularidad de convertir el movimiento rectilíneo de los pistones en movimiento rotatorio o circular, sistema mediante el cual es aprovechable la energía cinética, que será mandada a los órganos de arrastre del vehículo.

Por su parte, el volante de inercia, aun cuando es una pieza independiente del cigüeñal, está íntimamente relacionado con él y con las características de su funcionamiento. Prueba de ello es que el volante está fijo al cigüeñal y gira formando un mismo cuerpo con el árbol motor. La función del volante se reduce, como es bien sabido, a acumular una cierta cantidad de la energía generada por los pistones en sus carreras de trabajo, para devolverla después durante los tiempos muertos en los que los pistones preparan el tiempo de la combustión. Gracias a la energía que ahora les ofrece o devuelve el volante, el giro del cigüeñal resulta dotado de completa continuidad y se eliminan los momentos de aceleración y deceleración que se producirían en el cigüeñal si el volante no existiera. Además, el giro de las bielas somete al cigüeñal a un continuado golpeteo que se traduce en esfuerzos torsionales con continuos cambios de dirección. La labor del volante consiste en estabilizar todos estos esfuerzos, (además de repetitivos) que se producen como consecuencia de la energía entregada por los pistones a un eje acodado (cigüeñal).

La importancia de la función del volante disminuye a medida que aumenta el número de cilindros para un solo cigüeñal, pero los motores de cuatro cilindros deben disponer de un volante de masa considerable. De estos dos elementos vamos a ocuparnos en el presente capítulo, así como de los trabajos para mejorar las condiciones de funcionamiento a un mayor régimen de giro.



Cigüeñal para motor de competición

EL CIGÜEÑAL Y LOS TRABAJOS DE MEJORAMIENTO

Según la importancia del grado de mejora que hayamos logrado con nuestra intervención en la tapa y en los pistones, el cigüeñal deberá revisarse para que se acomode a las nuevas condiciones de funcionamiento con las que va a encontrarse en lo sucesivo.

Los puntos principales por los que deberemos preocuparnos deberán ser los siguientes:

De una parte, tenemos la necesidad de adaptar las dimensiones del cigüeñal a las nuevas condiciones de funcionamiento impuestas. Esto nos llevará a considerar el dimensionado del cigüeñal. De otra parte, deberemos estudiar todas las posibilidades a nuestro alcance para conseguir el alivianado del cigüeñal (y también del volante, como veremos más adelante).

Finalmente, será necesario acudir a realizar un equilibrio estático y dinámico del cigüeñal y de su volante para tener la seguridad de que estas piezas no adquirirán, durante su extraordinario giro a altas vueltas, perturbaciones que dificulten o desequilibren su giro.

DIMENSIONADO DEL CIGÜEÑAL

Los modernos motores de serie han logrado un favorable diseño para todos sus cigüeñales, de modo que el trabajo que un preparador tiene que efectuar en esta pieza del motor no resulta, en general, muy importante.

El hecho de que todos los cigüeñales modernos dispongan de tantos apoyos como cilindros tiene el motor, más uno, los convierte en elementos que pueden resistir bien los esfuerzos a los que son sometidos, tanto de torsión como flexión, compresión, etc., y los hace de una estructura muy equilibrada.

Sin embargo, sobre las muñequillas y los cuellos o gorriones del cigüeñal actúan, por una parte, fuerzas de inercia de los elementos del tren alternativo y, por otra, las generadas en los tiempos de compresión y trabajo de los pistones. Por lo tanto, al aumentar la velocidad de giro y la relación de compresión, los valores de todas estas fuerzas aumentarán según lo considerables que sean las modificaciones llevadas a término.

En lo que respecta a las fuerzas de inercia, éstas pueden ser las que menos aumenten, debido al trabajo de aligeramiento del motor que hemos visto en anteriores capítulos, pero, con todo, ya vemos que tampoco es el cigüeñal una pieza de la que no tengamos en absoluto que ocupar. Algo hemos de hacer con él y tanto más cuanto más a fondo haya sido elaborada nuestra preparación y el objetivo del vehículo al que va a propulsar nuestro motor mejorado.

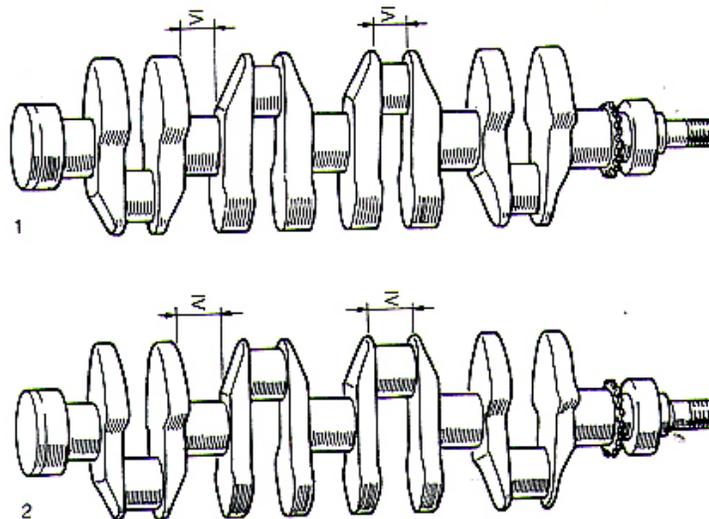
Las mejoras del cigüeñal de serie en lo que respecta al conjunto de sus dimensiones tienen, por lo tanto, muy limitadas sus posibilidades.

SUPERFICIE DE APOYO DE LAS MUÑEQUILLAS

Una buena práctica consiste en aumentar la superficie de apoyo de las muñequillas y los cuellos del cigüeñal, con la pretensión de lograr reducir las sobre cargas que se estableces sobre los cojinetes, tanto en los de línea como en los de cabeza de biela.

Para lograr esta mayor superficie de apoyo se rebajan, por refrentado en el torno, las caras de unión de las manivelas o platos del cigüeñal con las muñequillas y cuellos.

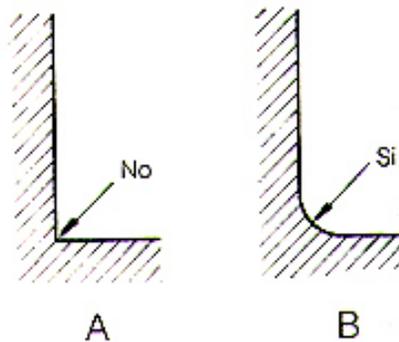
En la figura tenemos un caso en el que se ha trabajado en este sentido. Ambos dibujos corresponden a un mismo cigüeñal pero el señalado con (1) es el de serie, mientras el señalado con (2) corresponde al modelo que ha sido preparado para competición.



Comparación de dos cigüeñales idénticos, uno de ellos trabajado para el mejoramiento del motor (1) cigüeñal de serie. (2) cigüeñal preparado con el ensanchamiento de sus cuellos y muñequillas más grandes.

Obsérvese el ligero aumento en las dimensiones de cuellos y muñequillas y, por lo tanto, una mayor superficie de apoyo que permitirá la utilización de cojinetes ligeramente más anchos, lo que dará como resultado un reparto de las cargas menos crítico que en el caso de haber utilizado directamente el cigüeñal de serie tal como viene de fábrica. Los aumentos de las presiones por centímetro cuadrado quedan algo compensados al aumentar la superficie de apoyo.

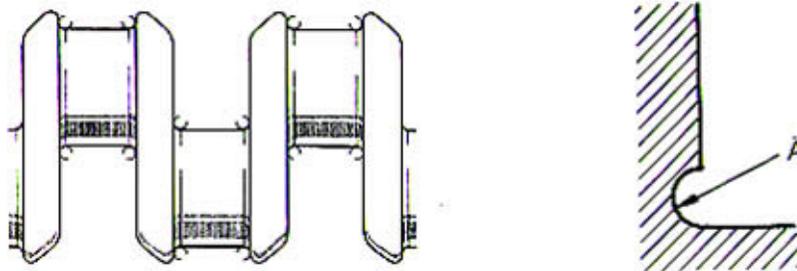
Al realizar una modificación de este tipo debe cuidarse que la unión de las manivelas o platos y los cuellos o muñequillas se realice mediante un radio de unión o acuerdo que en ningún caso presente un ángulo vivo. En la figura siguiente tenemos un ejemplo.



Radio de unión o de acuerdo entre plato y muñequilla (A) canto vivo (peligroso) (B) radio de unión.

La presencia de un ángulo vivo, tal como se indica en (A), producirá, durante el funcionamiento del cigüeñal, una concentración de esfuerzos en el punto de unión de ambos planos que podría provocar relativamente rápidas roturas por fatiga. La solución de practicar un mecanizado a base de un radio de giro en esta zona, de la manera que se muestra en (B), soluciona en buena parte este inconveniente y aumenta la solidez del codo correspondiente.

En la siguiente figura tenemos un dibujo que no deja dudas al respecto de este trabajo y su aplicación a lo largo de todos los apoyos y muñequillas de un cigüeñal.



Trabajo de los radios de unión de las muñequillas y los cuellos en un cigüeñal preparado.

Otra forma de radio de unión o de acuerdo (A) que no modifica la posición de los cojinetes.

Sin embargo hay que tener en cuenta que nunca es aconsejable que el radio de unión sea inferior a 1/20 del diámetro de la muñequilla.

Algunos preparadores, con el fin de que este mecanizado no haga disminuir la superficie útil de apoyo e el cojinete correspondiente, utilizan sistemas como el mostrado en la siguiente figura, en donde el radio de unión se mantiene angular pero no afecta a restar superficie de apoyo al cojinete.

ALIGERAMIENTO DEL CIGÜEÑAL

Una de las funciones encomendadas al cigüeñal y de las que participa también en gran medida el volante, es la de regularizar la forma cómo recibe la energía desde los pistones, es un problema de inercia. Al acelerar el motor, la masa del cigüeñal y su volante ejercen un efecto retardador, pues parte de la energía puesta en juego para la aceleración será necesaria para vencer la inercia de estos órganos.

Debido a ello, si deseamos que nuestro motor preparado disponga de una gran aceleración (o por lo menos, sensiblemente mayor que la original) deberemos reducir la masa del cigüeñal y también, como veremos muy pronto, del llamado volante de inercia.

El alivianado del cigüeñal comportará una pérdida de regularidad en el giro del motor y una mayor presencia de vibraciones, las cuales, sin embargo, se compensan en las zonas altas del régimen de giro para los motores en los que hemos de conseguir aumentar su número de rpm. Por lo tanto, el alivianado del cigüeñal hay que tomarlo en consideración según el tipo de motor que pretendamos obtener finalmente.

Si el mejoramiento debe realizarse para un automóvil de utilización mixta, el alivianado del cigüeñal debe ser bastante moderado; pero de no ser así, podemos aumentar los valores de pérdida de peso, según los casos, siempre con peligro de obtener un irregular funcionamiento en los “bajos” del motor.

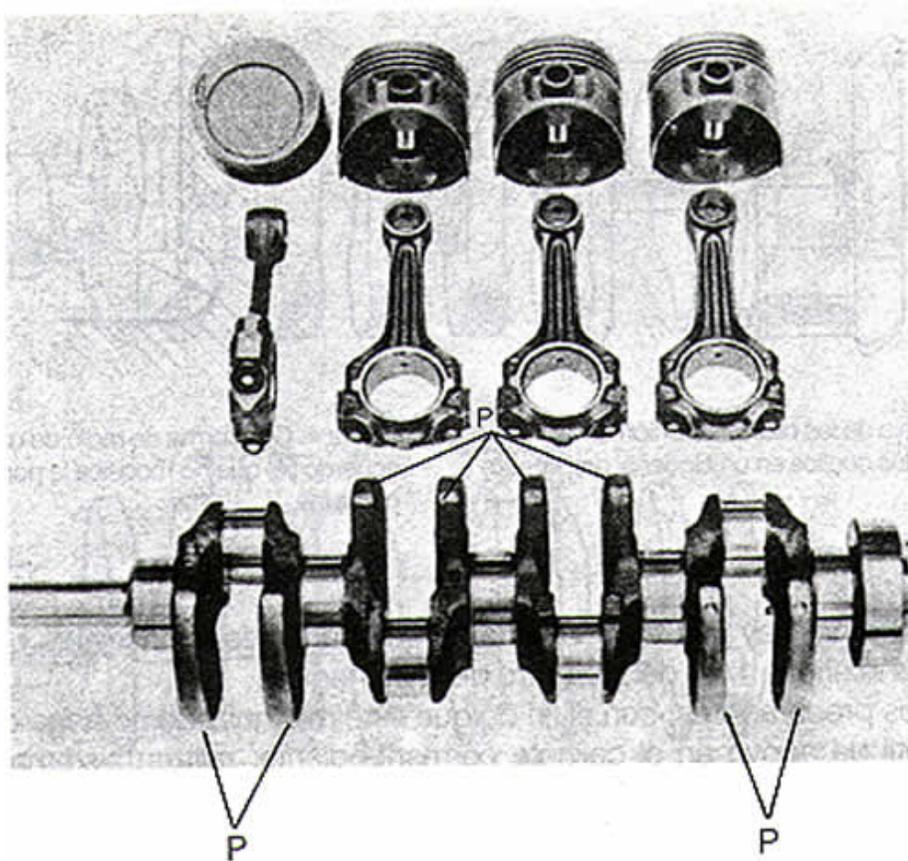
Así, por ejemplo, si hemos rebajado un poco los cuellos y las muñequillas, ya habremos conseguido una ligera disminución del peso del cigüeñal, lo cual puede ser suficiente para según qué casos. Pero si nuestro objetivo se centra en un motor exclusivamente para competición podremos realizar espectaculares resultados reduciendo la masa de los contrapesos, cosa posible, siempre que en la modificación de que se trate se haya aligerado a fondo los otros órganos del tren alternativo.

FUNCION DE LOS CONTRAPESOS Y POSIBILIDADES DE ALIVIANADO

La principal función de los contrapesos es la de conseguir el equilibrio dinámico, no sólo de las fuerzas centrífugas de las manivelas y muñequillas del cigüeñal, sino también de las fuerzas de inercia y centrífugas producidas por el movimiento de las piezas del tren alternativos con él relacionadas, como son el pistón, el bulón, la biela, los cojinetes y los elementos de fijación de la biela.

Si al efectuar la modificación de un motor se alivianan las piezas del tren alternativo y se aumenta el régimen de giro, pueden modificarse los contrapesos variando su forma, despojándolos de parte de su material y haciéndoles perder parte de su peso.

El alivianado de los contrapesos, (P) en la siguiente figura, puede llevarse a cabo por la eliminación de material por torneado de las caras laterales o por recortado del perfil; y también, naturalmente, por la unión de ambos procedimientos.



*Cigüeñal de un motor rápido, de cinco apoyos y ocho contrapesos (P).
En la parte alta de la foto, bielas y pistones de este mismo motor*

El recortado del perfil puede realizarse mediante amolado o por corte con sierra de cinta. En cualquiera de los casos es conveniente determinar previamente la forma final que se desea para los contrapesos resultantes y proveerse de una plantilla de corte que asegure un rebaje exactamente igual para todos los contrapesos.

En cualquier caso, si la eliminación del peso se efectúa por serrado, la forma final definitiva se deberá alcanzar por amolado.

Una vez terminado este trabajo, todo cigüeñal retocado deberá someterse a un riguroso examen de equilibrado, tanto estático como dinámico.

EL VOLANTE DE INERCIA

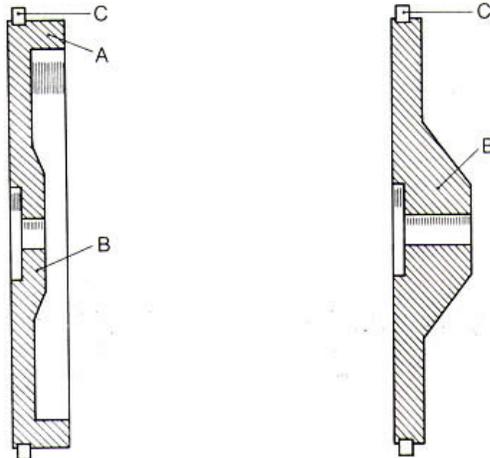
Por lo que llevamos escrito refiriéndonos al cigüeñal, ya se habrá dado cuenta de la importancia que ejerce el volante de inercia, fijado en un extremo del cigüeñal en un motor, aun cuando pueda frenar la rapidez de respuesta de unos pistones a la acción del conductor de oprimir el pedal del acelerador.

Por las mismas razones que el cigüeñal, el volante puede ser despojado de alguna parte de su peso en un valor tanto más importante cuanto menos importante haya sido el alivianado del cigüeñal.

Su influencia se notará sobre todo en el régimen de ralenti. Con el volante de serie este régimen de mínimo podrá mantenerse mucho más firme que con un volante aligerado, hasta el punto de que deberemos forzosamente aumentar el régimen de mínimo, a veces por encima de las 2.000 r/m, si hemos aligerado el volante demasiado. Ello puede no tener la más mínima importancia en un motor en el que hemos trabajado mucho el cruce de válvulas y hemos conseguido desplazar los regímenes de potencia hasta la gama alta. La decisión sobre el aligeramiento del volante comporta tener en cuenta estos varios factores.

Además, hemos de añadir otro, que consiste en la distribución de las masas en el volante de inercia y que tiene una gran repercusión en su comportamiento.

Supongamos, por ejemplo, un volante como el mostrado en la siguiente figura.



Sección de un volante de inercia con la mayor parte de la masa en la periferia, propio para motores lentos, de poca aceleración (A) llanta (B) núcleo central (C) corona dentada.

Sección de un volante de inercia con la mayor parte de la masa en la parte central, propio para motores rápidos, de buena aceleración (B) núcleo central

La acumulación de peso se efectúa, en este diseño, en la parte exterior (A), mientras la parte central (B) del volante se halla desprovista de una masa importante de material. El resultado práctico de este diseño es que el volante acumula mucha inercia en sus bordes (A) y, por lo tanto, resulta apto para motores lentos con una aceleración moderada.

Por el contrario, en esta figura tenemos un nuevo diseño, que tiene la particularidad de pesa exactamente lo mismo que el mostrado en la anterior figura.

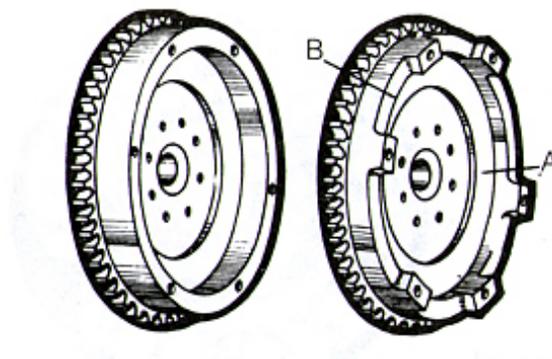
Sin embargo, su resultado práctico es totalmente diferente. La concentración de la mayor masa en el centro (B) acumula menos inercia y permite unas aceleraciones brillantes, sin dejar de ser el elemento regulador del giro del motor que su diseñador espera.

El primero de los volantes será para motores lentos, el segundo para motores rápidos.

Así pues, el peso que deberemos rebajar de un volante estará de acuerdo con el aumento de rpm previstas para el motor que preparamos y también por la forma que tenga de origen este volante. De cualquier modo, cabe recordar que el aligeramiento de peso será tanto más efectivo cuanto mayor cantidad de material se quite de las zonas más exteriores o llanta del volante, teniendo siempre en cuenta no debilitar la zona de anclaje de la corona.

Recordando estos criterios, el aligeramiento del volante es una operación muy sencilla, dada la forma sin complicaciones que suelen presentar siempre estas piezas.

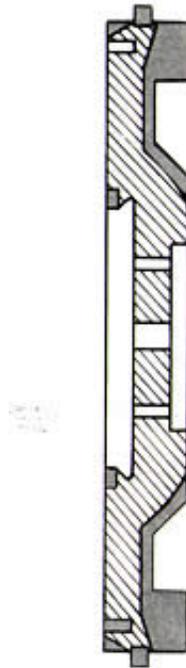
Si se trata de un volante como el que vimos en la figura A, no cabe duda de que deberemos actuar recortando la zona de llanta en trozos iguales o superiores a los mostrados en la figura B.



*Figura B Lugares en donde es posible el aligeramiento de un volante de inercia.
A la izquierda, volante original. A la derecha, volante aligerado en las zonas A (frontal) y B (llanta)*

El alivianado puede ser muy considerable y muy efectivo, pues actuamos por la parte más exterior de la pieza.

En la siguiente figura tenemos señalado, por medio de una zona tramada, las partes en las que es buena la posibilidad de extracción de material en volantes de este tipo. El criterio general, como puede verse, consiste en alivianar especialmente las pares exteriores y conservar en lo posible las masas del centro.



*Vista en sección de un volante y lugares y formas en donde es posible actuar para rebajar el material.
La parte tramada corresponde a la parte de material alivianado.*

Cuando esta solución no es posible por tratarse de un volante, que ya de origen dispone de poca llanta, suele rebajarse el material frontalmente, en la zona (A) de la figura B.

El volante, además de un acumulador de inercia, es el soporte del embrague y que, por lo mismo, es conveniente no debilitarlo, lo cual es diferente de la operación de quitarle peso. De poseer ser, la solución más convincente es la que nos muestra la figura, es decir, la acumulación de material en el centro de giro para asegurar el traspaso de par motor al embrague y la reducción de sus valores de inercia por disponer de una zona de llanta muy ligera.

Para la determinación del peso de material a eliminar, como en tantas otras cosas en la preparación de motores, se suele proceder de forma empírica y experimental. Aunque la eliminación de peso del tren alternativo en general tiene mucho que decir sobre lo que le corresponde al volante en este aspecto, suele servir de punto de partida eliminar una cantidad de peso del volante en un porcentaje igual al aumento de la velocidad de giro que pretendemos obtener del motor modificado. Si el aumento de giro previsto es de un 33%, por ejemplo, quizá podría partirse, como hipótesis de trabajo, de un aligeramiento del peso en un valor superior a un 16% con respecto al peso inicial del volante.

Cuando la reducción de peso deba ser muy notable e importante, como puede ocurrir cuando se prepara un motor para alta competición de velocidad, los preparadores suelen acudir a practicar taladros en la parte más exterior del volante, de la forma que muestra la siguiente figura, Estos taladros no deben encontrarse en la zona de asentamiento del embrague y has de hallarse debidamente reparados para mantener el equilibrio de la pieza.



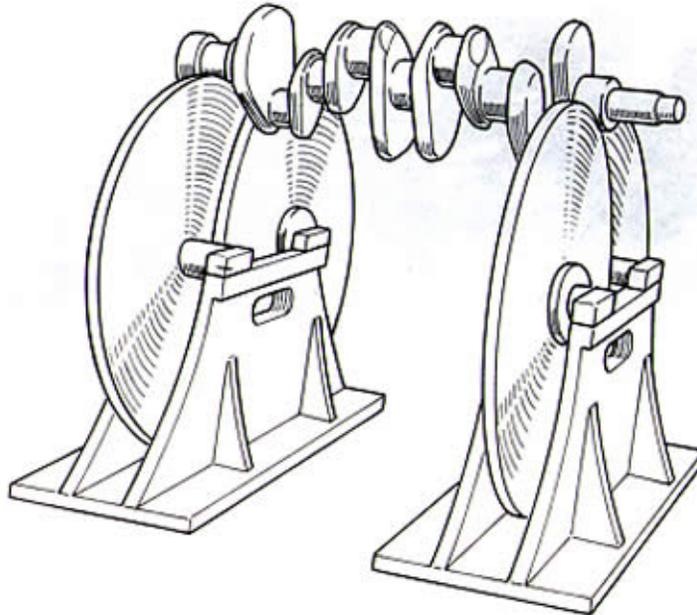
Volante para motor de alta velocidad, fuertemente alivianado por torneado de la llanta y la producción de agujeros en el plato.

BALANCEO DEL CIGÜEÑAL Y DEL VOLANTE

Ahora es el momento de referirnos a los trabajos relativos al equilibrado, cuando tanto el cigüeñal como el volante han sufrido cualquiera de los aligeramientos para su disminución de peso. En este caso, es indispensable comprobar el equilibrado de estas piezas, tanto estático como dinámico, con objeto de eliminar o reducir al mínimo las fuerzas y vibraciones que pueden perturbar el rendimiento del motor e incluso provocar la rotura de algún de sus órganos o el desgaste prematuro de los cojinetes de línea.

EQUILIBRADO ESTÁTICO

La verificación del equilibrado estático puede verse en la figura siguiente.



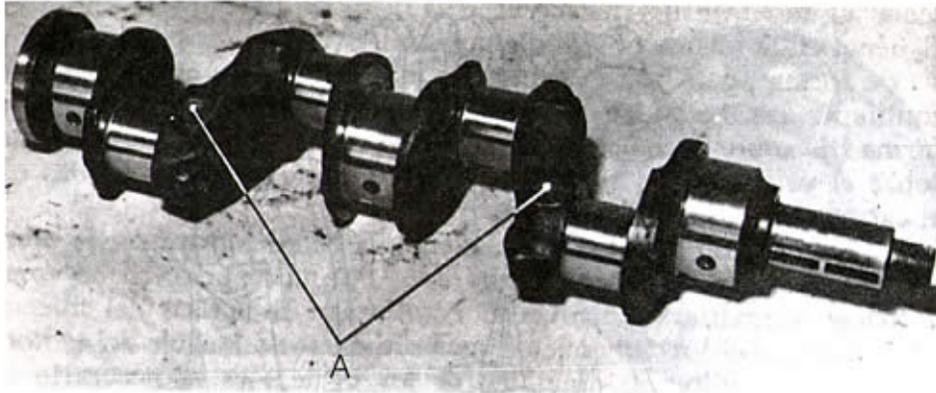
Equilibrado estático del cigüeñal por medio de un juego de discos sobre el que puede girar suave y libremente el árbol motor.

Para llevar a cabo esta comprobación se procede a montar el cigüeñal, apoyado por los cuellos extremos sobre dos juegos de discos especialmente dispuestos para permitir el libre giro del árbol, del modo que muestra la figura.

Una vez debidamente instalado en esta postura, el cigüeñal demostrará su buen equilibrado estático si, al hacerlo girar suavemente sobre su eje, cuando se para lo hace indistintamente e cualquier posición y no tiene, en momento alguno, la tendencia a pararse siempre en el mismo punto.

Se actuará de esta forma, es decir, siempre se parará en la misma posición, sería señal de que los contrapesos de la parte baja disponían de más peso que los de la parte alta y, por consiguiente, deberá efectuarse un aligeramiento de material en esta parte, aligeramiento que se lleva a cabo por medio de practicar cuantos agujeros fuera preciso, colocados en la zona externa de los contrapesos o en los lugares neutros de las manivelas, hasta lograr el perfecto equilibrado estático.

Un ejemplo de cigüeñal verificado y ajustado en este sentido lo tenemos en la figura siguiente.



Cigüeñal mostrando los agujeros (A) practicados para su equilibrio.

Aquí podemos distinguir, señalado con (A) los lugares en los que se han realizado unos agujeros con una fresa, con el fin de eliminar una pequeña parte del material para permitir compensar el exceso de peso existente, de modo que el giro del cigüeñal sobre su eje se regularice.

La cantidad de material a extraer de los puntos sobrecargados resulta de fácil determinación si se posee un juego de pesos imantados. La forma de operar consiste en colocar un de estos pesos en la parte diametralmente opuesta a aquella que se “vence” en la prueba estática. Cuando se ha obtenida la colocación de un determinado peso magnético mediante el cual el cigüeñal gira y se detiene en un lugar cada vez indeterminado, sabremos la cantidad de material que debe rebajarse y el lugar del que debe ser eliminado.

Después de realizado cada retoque para el balanceado, éste debe comprobarse de nuevo en el soporte de discos para verificar el resultado de la operación. Si aparecen otros puntos de desequilibrio que quedaban enmascarados por el de mayor importancia, se deberá trabajar en ellos de la misma forma que hemos visto para el principal.

BALANCEO DINAMICO

El balanceo dinámico de un cigüeñal se efectúa a base de comprobar sus tensiones en movimiento, de una manera parecida a las ruedas de los automóviles. Para efectuar esta verificación se necesita una máquina especial capaz de sujetar debidamente el cigüeñal, de hacerlo girar a varios regímenes de giro y de controlar en un reloj de verificación el valor de la perturbación y el lugar donde se encuentra.

Por supuesto, estas máquinas no son corrientemente utilizadas en los talleres de reparación en general; de modo que el equilibrado dinámico deberá realizarlo el mecánico en algún servicio de reacondicionamiento de motores.

Como quiera que la máquina indica los lugares donde se originan las tensiones, resulta fácil equilibrar un cigüeñal provisto de este defecto.

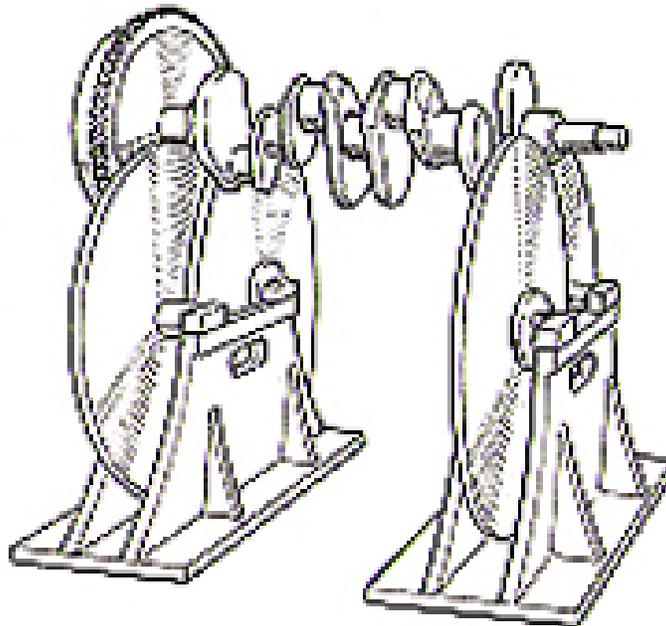
Una vez equilibrado el cigüeñal, tanto estática como dinámicamente, podrá darse por terminado el trabajo en el mismo.

BALANCEO DEL VOLANTE

En lo que respecta al volante también el equilibrado de esta pieza es un factor fundamental para conseguir la marcha regular del cigüeñal.

El primer balanceo a llevar a cabo es el estático, el cual se efectúa de la misma forma que hemos explicado para el cigüeñal. Una vez se haya equilibrado estáticamente este árbol motor, se procede a montar en él el volante, fijándolo con sus correspondientes pernos de unión como si de un montaje definitivo se tratara.

En estas condiciones se pasa a montarlo en el aparato de discos, como nos muestra la figura siguiente.



Balanceo estático de un conjunto de cigüeñal con su volante de inercia montado y la parte de arrastre del embrague montado sobre discos de soporte.

Teniendo ya la seguridad de que el cigüeñal está bien equilibrado, si ahora, al girar todo el conjunto, se advierte la tendencia del mismo a pararse siempre en un mismo punto será evidente señal de que el volante está desequilibrado.

La forma de actuar para corregir el defecto será exactamente siguiendo el mismo procedimiento que hemos descrito con detalle para el cigüeñal, hasta conseguir que el conjunto se detenga siempre en un punto indiferente cada vez que se le imprime un empuje para que gire unas vueltas.

La importancia del equilibrado es tan grande que se recomienda equilibrar también todo el material que irá adosado al volante, es decir, el mecanismo del embrague.

El equilibrado tiene una importancia extraordinaria para el perfecto funcionamiento posterior del motor y resulta imprescindible si se ha trabajado en la parte rotante del tren alternativo y se ha modificado los asentamientos de modo que haya existido arranque de material.

Si instalamos en el motor el cigüeñal sin equilibrar, los resultados pueden ser desastrosos y tanto mayor el riesgo cuanto mayor sea el número de vueltas que del árbol por minuto.

Una zona de tensión en uno de los contrapesos del cigüeñal, por ejemplo, una vez que esté girando a 7.000 u 8.000 r/m, centuplica tanto su valor que fácilmente puede ocasionar no ya vibraciones en el motor, sino la rotura de los pernos que sujetan sus apoyos, las roturas de las bielas, etc, y la formación de grietas en el mismo bloque de cilindros, con los consabidos problemas que este defecto puede llegar a ocasionar.

El mejor consejo que puede darse al respecto es que, de no disponer de máquina balanceadora, se lleve el conjunto a un especialista para que haga el equilibrado y deje estas piezas en perfecto estado de modo que no puedan ser afectadas por perturbaciones durante su veloz giro.

COJINETES

Los cojinetes de motor son piezas de precisión que deben satisfacer determinados requisitos. En un motor alternativo tienen que ser capaces de soportar las cargas y fuerzas generadas por la combustión, permitir al eje rotar suavemente, poseer una larga vida útil sin desgastar excesivamente a las partes en movimiento, tolerar una cantidad de virutas o partículas extrañas normalmente presentes en el aceite y a la vez operar bajo condiciones de funcionamiento adversas en períodos cortos. Las especiales características del cojinete le permiten cumplir con los citados requisitos eficientemente y proteger las partes costosas del motor (cigüeñal, árbol de levas, etc).

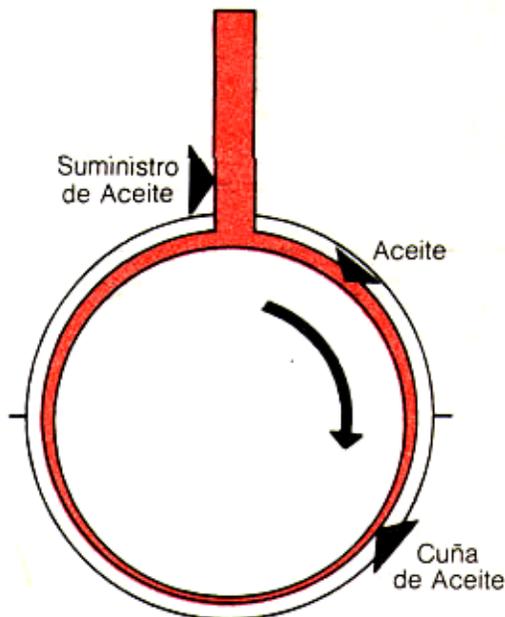
PELÍCULA DE ACEITE

Una buena lubricación es esencial para el buen funcionamiento de cualquier cojinete.

El aceite además de lubricar, debe disipar el calor generado por la carga y rotación del eje.

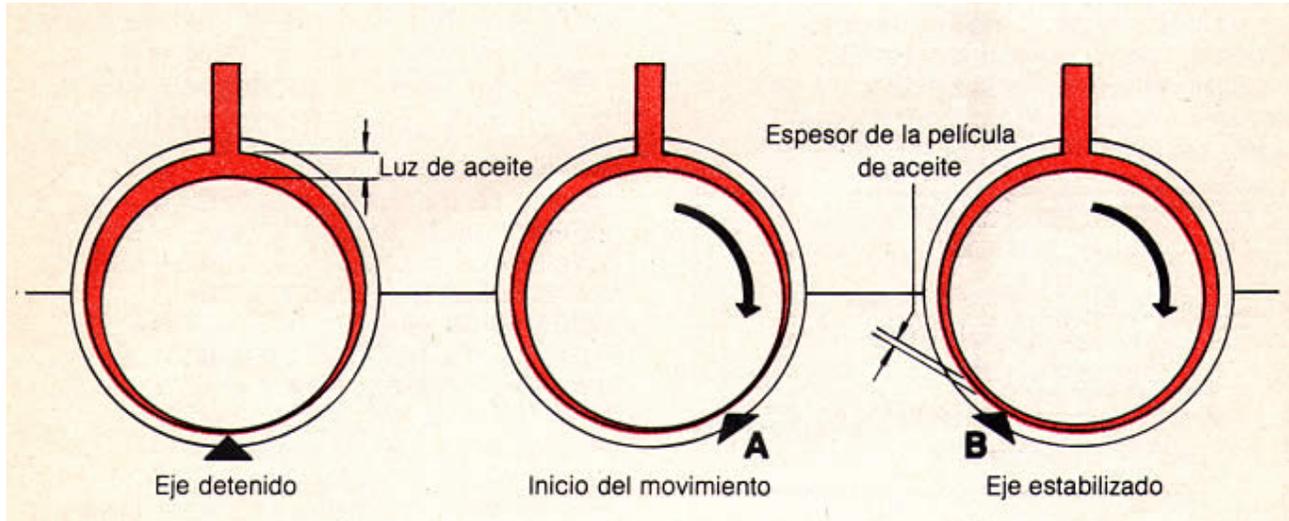
Para satisfacer estos requerimientos, una de las condiciones fundamentales es el establecimiento de un huelgo entre el eje y el cojinete que se denomina luz de aceite y se expresa mediante la diferencia entre ambos diámetros.

Si a un eje con una carga y velocidad de rotación constante le suministramos lubricante para mantener lleno el huelgo antes mencionado, una película de aceite continua será arrastrada hacia la zona de contacto del cojinete con el eje. Este desplazamiento de aceite hacia dicha área causará la compresión de un determinado volumen de lubricante en un espacio cuneiforme, creando “el efecto cuña hidrodinámica” y generando una presión que elevará el eje separándolo del cojinete.



El proceso detallado se inicia con el eje detenido y apoyado sobre el cojinete dejando entre ambos un espacio en forma de medialuna lleno de lubricante. Al comenzar a rotar el eje subirá hasta el punto (A) arrastrando y comprimiendo el aceite contra el cojinete, generando una presión que supera a la carga y separa a ambas piezas.

El eje se desplaza entonces al punto (B) donde se mantendrá estabilizado, si la carga y la velocidad permanecen constantes.



En un motor alternativo de combustión interna la carga y la velocidad son variables, consecuentemente aparecen otras condiciones que merecen detallarse. Bajo estos continuos cambios, el eje puede llegar a operar con una película de aceite excesivamente delgada en algún parte de su ciclo, a tal punto que no pueda evitarse el contacto entre el eje y el cojinete. En estas circunstancias, la película de aceite es tan delgada que las microirregularidades de las superficies sobresalen de ella. Esta condición extrema es conocida como “lubricación límite”, en la cual la película de aceite no es tan fina como para producir el deterioro de las partes ni tan gruesa como para separarlas.

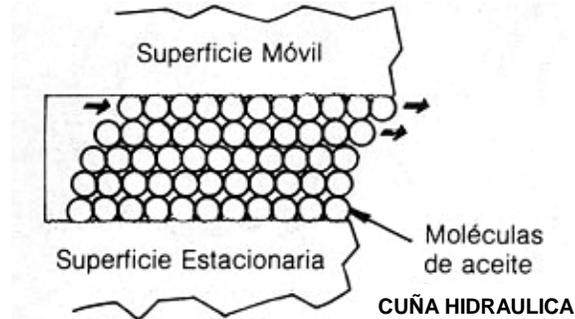
Con cada cambio de velocidad y carga, el eje se moverá a una nueva posición siendo la trayectoria de estos desplazamientos denominada “órbita del eje” y el espesor de la película de aceite variará de acuerdo a ésta.

El aceite es continuamente expulsado por los costados del cojinete, disipando de esta forma el calor generado por la rotación del eje, siendo reemplazado por aceite “fresco” introducido a presión **por los conductos** de lubricación.

FRICCIÓN Y VISCOSIDAD

La fricción entre dos superficies rozantes puede ser reducida separándolas con una película de aceite. De esta forma reemplazamos el rozamiento seco por un rozamiento hidráulico, que aunque mucho más pequeño no es despreciable y es generado por cohesión interna del aceite. Esta es la que controla la tendencia a desplazarse del lubricante y ser expulsado por los costados del cojinete, estando directamente relacionada con la carga máxima aceptable por éste y con el espesor de la película de aceite.

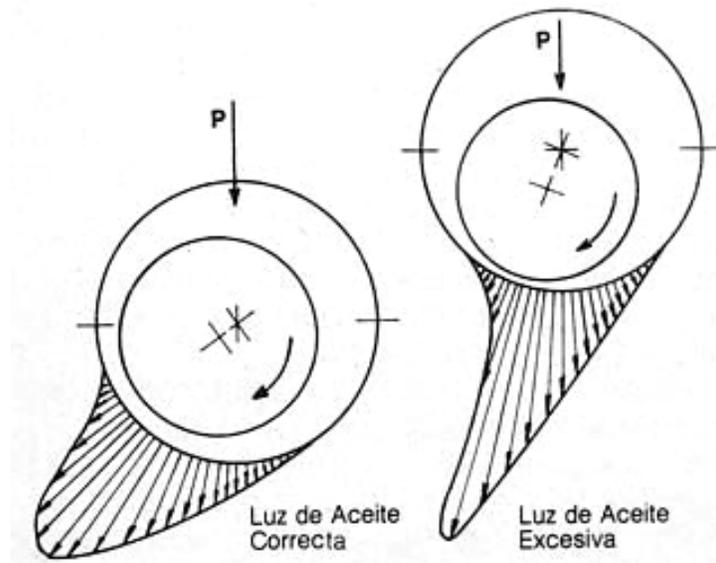
La viscosidad es la medida de esta fricción interna del lubricante. Su incremento aumenta la capacidad de carga de la película de aceite y las pérdidas de potencia por fricción.



LUZ DE ACEITE Y ESPESOR DE LA PELÍCULA DE ACEITE

Se debe evitar emplear luces de aceite reducidas por la elevación de temperatura que esto provoca, con el consiguiente sobrecalentamiento del cojinete. Huelgos pequeños tienden a permitir el contacto de ambos metales, produciendo en excesivo desgaste y en casos extremos, la rotura de las partes, a la vez que el polvo o las partículas extrañas provocan un deterioro mayor del cojinete debido a la dificultad de los mismos a circular a través del huelgo. Si por el contrario la luz de Aceite es excesiva el funcionamiento será ruidoso, el escurrimiento por los costados del cojinete será elevado y la presión generada en la película de aceite deberá ser altísima en una pequeña área de contacto donde la condición de “**lubricación límite**” será inevitable. Esto significa una fuerte concentración de la carga por lo que el espesor de la película de aceite será tan delgado que no podrá separar las piezas.

Diagrama de cargas



Los valores mínimos permisibles de la película de aceite están relacionados con aspectos térmicos y mecánicos del diseño del cojinete, la rugosidad de las superficies, la elasticidad y rigidez del cigüeñal y del block, y las distorsiones térmicas de los mismos.

DISEÑO Y DESARROLLO DE LOS COJINETES

Al diseñar un cojinete se deben interrelacionar los elementos antes mencionados.

DIAGRAMA DE DESGASTE RELATIVO

Muestra los lugares donde por más tiempo prevalecen las condiciones de mínimo espesor de aceite y sirve como indicador del potencial desgaste del cojinete.

ORBITA DEL EJE

El análisis de las condiciones de lubricación basada en la trayectoria del eje dentro del cojinete, permite obtener el espesor mínimo de película de aceite para cada punto del ciclo y elegir la óptima ubicación de los agujeros de lubricación.



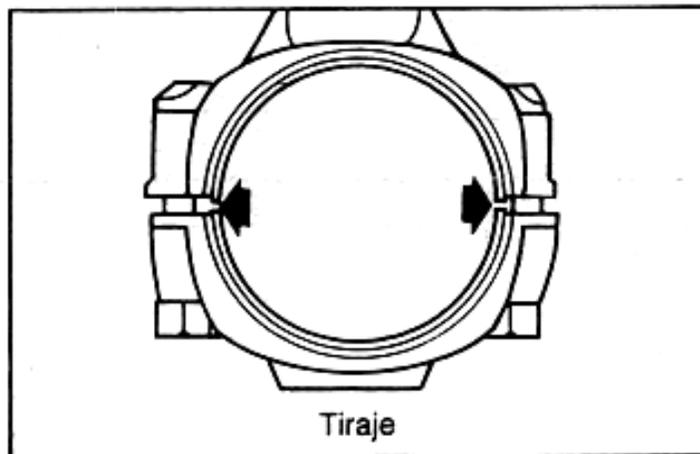
TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO

El aumento de la temperatura de funcionamiento del motor tiene las siguientes implicancias:

- Disminuye la viscosidad, estabilidad química y efectividad del lubricante.
- Deteriora la resistencia mecánica del cojinete siendo más afectados los de metal blanco que los de cobre plomo.
- Incrementa las cargas y tensiones sobre las piezas por las diferentes dilataciones térmicas de los materiales

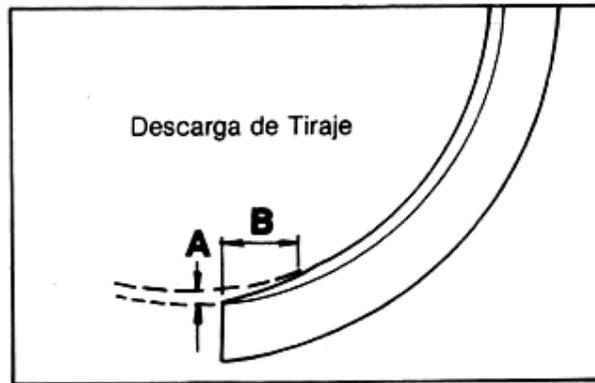
TIRAJE DEL COJINETE

Esta característica del cojinete se logra haciendo que la altura de los dos semicojinetes sea ligeramente mayor que el diámetro del alojamiento y permite que sean instalados con interferencia, asegurándoles un firme apoyo al ajustarse los bulones correspondientes.



DESCARGA DEL TIRAJE

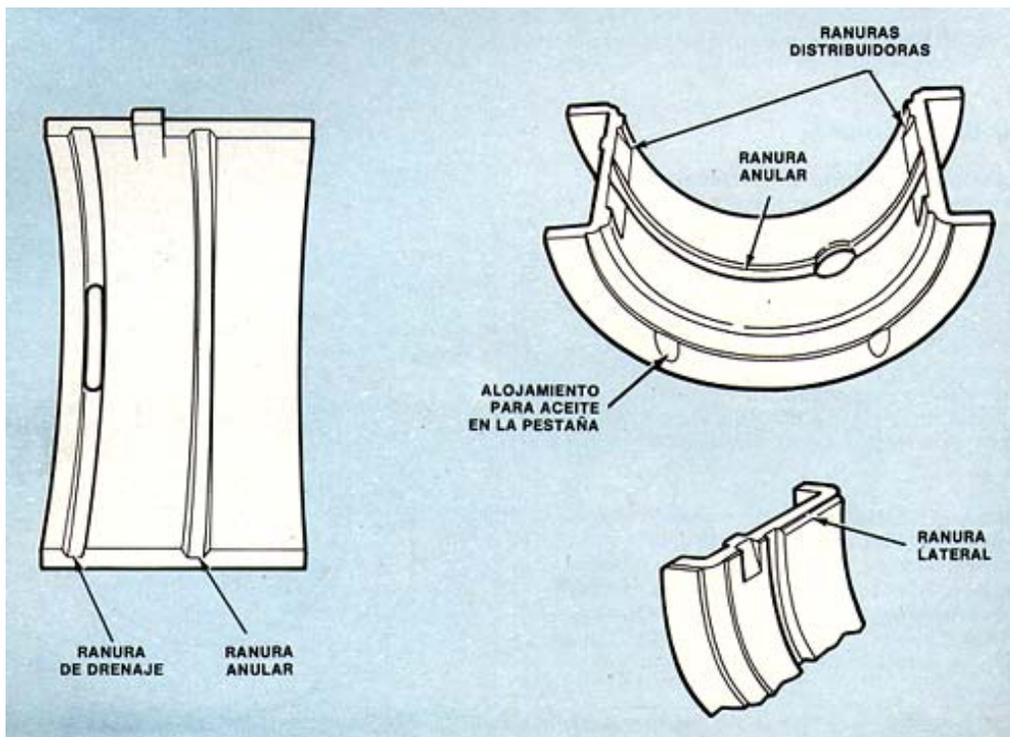
El tiraje del cojinete puede producir una leve deformación del mismo, y ésta se contrarresta con la descarga de tiraje. Esta característica consiste en una disminución del espesor en la zona próxima a los frentes. Además elimina los posibles inconvenientes que pudiera producirse por las pequeñas desalineaciones de la tapa y facilita la expulsión de las partículas extrañas contenidas en el aceite. La reducción progresiva del espesor abarca unos 10 mm (B) y alcanza hasta 0,05 (A) en el frente del cojinete.



RANURACIONES PARA ACEITE

Proveyendo una ranura para el aceite se asegura el flujo de lubricante a toda la superficie del cojinete. Las ranuras para aceite en los cojinetes de bancada pueden actuar como depósito ayudando así a asegurar un flujo continuo de aceite a los cojinetes de biela

Como se ilustra en la figura, hay varios tipos diferentes de ranuras que pueden utilizarse dependiendo de las necesidades de flujo de aceite del cojinete. El tipo más común es la ranura anular completa o parcial. Las ranuras anulares son maquinadas en el cojinete de bancada para ayudar en la distribución del lubricante sobre toda la superficie del cigüeñal.



Una ranura distribuidora ayudará a la distribución lateral del aceite por toda la superficie del cojinete, especialmente en los cojinetes con alta relación longitud / diámetro.

En los cojinetes con pestaña, frecuentemente se utilizan depósito de aceite para ayudar a distribuir uniformemente el lubricante sobre las superficies de empuje.

Algunos cojinetes de bancada trasera tienen además una ranura de drenaje. La ranura de drenaje recibe el aceite en el espacio de lubricación permitiendo que éste regrese al cárter del motor en lugar de ejercer presión contra el retén de aceite del cigüeñal.

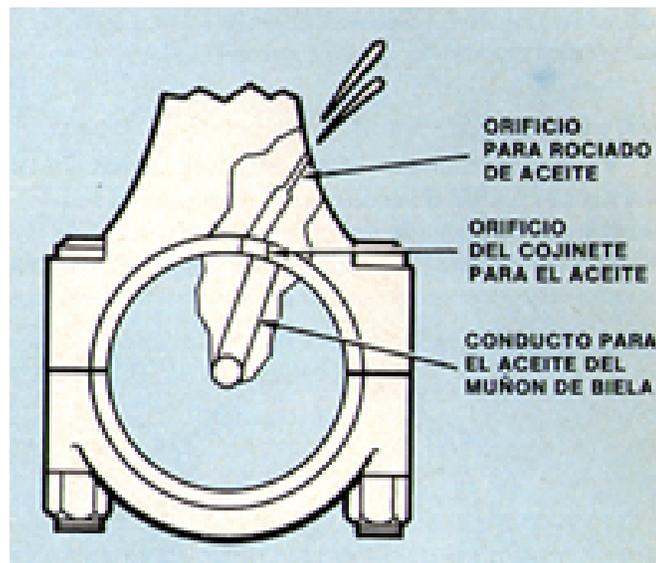
Las ranuras laterales para aceite se utilizan en varios lugares del motor para proveer lubricación a áreas específicas. Un ejemplo de esto es la incorporación de un chaflán grande en las caras divisorias de un cojinete de bancada para abastecer aceite a la pestaña posterior de un cojinete de empuje.

Tenga cuidado de no confundir el chaflán pequeño, normal de la cara divisoria, con una ranura lateral para aceite. Este chaflán normal provee una arista acabada en el cojinete para que no interfiera con la película de aceite si ocurre una desalineación ligera de las superficies de los cojinetes.

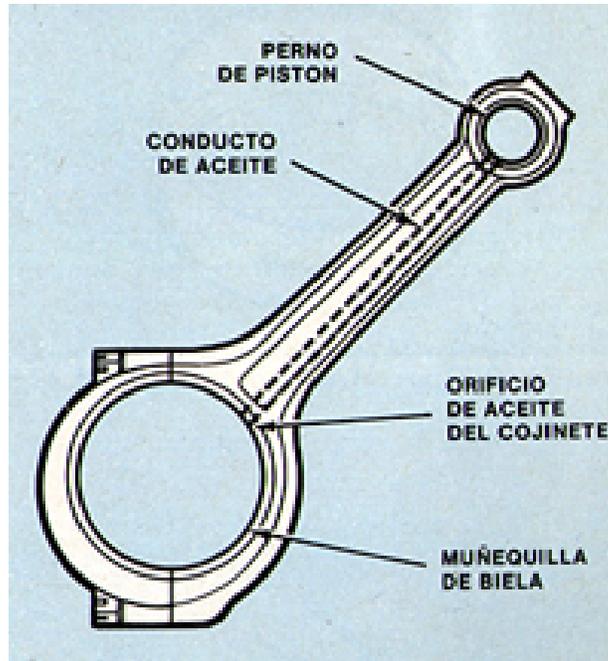
ORIFICIOS PARA ACEITE

Los orificios para aceite están diseñados de manera que permitan que el aceite que fluye a través de las galerías del block entre el espacio previsto para el aceite del cojinete. Los cojinetes de biela reciben el aceite de los cojinetes de bancada por medio de conductos taladrados en el cigüeñal.

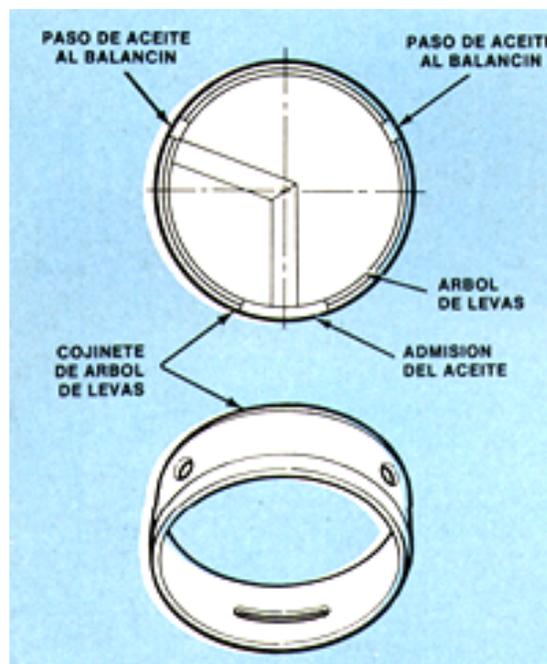
Los orificios de aceite se utilizan también para dosificar la cantidad de lubricante suministrado a otras piezas del motor. Por ejemplo, en las bielas se utilizan a menudo orificios de rociado de aceite para permitir que una cantidad de aceite llegue a las paredes de los cilindros.



En otros diseños de motores, las bielas están perforadas como se muestra en la figura para suministrar aceite de las muñequillas de biela a los bujes de los pernos de pistón.



Además de los orificios de admisión de aceite, los cojinetes de árbol de levas pueden tener orificios para suministrar aceite a los balancines y a otros componentes del tren de válvulas.



Orificios del Árbol de Levas para el aceite

LUZ DE ACEITE

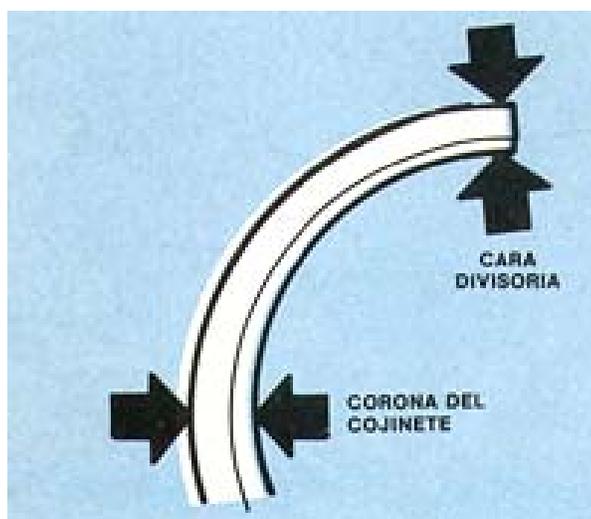
Es crítico mantener una luz de aceite específica para el funcionamiento adecuado del cojinete y el sistema de lubricación. Cuando se reacondiciona un motor, el objeto es restablecer las especificaciones originales de fábrica – incluyendo la luz de aceite establecida.

En muchos casos, cuando el desgaste de componentes internos del motor como el cigüeñal es insignificante, la especificación de la luz de aceite apropiada puede restablecerse instalando cojinetes de reemplazo de tamaño standard. Sin embargo, en algunos casos el cigüeñal puede estar desgastado hasta el punto en que la instalación de cojinetes de tamaño standard resultará en un espacio excesivo para el aceite.

En este caso, hay que usar un cojinete con pared más gruesa para compensar la luz adicional. Aún cuando estos cojinetes son más gruesos, se les llama de bajo-medida porque los muñones de bancada y de bielas del cigüeñal son de menor diámetro, o en otras palabras, tienen un diámetro menor que el tamaño standard.

El uso de cojinetes de sub-tamaño con un cigüeñal de sub-tamaño restablecerá la especificación de fábrica del espacio previsto para el aceite.

En algunos casos, aun se suministran cojinetes semi-acabados, ellos tienen un revestimiento que permite rebajarlos de .060" hasta std. Su uso únicamente se recomienda en circunstancias extremas. La mayoría de los cojinetes se fabrican con una pared excéntrica. Esto significa que el grueso de la pared se hace gradualmente más delgado desde la corona hasta las caras divisorias.



Cojinete de Pared Excéntrica

Los cojinetes de pared excéntrica se producen por dos razones. Primero, la excentricidad ligera de la pared del cojinete ayudará a aumentar el efecto de cuña para crear una película de aceite debajo del área cargada. Segundo, los cojinetes con pared excéntrica ayudan a reducir el espacio vertical previsto para el aceite sin reducir la eficacia del flujo de aceite con el objeto de proveer enfriamiento.

PREPARACIÓN Y ARMADO DEL BOCK

AROS DE PISTON

La función principal de los aros es sellar los gases y productos de combustión, asegurando una adecuada estanqueidad.

Deben ser capaces de controlar la cantidad de aceite depositada en el cilindro, barriendo el exceso hacia el carter transfiriendo además, el calor del pistón a las paredes del cilindro, para que de allí se disipe al sistema de enfriamiento.

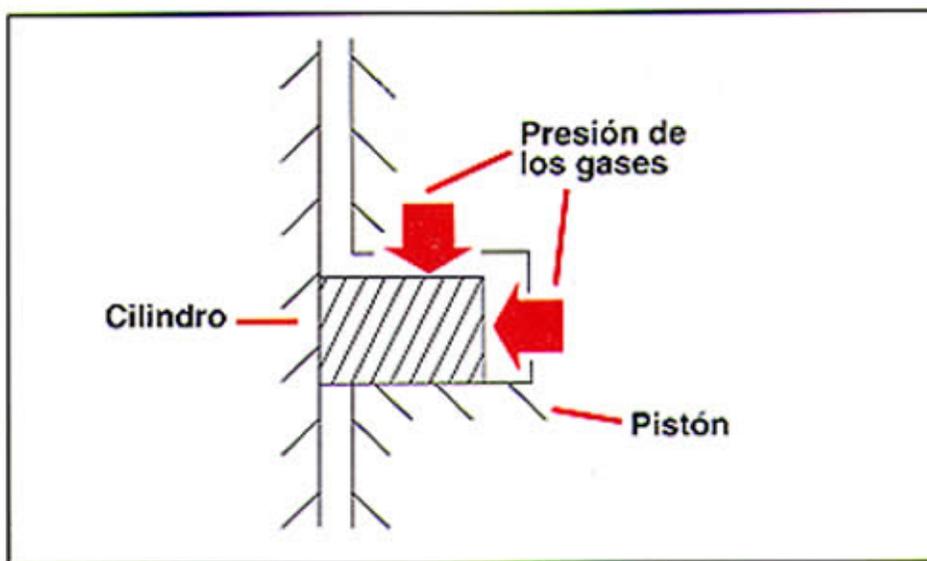
Básicamente, existen dos tipos de aros, los superiores o de compresión y los ventilado o de control de aceite (hidráulicos)

AROS DE COMPRESION

Los aros de compresión deben sellar los gases quemados para lograr que la presión generada por la combustión se transforme en trabajo útil empujando al pistón hacia abajo.

Para esto, los aros se los diseña para que al ser instalados generen una presión superficial sobre la pared del cilindro.

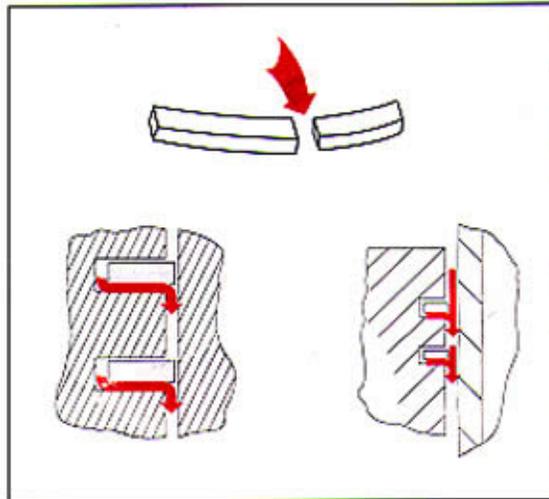
Pero ésta tensión sólo asegura un buen contacto inicial del aro contra el cilindro, ya que lo que garantiza el sellado de altas presiones de los gases de la combustión es ésta misma actuando entre el aro y su ranura, comprimiéndolo contra el cilindro y el tabique inferior.



Presiones de los gases sobre los Aros de Pistón

Más del 90% de la eficiencia de sellado del aro superior se consigue por las presiones de los gases. La luz entre puntas no es el lugar por donde se pierde la compresión.

La mayor parte de la fuga de los gases se da entre el aro y el cilindro, y entre el aro y su ranura. Sólo una pequeña parte se fuga por entre las puntas.



Fuga de los gases

La característica más importante de un aro, es la conformabilidad con el cilindro; que evita la pérdida de la capacidad de sellado.

Utilizar aros de mayor diámetro que el cilindro, mediante el limado de las puntas, hace que éste pierda la forma cilíndrica, generando deformaciones que limitan su conformabilidad con el cilindro.

Una luz entre las puntas demasiado pequeña es peligrosa porque a las temperaturas de funcionamiento los aros pueden bloquearse y romperse.

Los aros de compresión poseen una forma especial (de pera), para que en las puntas tengan más tensión que el resto del aro evitando con ello la vibración que se origina a altas revoluciones y que aumentan el consumo de aceite por bombearlo hacia arriba. (Esta es otra de las causas por la que no deben limarse la punta de los aros).

Los aros con superficie de trabajo cónica tienen un rápido asentamiento debido al poco material que debe gastarse para obtener un buen sellado, asegurando siempre el contacto en el borde inferior.

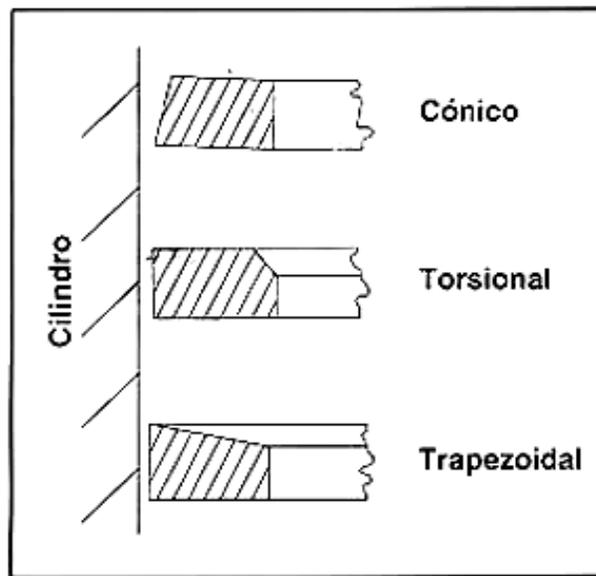
La torsión de los aros, que se obtiene con un rebaje en el borde superior del diámetro interno, produce también un contacto en el borde inferior similar al del aro cónico; facilitando el asentamiento y evitando el agarre del aro.

El sellado del aro en éstos dos casos es superior al aro rectangular, debido a la alta carga específica en la pequeña área de contacto.

Los aros de diseño abarrilado son los más adecuados para utilizar en motores preparados.

En cada aplicación y de acuerdo a los requerimientos especiales, se elige la forma de la cara del aro, su torsión, las luces con las ranuras del pistón y su forma.

El segundo aro de compresión, llamado rasca aceite, no solamente ayuda en el sellado de los gases de combustión, sino que colabora con los de control de aceite.



Distinto Aros

AROS CONTROL DE ACEITE

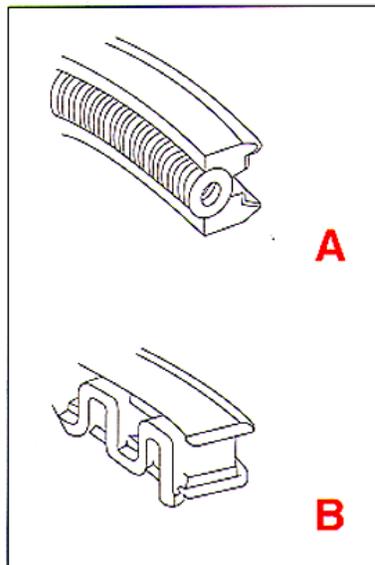
La función primordial de éstos aros es controlar la cantidad de lubricante depositado en el cilindro, distribuyendo una delgada película de aceite, necesaria para lubricar al resto de los aros y al pistón.

Los aros ventilados no reciben la ayuda de la presión de los gases por lo que deben tener la suficiente tensión propia para cumplir su tarea. Una buena conformabilidad y una presión uniforme en todo su contorno, son sus características más importantes.

Hay diferentes diseños en aros de control de aceite teniendo cada uno de ellos sus particulares ventajas.

Un diseño es el conformado por una sola pieza de fundición de hierro con dos bordes para barrer el aceite, con orificios de drenaje en la parte central. Para aumentar su tensión se emplean expansores poligonales o helicoidales.

Otro diseño es el de tres piezas, dos láminas y un expansor-separador de acero, que se combinan para generar una presión uniforme y controlada, con un amplio pasaje de aceite.



A: Expansores poligonales B: Dos láminas y expansor

Entre éstos se destaca el B con una alta capacidad de drenaje de aceite.

CARTER

Un incremento de la cilindrada o del régimen del motor obligará seguramente a aumentar la capacidad del respiradero del cárter. Incluso en un motor de cuatro tiempos, en el que no se producen cambios globales de presión en el cárter, el movimiento de gases dentro del mismo basta para absorber energía, y si se utiliza un respiradero de tamaño adecuado, se solucionará en parte el problema. Los cambios de holgura de los cojinetes del cigüeñal y de la falda del pistón pueden dar también problemas de lubricación, y puede ser necesario utilizar segmentos de otro tipo, o modificar el sistema de engrase con comportamientos en el cárter o por un sistema de cárter seco.

FIABILIDAD

Cuando se modifica un motor para aumentar su potencia, se presentan tres tipos de tensión añadida en sus piezas. Se aumentan las tensiones, sobre todo las originadas por las fuerzas de inercia, que suelen aumentar por el cuadrado de la velocidad. En segundo lugar, aumentan las cargas de la transmisión. En tercer lugar, aumentan las cargas térmicas, lo que supone una carga directa sobre algunas piezas, además de otros efectos secundarios: por ejemplo, a mayores temperaturas tenderán a variar los huelgos, y disminuirá la resistencia a la fatiga de los materiales.

MARCARSE UN OBJETIVO REALISTA

A partir de estas consideraciones, deber ser posible marcarse un objetivo realista. El motor está construido de forma que su funcionamiento se ajuste a su componente más restrictivo. Como es relativamente difícil cambiar varios componentes a la vez, se debe diseñar un programa práctico de mejoras, que permita realizar modificaciones parciales sin tener que reconstruir todo el motor varias veces. Si es posible, resulta útil disponer de dos motores, o por lo menos de varios ejemplares de las piezas más importantes, como la tapa, para poder ir efectuando mejoras o experimentos en una de ellas y poder volver a la situación anterior si la alteración en cuestión nos produce resultados desfavorables o averías.

La tabla siguiente presenta el plan de trabajo propuesto para la labor de mejora de un motor normal, los problemas que pueden surgir en cada paso y el capítulo en que se trata cada tema.

Cambio	Incremento	Problemas
Mejoras sin modificaciones estructurales	0 a 5	Disponibilidad de piezas
Entrada / filtro de aire	0 a 15	Más ruido, menos potencia a regímenes medios.
Escapes	- 10 a + 10	Más ruido, menos potencia a regímenes medios
Levas	5 a 10	Pérdida de potencia por debajo del régimen punta.
Subida de calibre de cilindro	5	Pérdida de revoluciones máximas, vibraciones, pérdidas de aceite
Incremento de relación de compresión	5	Detonaciones
Carburador	5	Poca potencia a regímenes bajos.
Modificación general para carreras	30 a 50	El auto no se podrá usar en la vía pública. Pérdida de flexibilidad

Vale la pena hacer notar que, generalmente, las pérdidas serán superiores a las ganancias, el secreto es sufrir pérdidas en aspectos que no importan o que se pueden tolerar

PISTONES, CAMISAS, CAMARA DE COMPRESION

En un motor muy modificado, el pistón es el factor que limita el desarrollo ulterior. Su papel es fundamental a la hora de determinar todas las características siguientes:

- 1- Superficie del pistón
- 2- La masa del pistón limita la velocidad máxima de seguridad del cigüeñal
- 3- El diseño del pistón y de los segmentos limitan la velocidad máxima del pistón.
- 4- El tamaño del "squish", la forma de la cámara de compresión y la relación de compresión.
- 5- Límites térmicos, sobre todo en el diseño de la cabeza del pistón y en los materiales de construcción de los pistones.
- 6- Pérdida de rozamiento y control de aceite.

Todos y cada uno de los aspectos de la producción de potencia resultan afectados por alguno de estos factores, de forma que todo cambio que se efectúe sobre el motor tendrá que acomodarse al diseño del pistón. Los niveles más avanzados de mejora y puesta a punto de un motor nos acercarán mucho al peligro de avería del pistón, o de averías relacionadas con el pistón. Es corriente que se convierta en una cuestión de resistencia (normalmente, de la capacidad del pistón de soportar cargas térmicas), y en último extremo, a mayor resistencia más peso tendrá el pistón, peso que limitará el régimen de marcha del motor. Como siempre se produce un conflicto de resistencia/peso, el diseño y los materiales del pistón son factores críticos.

Los pistones forjados suelen ser las más resistentes, y dada su mayor densidad tienen una mejor disipación térmica, y pueden transmitir mejor las cargas térmicas. Por la misma razón, tienden a ser más pesados que los pistones de fundición.

Los pistones de fundición tienen dos ventajas. Pueden ser ligeros, y su diseño sufre menos restricciones. Es más fácil diseñar un pistón de forma más complicada, en el cual, por ejemplo, se añade más metal en ciertas zonas del pistón para aumentar su resistencia.

En términos de resistencia / peso y propiedades anti-agarrotamiento, los mejores materiales son las aleaciones de alto contenido en silicio, pero son difíciles de moldear y de mecanizar. Pero los japoneses son unos artistas en este sentido, y sus pistones de aleación de serie llegan a ser tan buenos como otros que se venden como "Kits de competición". Vale la pena quedarse con los pistones de serie por lo menos hasta que el motor está tan mejorado que el pistón empieza a dar problemas. Aun en ese caso, no estamos seguros de que se pueda encontrar un pistón mejor. Lo más corriente es que a los pistones de serie se les fundan las cabezas; los sustitutos forjados bien pueden resultar más resistentes, pero también serán más pesados, y pueden hacer que donde se presenten problemas sea en la biela y en el cojinete de la cabeza de la misma.

Las únicas mejoras que se pueden llegar a producir en este terreno se deberán al empleo de nuevos materiales. Ya aparecen pistones con faldas y cabezas revestidas, y se empiezan a emplear materiales cerámicos para el interior de los mismos, para darles una mejor resistencia térmica. Los fabricantes siempre pueden aprovechar mejor los nuevos avances tecnológicos en el terreno de los materiales y por lo tanto es probable que los pistones elaborados por los fabricantes de equipos originales sigan siendo mejores que los de las casas menores que ofrecen kits alternativos. También puede suceder que los pistones cada vez sean más difíciles de alterar. Algunos fabricantes de motores someten los pistones a otras piezas a procesos de granallado para aumentar su resistencia, de forma que su superficie adquiere mayor resistencia a la fatiga y se cierran las pequeñas irregularidades de la superficie o grietas. Si se aplica este tratamiento a un pistón revestido, se quitará el revestimiento y la pieza perderá resistencia.

SUPERFICIE DE PISTON

Una forma sencilla de incrementar la capacidad del motor, como bomba y como intercambiador térmico, es aumentar el calibre del pistón. El límite lo marca el grosor físico de las camisas (o la distancia entre las camisas), y la cilindrada del motor si ha de participar en una competición. Se produce una serie de efectos secundarios, unos buenos y otros no tan buenos.

Las ventajas son que el mayor calibre aumenta automáticamente la relación de compresión, y produce una banda de "squish" más ancha, que les suele faltar a los motores de cuatro tiempos. También deja más espacio en la tapa de cilindros para poner válvulas mayores, sobre todo en los modelos con cámara hemisférica de dos válvulas.

Las desventajas son que los nuevos pistones serán más pesados, lo que limitará la velocidad de giro máxima del cigüeñal y dará más vibraciones. Esto se puede evitar tallando los contrapesos o los ejes de balance. Por lo que se refiere al rendimiento del motor, los pistones mayores reducirán el tiempo – superficie específico de las válvulas, de forma que aunque el mayor flujo de gases debe aumentar el par motor, es posible que la potencia punta se produzca a menores revoluciones. Para contrarrestar esta tendencia, hará falta utilizar válvulas mayores o aumentar el tiempo de abertura de las mismas, y así conseguir que el motor respire bien a su régimen punta primitivo.

Si la subida se lleva a cabo rectificando las camisas ya existentes, quedarán más delgadas y serán más susceptibles a la distorsión y a las averías por fatiga de los materiales. No podrán disipar el calor del pistón con tanta eficiencia, y pueden hacer que el funcionamiento normal del motor se produzca a mayores temperaturas del pistón.

La alternativa es alesar (mecanizar) el bloque del cilindro de forma que acepte camisas mayores, suponiendo que se disponga de suficiente distancia entre los pistones. Cuando las camisas tienen rebordes, puede ser necesario aplanar los mismos si los cilindros están muy próximos entre sí.

Por último, otra desventaja de aumentar el diámetro de los pistones es que se tendrán que fabricar juntas nuevas. Esto suele causar pérdidas de aceite, que pueden perjudicar al motor pero que en realidad no suelen tener importancia.

El espesor mínimo de las camisas de acero se puede calcular a partir de las piezas de serie del fabricante: equivale a su espesor mínimo, menos el desgaste máximo tolerado. En un motor de competición sería posible bajar de este mínimo, pero no demasiado, porque acabarían produciéndose problemas de calentamiento o de fatiga de materiales; en un motor de turismo carretera no se puede toronar tanto la camisa: hay que dejar un margen de seguridad. El espesor mínimo de la camisa estará comprendido entre 3 y 4 milímetros, dependiendo del diámetro del cilindro.

El mínimo absoluto es de 2'5 mm, para motores que sólo deban funcionar durante muy poco tiempo seguido.

La fatiga de los materiales se produce porque la camisa no encaja perfectamente en el bloque del cilindro a la temperatura de trabajo del motor, y por la presión de los gases de su interior, tiende a expandirse hacia fuera. Si tiene reborde superior, esta parte de la camisa será mucho más rígida que el resto, pero sucede también que la parte superior de la camisa que sufre más esfuerzos está a unos 15 o 20 centímetros de la parte superior, por lo que todas las fuerzas de deformación se concentran en una zona muy pequeña de la camisa. Si la resistencia de la camisa ya se ha visto mermada por el aumento de calibre, entonces este esfuerzo cíclico puede ser superior al límite, y la camisa se estropeará por fatiga de los materiales: lo más probable es que se produzca una grieta a poca distancia del borde superior.

Esto se podría evitar haciendo que la camisa fuese más gruesa y, si se ha mecanizado el bloque del cilindro para aceptar camisas mayores, mejorando el ajuste. En las camisas cercanas al borde exterior del cilindro, se puede proteger el motor para el caso en que se produzcan averías de este tipo, sujetando el borde inferior de la camisa para que no caiga si se raja por la parte superior.

Esto se puede hacer mecanizando un reborde pequeño de 0'4 mm en la parte exterior de la camisa, de la mitad hacia abajo, y otro reborde en el cuerpo del cilindro en el que se apoye el reborde de la camisa. O bien, se puede atornillar la camisa al cilindro. Para conseguirlo, hay que taladrar un orificio cerca de alguna parte más bien gruesa del cilindro, cerca de su parte inferior, y roscar el orificio. Luego se introduce un tornillo. Todo esto se ha de hacer, evidentemente, antes del rectificado del cilindro.

Cuando se rectifican los cilindros o el bloque, se debe utilizar una máquina que permita que todos los cilindros estén paralelos entre sí y en ángulo recto al eje del cigüeñal, y que no se limite a centrarse en el cilindro ya existente.

Cuando se haya rectificadado el cilindro, antes de introducir las camisas, puede ser útil someterlo a un granallado, para sellar la superficie interna y para evitar que se produzcan filtraciones de aceite que afloren a la superficie externa y le den mal aspecto.

Cuando se hayan clavado a presión las camisas en su sitio, y cuando se haya comprobado que todas tienen la misma altura, se deben mecanizar para darles su altura adecuada si es preciso, y por último se deben rectificar hasta que los pistones tengan la holgura requerida. En un motor bien puesto a punto, esta cifra sería algo mayor que la de una máquina de serie: en un cilindro de 50 mm de diámetro, es normal un incremento de 0,05 mm.

Si ha adoptado un pistón de tipo nuevo, atégase a las recomendaciones del fabricante para determinar la luz del pistón. Los pistones de aleación de alto contenido en silicio tendrán un coeficiente de expansión reducido, y se pueden armar con pequeñas luces (0'03 mm).

Si el pistón es de una aleación con bajo contenido en silicio, tendrá un coeficiente de expansión más elevado y por ello requerirá una mayor luz en frío (hasta de 0'09 mm). Los pistones deben estar equilibrados: deben tener el mismo peso y ajustarse a sus respectivos cilindro. Algunos fabricantes no se molestan en asegurarse de que cada juego de pistones esté compuesto de piezas del mismo tamaño exacto; en dicho caso, tendremos que medirlos uno a uno y rectificar el cilindro hasta que se ajuste a su pistón.

El rectificadado de cilindros es un proceso especializado que hace algo más que dar al cilindro su tamaño final. También produce una superficie cuyo acabado es de franjas entrecruzadas, sobre la que debe trabajar el pistón y los segmentos, y que tiene que mantener una película de aceite. Este acabado determina enormemente el asiento ulterior de los aros sobre el cilindro, el desgaste y el control del aceite. La empresa Hepwort y Grandage recomienda un ángulo de 60° para el acabado (con respecto al eje del cilindro), y una zona lisa de entre 1/2 y 1/3, todo ello para sus camisas de fundición.

En el montaje, compruebe que todos los pistones alcanzan su altura máxima en el PMS; si no es así, compruebe que no se haya deformado el cigüeñal ni el bloque de cilindros. Si las alturas de los pistones difieren, puede ser necesario mecanizarlos para igualarlos. Otros motores tienen, en lugar de camisas, cilindros de aluminio revestidos, ya sea por un cromado o por un proceso patentado como el Nikasil. Tienen ventajas pro su menor peso, por su mejor conductividad térmica y por su dilatación, que es equivalente a la del pistón, pero no se puede rectificar ni variar para nada que es equivalente a la del pistón, pero no se puede rectificar ni variar para nada el diámetro del cilindro. Para que el pistón tenga la luz adecuada, se recurre al montaje selectivo (es decir, a elegir un pistón del tamaño adecuado), y es importante utilizar los aros que recomienda el fabricante. La empresa Mahle de Alemania, es capaz de reacondicionar los cilindros revestidos de Nikasil siempre que el metal base no esté estropeado ni rayado.

MASA DEL PISTON

La aceleración máxima que alcanza el pistón se produce cuando éste pasa por el PMS. En dicho punto, la aceleración A equivale a:

$$A = b^2 r (1 + r/L)$$

donde

b = velocidad de rotación en radianes por segundo = $N \times 0'1047$ donde N es la velocidad de rotación del cigüeñal en r.p.m.

r = carrera / 2

L = longitud de la biela

La fuerza F que se genera en la cabeza en la mitad inferior de la biela se calcula por la fórmula:

$$F = m A$$

donde

m = la masa del pistón, aros, perno y seguros de perno, más la de los dos tercios superiores de la biela.

Suponemos que el fabricante habrá determinado la fuerza máxima que la biela puede soportar, y esta fuerza, para una masa determinada del pistón, nos indicará el régimen de revoluciones máximo al que se puede funcionar sin peligro (que es el régimen que el fabricante coloca en la zona roja del cuentarrevoluciones).

Si se cambia entonces la masa del pistón, el régimen máximo de seguridad también variará, para mantener los mismos niveles de tensión sobre las piezas. Para la misma tensión sobre la biela.

$$b_2 = b_1 \sqrt{(m_1 / m_2)}$$

donde

b₂ = régimen máximo nuevo

b₁ = régimen máximo primitivo

m₂ = nueva masa del pistón + perno, etc.

m₁ = masa antigua del pistón + perno, etc

VELOCIDAD DEL PISTON

La velocidad media del pistón V es igual a:

$$V = 2 SN$$

donde

S = carrera

N = velocidad de giro del cigüeñal

Como regla aproximada, se puede decir que la velocidad media máxima del pistón (sin segmentos especiales) es de 20 m/s. A dicha velocidad, empiezan a alterarse las condiciones de funcionamiento, tales como el control del aceite y el nivel de rozamiento en las paredes del cilindro. Empiezan a tener importancia los rozamientos y el efecto de freno del aceite y puede valer la pena utilizar un pistón de dos aros (que no cerrará el paso a los gases no controlará el aceite demasiado bien a regímenes menores).

El otro problema que se asocia a las velocidades altas del pistón es la vibración de los aros, ya que la inercia del aro puede llegar a ser tan importante que éste se levante del fondo de la ranura o garganta al cambiar el sentido del movimiento del pistón. Esto de problemas de pérdida de compresión y de control del aceite, así como de desgastes rápidos de los aros.

CÁMARA DE COMPRESIÓN

La cámara de compresión debe conseguir dos objetivos: proporcionar toda la compresión que se pueda sin que se llegue a producir la detonación de la nafta y conseguir una buena combustión. Aquí "buena" quiere decir tan rápida como sea posible, pero de forma ordenada y con un mínimo de pérdidas de calor.

Esto nos marca el primer requisito. La figura geométrica que tiene la menor superficie en relación a su volumen es la esfera; por lo tanto, la forma básica de la cámara de compresión debe ser esférica. En seguida se presenta el problema del pistón, cuya cabeza es su punto más débil, y cuya forma ideal es la plana, o ligeramente curva (hacia fuera o hacia dentro). El resultado es la cámara semiesférica, que fue durante muchos años la forma aceptada de las cámaras de compresión, y tenía válvulas dispuestas en ángulo muy abierto para conseguir la máxima superficie; hasta que los asientos de las válvulas se llegaban a tocar en el centro, y llegaban hasta el borde de la tapa por los lados. Con esta disposición, la bujía tenía que estar descentrada (lo ideal es que la combustión se inicie en el centro de la esfera).

Para conseguir una compresión elevada, el pistón tiene que tener una cabeza bastante ancha, y por otra parte la cabeza debe tener rebajes para que las válvulas, que son muy grandes, no lo rocen en su subida cuando estén abiertas.

Todo esto debilita la cabeza del pistón, por lo que se tiene que fabricar más pesada, y la cámara de compresión adquiere la sección de una media luna, lo que obliga a la llama a recorrer mayores distancias. También se ha aumentado así la superficie, y como consecuencia se producen mayores pérdidas de calor, y la eficiencia térmica es menor; el pistón está lleno de bordes que rodean los rebajes, bordes que se calientan más que el resto del pistón y pueden llegar a producir autoencendidos.

Una versión modificada de la tapa semiesférica tiene forma de dos esferas parciales, la mayor de las cuales alberga la válvula de admisión. Esta disposición no pretende más que agrandar la válvula de admisión sin perder volumen en la zona de la válvula de escape.

De hecho, se puede rellenar el volumen que se desaprovecha a cada lado, formando una banda de “squish” en la zona en que el pistón llega casi a rozar la tapa en el PMS.

La turbulencia de “squish” resulta muy útil. El efecto se produce al crear un anillo de gases a alta presión alrededor del borde del cilindro, lo que fuerza a las zonas más externas de los gases a dirigirse rápidamente hacia el centro. Así se consigue que los gases se muevan hacia la llama de encendido, mientras que su propia turbulencia facilita su quemado. El resultado es que la combustión es rápida, y más completa que lo que hubiera sido de otra forma. Esto se demuestra comprobando que aumenta el consumo específico de combustible, y que se puede retrasar el encendido sin perder par motor.

Un efecto secundario es que la temperatura de la cámara de compresión se puede reducir, lo que permitirá a su vez una relación de compresión mayor sin que se produzca la detonación de la mezcla. Si no se aprecian estas ventajas, entonces es que no funciona el efecto de “squish”.

Parece ser que para que funcione el efecto del “squish”, es de fundamental importancia la luz entre pistón y tapa de cilindros. Lo ideal es que la luz sea mínima, lo que quiere decir que cuando el motor esté parado y frío, debe haber una luz de entre 0'6 y 1 mm, en función de los materiales. Durante la labor de reforma del motor, suele ser posible ir reduciendo poco a poco la luz, hasta que se presenten síntomas de que los pistones llegan a tocar ligeramente la tapa a regímenes muy altos; en ese caso, se volverá a la holgura anterior. La turbulencia de los gases también evita que se acumulen depósitos de carbonilla en la cabeza del pistón: es otra forma de saber que está funcionando el efecto.

No siempre es fácil medir la luz con el motor parado; se suele utilizar plastilina o estaño de soldar, que se coloca entre la cabeza del pistón y la tapa y luego se hace girar el motor a mano y se mide la anchura del material comprimido. Después de hacer funcionar el motor, siempre se debe ir comprobando si se producen rastros en la tapa que indiquen que el pistón hace contacto con la misma.

Las tapas de cuatro válvulas presentan una cámara de compresión más compacta, con menor superficie, con unas cabezas de pistón más sólidas, y con mayor oportunidad de aprovechamiento de las turbulencias por “squish”. Los primeros modelos de motores de serie que utilizaron este sistema (a finales de los 70), no aprovecharon todas sus ventajas, porque todavía utilizaban grandes ángulos entre las válvulas de admisión y de escape. Esto afecta a la forma de la cámara de compresión en la tapa y también exige grandes rebajes de la cabeza del pistón para que no entre en contacto con las válvulas.

Cuando las válvulas se instalan a un ángulo menos agudo, se consigue la forma compacta, de tejado, que es la alternativa más practicable después de la forma esférica ideal. Al disponer de dos válvulas de admisión menores, se dispone de mayor superficie de válvulas a igualdad de calibre de pistón, pero esta no es la ventaja fundamental. El levantamiento máximo de las válvulas es proporcional al diámetro de las mismas, de forma que es preciso un levantamiento menor para conseguir un flujo de gases completo. También se reduce el problema de las luces entre válvulas y entre pistón válvulas; además, por ser más ligeras las válvulas, se pueden levantar más rápidamente sin sobrecargar el mando de la distribución. Esto permite mejorar mucho el tiempo – superficie, y alcanzar regímenes mayores sin peligro de avería en las válvulas ni en el mando de la distribución en general.

Existen dos ventajas más. En primer lugar, la bujía se puede colocar en el centro de la zona de combustión (de hecho, resultaría difícil encontrar otro lugar donde ponerla). En segundo lugar, la zona de válvulas forma a grosso modo un cuadrado, dentro del límite circular de la tapa. Los sectores en forma de D que quedan entre los lados del cuadrado y el límite de la tapa pueden convertirse en excelentes zonas de “squish”.

Para modificar las tapas, hay que perfilarlas, o rellenarlas primero de soldadura y luego perfilarlas; suele ser necesario volver a mecanizar los asientos de las válvulas o hacer que éstas se asienten más profundamente en la tapa. La forma más sencilla de aumentar la relación de compresión es rebajar el plano de la tapa o del plano del block.

Cuando se haya modificando la tapa de alguna de dichas maneras, habrá que volver a medir su volumen, para nuestras comparaciones ulteriores o para comprobar que todas las cámaras de compresión sean iguales. Para este tipo de comparaciones, basta con conocer el volumen de la tapa, pero también hace falta conocer la relación de compresión, por lo que habrá que comprobar también el volumen de la cabeza del pistón.

Se puede medir en primer lugar el volumen de la tapa por medio de una bureta llena de algún líquido de baja viscosidad. La tapa debe estar perfectamente horizontal, o bien se puede ajustar a la misma una placa lisa y transparente que tenga un agujero en el centro de un tamaño suficiente para que entre el líquido y salga el aire.

Si se coloca la tapa de forma horizontal, bastará con llenarla hasta que la superficie del líquido esté al nivel del plano de la tapa. Pero con este método se produce cierto error de medida, por el menisco que forma el líquido a causa de la tensión superficial, y que hace difícil juzgar cuándo están las dos superficies al mismo nivel.

Para calcular el volumen de la cabeza del pistón, hay que medir la distancia entre el borde superior de la cabeza en el PMS y el borde del bloque del cilindro. Esto nos dice cuánto entra el pistón en la cámara de combustión. Luego, con el aro superior montado en el pistón, se debe bajar éste en el cilindro una distancia conocida h . Sellando con grasa el cierre, a la altura del borde superior del cilindro. Seguidamente, llene el cilindro con la bureta y mida el volumen de líquido que admite.

El volumen de un cilindro liso de la misma altura sería de

$$\pi d^2 h / 4$$

donde

d = es el diámetro del cilindro.

En consecuencia el volumen de la cabeza del pistón, por encima el borde del mismo, es de

$$\pi d^2 h / 4 - V = V_p$$

Si llamamos

a = a la distancia que medimos antes entre el borde superior de la cabeza en el PMS y el borde del bloque del cilindro,

g = el grosor de la junta de tapa (cuando está comprimida),

entonces el volumen de la cámara de compresión es igual a:

$$V_c = V_h + V_a + V_g - V_p$$

donde

V_h = volumen medido de la cabeza del pistón

V_a = volumen calculado del cilindro por encima del borde del cilindro, o sea **V_a = $\pi d^2 a / 4$**

V_g = aumento de volumen debido a la junta de tapa, es decir, o sea, **V_g = $\pi d^2 g / 4$**

V_p = volumen de la cabeza del cilindro

Si llamamos

V_c = al volumen total de la cámara de compresión, entonces la relación de compresión será igual a

$$R_c = \frac{(D + V_c)}{V_c}$$

donde

D = es la cilindrada del cilindro en cuestión ($\pi \times \text{Calibre}/2)^2 \times \text{carrera}$)

También hay que tener en cuenta en este punto el tipo de junta de tapa. Hay varias opciones, desde las juntas normales de serie hasta las especiales, pasando por las que nos podemos hacer nosotros recortando hojas de cobre.

Lo más sencillo es utilizar la junta original, pero puede no ser adecuada y no ajustarse al nuevo diámetro de cilindro. Las juntas de cobre puro pueden tener la ventaja de disipar el calor de la tapa, lo que puede resultar útil si hay problemas de autoencendido o de detonaciones.

Los distribuidores especializados nos ofrecen diversos tipos de juntas especiales, entre ellas las que tienen forma de cuña, en las que la misma presión impulsa a la junta a cerrar mejor, y también existen los anillos llenos de gases inertes. Algunos de estos tipos requieren que se mecanice una ranura por la cara del bloque del cilindro.

Las juntas de cobre se deben destemplan. El procedimiento tradicional consiste en recubrir el metal de jabón y calentarlo de forma uniforme hasta que el jabón adquiera un color pardo. Siempre que utilice juntas que no sean las de origen, asegúrese de que también quedan bien sellados los bordes de los conductos de refrigeración o de aceite entre la tapa y el bloque del cilindro. Si se utiliza una junta de compresión más gruesa, estos pasajes pueden quedar mal cerrados; se debe utilizar un procedimiento alternativo, como una junta tórica más gruesa. Utilice un producto sellador de alta temperatura, como el Hylomar, en las caras de la tapa y del cilindro.

LIMITES TERMICOS

Para evitar averías, el pistón debe estar construido a base de algún material que le permita soportar el choque térmico, o debe ser capaz de eliminar el exceso de calor, y soportar la distorsión que se puede producir a causa de una dilatación desigual.

Su capacidad de disipar calor depende de su grado de contacto con la pared del cilindro, vía los aros y el lubricante. En consecuencia, es importante el tipo de aros que se utiliza y su número, así

como la presión que ejerce el aro sobre la pared del cilindro. Existen aros rascadores de aceite que ejercen presiones distintas sobre el cilindro, y también se pueden conseguir presiones diferentes utilizando aros para pistones algo mayores o menores, modificados para que se ajusten al nuevo calibre. Si se utilizan dos aros en lugar de tres, el pistón alcanzará temperaturas superiores.

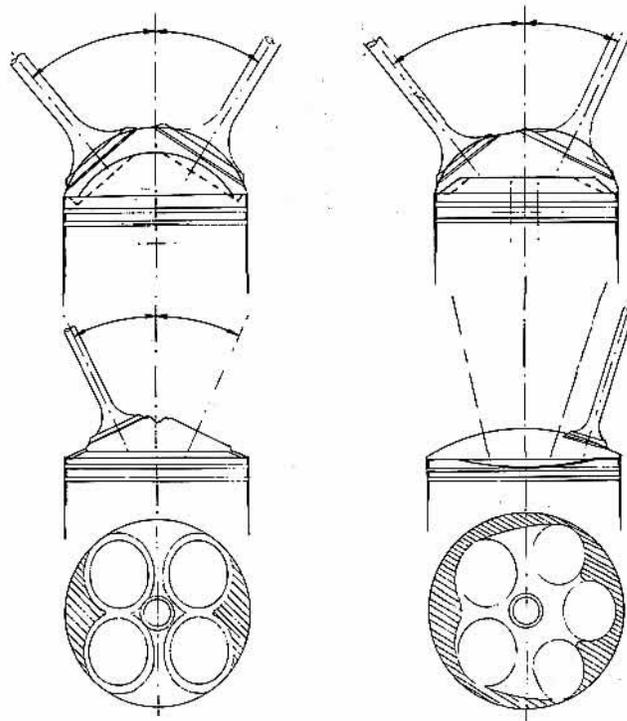
La luz de la falda del pistón depende del tamaño original del mismo y de su nivel de dilatación en relación a la del cilindro. Como el pistón no es uniforme, tampoco se dilata uniformemente, y tiende a distorsionarse a la temperatura de trabajo del motor. Se intenta fabricar los pistones de forma que encajen perfectamente en el cilindro cuando estén calientes, y por eso sus dimensiones en frío tienden a ser irregulares.

Los pistones suelen tener cierta conicidad: son más anchos en la falda, porque la cabeza se dilatará más. También tienen forma ovalada, y su diámetro es menor a 90° del perno.

En los motores de alta potencia no se deben utilizar pistones cuyas faldas tengan ranuras. Los cambios de luz se deben ajustar rectificando el cilindro, y los problemas de control de aceite se deben intentar solucionar cambiando el aro rascador de aceite, haciendo orificios para el flujo de aceite en la falda del pistón o modificando el sistema de engrase.

El incremento de cargas térmicas en el pistón puede suponer que su forma original ya no sea correcta del todo. El problema no se resuelve aumentando la luz de la falda: puede incluso ser contraproducente porque así se incrementa el cabeceo del pistón, y la parte lateral de la cabeza roza la pared del cilindro. Si la parte lateral de la cabeza presenta síntomas de engrane o de desgaste, puede ser necesario modificar las dimensiones del pistón. Se puede fresar un poco la parte lateral de la cabeza, hasta un poco por debajo del aro rascador de aceite. Se debe reducir un mínimo: del orden de 0'013 mm, aunque la cantidad exacta se descubrirá por prueba y error.

Los problemas debidos al recalentamiento, como la perforación de la cabeza del pistón, la fusión de la cabeza y de la parte lateral de la misma, se pueden solucionar a veces mejorando la refrigeración del pistón, ya sea utilizando otro tipo de aros o mejorando el flujo de aceite hacia la parte inferior del pistón. La mayoría de los motores utilizan un sistema de lubricación a partir de la muñequilla de la biela, y la lubricación mejorará si la muñequilla funciona con una mayor luz radial o axial. Algunos motores también tienen un sistema de lubricación por vapor de aceite, a partir de surtidores en el conducto de aceite que alimenta los cojinetes del cigüeñal. Se podría mejorar algo esta alimentación de aceite agrandando los agujeros de aceite. Otra alternativa es utilizar un pistón más resistente, o reducir el flujo de calor que recibe el mismo, ya sea retrasando el encendido, enriqueciendo la mezcla, reduciendo la relación de compresión, o reduciendo asimismo la presión de retorno del sistema de escape.



Comparación de diseños de tapas de cilindro

Arriba, izquierda: Semiesférica, dos válvulas. La bujía no se puede colocar en el centro cuando se utilizan válvulas grandes, y hace falta que la cabeza del pistón tenga una superficie muy abombada (con grandes rebajes para no chocar con las válvulas) para conseguir buena relación de compresión. La cámara de combustión es muy larga y delgada.

Arriba, derecha: Cuando se le da a la tapa una forma con dos radios, la válvula de admisión se puede agrandar, colocarla a un ángulo menor, y la cámara de combustión se puede agrandar, colocarla a un ángulo menor, y la cámara de combustión es más compacta, tiene bujía central, y, dado que las válvulas son menores, la cabeza del pistón no tiene que tener rebajes profundos. La forma también permite que se forme una buena banda de squish (zona sombreada).

Abajo, derecha: El diseño de cinco válvulas, proporciona una cámara de combustión compacta con superficies esféricas. La zona de squish es mayor que en el diseño de cuatro válvulas.

PERDIDAS POR ROZAMIENTO

Ya se han mencionado la lubricación y el control del aceite, pero existe una serie de modelos de pistón que están calculados para reducir el rozamiento, generalmente eliminando parte de la falda o poniendo en la misma zonas más elevadas que soporten el empuje. Estas medidas suelen ser soluciones de compromiso, porque dificultan el control del aceite, no permiten que el calor se difunda a las paredes del cilindro con facilidad, o bien permiten el cabeceo del pistón.

NUEVOS MATERIALES

Los materiales que seguramente están destinados a desempeñar un papel cada vez más importante en el diseño de los componentes térmicos del motor son las cerámicas y los metales sinterizados. La baja dilatación y la gran resistencia al engrane (gripaje) del silicio ya se aprovecha en las aleaciones para pistones, mientras que los aros sinterizados ya permiten mejores resultados y fiabilidad. Las cerámicas pueden tener una influencia directa sobre los motores de encendido por chispa, aunque lo más probable es que su influencia sea indirecta, como resultado de las investigaciones en el campo de las turbinas y en el de los motores diesel, que sufren mayores temperaturas y cargas térmicas.

Los materiales cerámicos que son la materia prima tradicional de la alfarería, empezaron llamando la atención de los ingenieros por sus aplicaciones como refractores térmicos, y a partir de allí surgió su uso como aislantes térmicos y eléctricos.

Sus características principales son las siguientes: gran resistencia (aunque se quiebran en lugar de deformarse o doblarse), gran resistencia a la corrosión (sobre todo si se le compara con los metales a altas temperaturas); gran resistencia al desgaste; menor coeficiente de dilatación (lo que quiere decir que se pueden instalar con luces menores); y son livianos (aproximadamente, la tercera parte de la densidad del acero). Evidentemente, una de sus desventajas es que son quebradizos, pero hasta estos se puede aprovechar, por ejemplo en el caso de los álabes de las turbinas. Cuando se produce una rotura, por un impacto o por un componente defectuoso, los álabes de las turbinas suelen causar grandes destrozos. Pero cuando los rotores están elaborados a partir de materiales cerámicos, la pieza se desintegra en partículas pequeñas. Por lo tanto, la turbina no necesita un revestimiento acorazado.

Pero su principal interés radica en su resistencia a temperaturas elevadas, lo que implica que los elementos críticos del motor no tienen por que estar sujetos a las limitaciones del sistema de refrigeración. De hecho, ni siquiera hace falta refrigerarlos. Esto a su vez, puede aumentar la baja eficiencia térmica que suelen tener los motores por pistones.

Los materiales cerámicos se pueden dividir en dos grupos: los óxidos y los que no los son. Entre los óxidos se cuentan los silicatos, como el silicato de aluminio, mientras que entre los que no son óxidos están los nitruros, los carburos, los boruros, etc, formados sobre un material base como el silicio.

Su proceso de elaboración consiste en mezclar el material pulverizado y hornearlo a temperaturas muy elevadas, o fundirlo en el caso de los vidrios.

Los problemas se presentan sobre todo a la hora de unir las diversas partes y de asegurar una calidad uniforme de todo el material (como las fracturas de estos materiales quebradizos son repentinas, cualquier pequeño defecto puede llevar a una avería instantánea). Como el proceso de elaboración tiene mucho en común con el proceso del metal sinterizado, es posible que los dos terrenos se aproveche mutuamente de sus avances respectivos.

Los componentes de los motores de Competición que utilizarán materiales cerámicos con mayor probabilidad serán:

- los rotores y tubos de admisión de los turbocompresores
- los botadores
- las guías de las válvulas
- las cabezas y asientos de las válvulas
- los pistones

A pesar de que el atractivo fundamental de estos materiales es su gran resistencia térmica, su poco peso y su resistencia al desgaste los hacen interesantes para otras piezas de movimiento alternativo que están sometidas a grandes esfuerzos, como el mecanismo de la distribución de las válvulas.

RETRABAJO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN Y CÁRTER

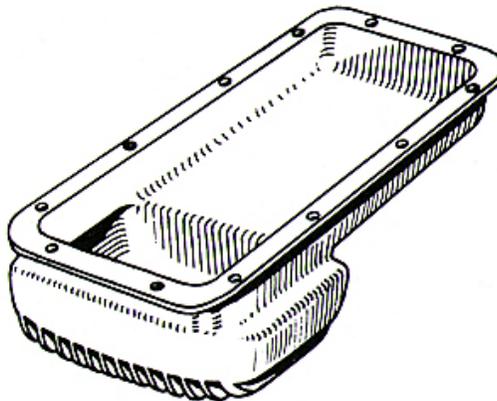
MODIFICACIÓN Y MEJORAS EN EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

Las condiciones más duras de trabajo a las que va a verse sometido un motor preparado para competición deben ser contrarrestadas con el aporte de mejoras en la refrigeración y en la lubricación para que pueda soportar las duras condiciones en las que va a desarrollar su trabajo en lo sucesivo. Vamos a ocuparnos, de aquellas modificaciones importantes que tienen que ver con el aumento de la lubricación y en todos los órganos vitales del motor.

El cálculo de un sistema de lubricación está basado en las necesidades que del mismo tiene un motor. De esta forma cuando los ingenieros trabajan en el proyecto de un determinado motor de serie adecuan la cantidad de aceite, el grosor de los conductos, la presión de la bomba y su caudal a las condiciones más duras a que puede estar sometido el motor, las cuales son muy tolerables con respecto a lo que a una unidad de este motor le puede esperar cuando sus presiones (y por lo tanto, sus rozamientos) van a ser mucho más elevadas, de acuerdo con el aumento de la potencia esperada y lograda para la nueva versión.

Uno de los primeros trabajos para mejorar el circuito de lubricación consiste en tratar de encontrar un nuevo cárter, dotado de algún sistema propio de mejora de la refrigeración del aceite.

En estos casos debe considerarse como mejores aquellos cárteres de aleaciones ligeras provistos de aletas para la refrigeración del lubricante que permanezca en su base.



Los resultados obtenidos con esta medida son, sin embargo, más bien modestos, de modo que, para conseguir refrigerar el aceite y que éste colabore a la refrigeración de la parte baja del tren alternativo y de las válvulas del motor sin que la alta temperatura le haga perder sus cualidades de viscosidad, se ha acudido a soluciones a veces muy ingeniosas como la presencia de cárteres/radiador.

Este tipo de cárter dispone de una serie de tubos que lo atraviesan por el fondo, los cuales reciben la corriente del aire enfrentado a la marcha. En el interior de este cárter se encuentra el aceite, el cual se refrigera rápidamente antes de volver a incorporarse al circuito.

Sin embargo, cuando un vehículo se prepara debidamente para una competición hay que pensar no sólo en el motor, sino también en todos los demás factores que van a intervenir en la mejora preconizada. No cabe duda que uno de los factores importantes es la suspensión y las condiciones aerodinámicas del vehículo transformado. De este modo será muy probable que se acuda a bajar el centro de gravedad del vehículo y, por consiguiente, a acercar al suelo los bajos. En estas condiciones, la utilización de cárteres más grandes suele presentar importantes problemas ya que se corre el riesgo de tropezar con el pavimento y reventarlos, lo que significa el abandono inmediato de la carrera, además de la pérdida del aceite en el asfalto, peligrosísima para los demás participantes. Por esta razón, el sistema más utilizado es la aplicación de radiadores de aceite.

El radiador de aceite

El radiador de aceite se instala en serie en el circuito de lubricación, de modo que el aceite se ve precisado a pasar por el radiador antes de hacerlo por el filtro y establecer su circuito. Mientras tanto, ha dejado buena parte de su energía calorífica en el radiador, lo que significa que el aceite se mantiene en mejores condiciones para cumplir la función que se le encomienda, además de retardar en mucho su degradación, condiciones importantes en una carrera larga.

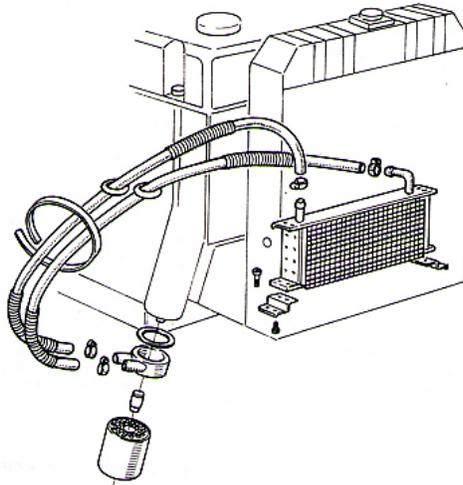
El radiador de aceite puede colocarse en un punto elevado y en directa contraposición al aire de la marcha, de modo que su utilidad práctica resulta indiscutible. No obstante, hay que cuidar que las canalizaciones sean lo más cortas posible para evitar caídas de presión de la bomba de aceite.

En primer lugar tenemos el radiador, el cual puede ser tan grande como se desee (aunque hay que tener en cuenta que el aceite debe trabajar a una elevada temperatura de por sí, de modo que tampoco es nada recomendable que trabaje completamente frío. Se fabrican radiadores de 13, 16, 19 elementos, etc., siendo cada vez más efectivos en la misión que se les encomienda a medida que disponen de mayor número de elementos.

El segundo de los elementos importantes de acoplamiento es el adaptador al filtro de aceite. Esta sencilla pieza se acopla antes del filtro y se encarga de recibir el aceite procedente del radiador, lo pasa por el filtro y lo envía al interior del motor para que siga su circuito clásico.

Finalmente, además de los otros adaptadores, es importante destacar la presencia del termostato, el cual tiene la importante misión de permitir el paso del aceite por el radiador únicamente cuando su temperatura es superior a los 85°C, de modo que el radiador no interviene cuando el motor está frío.

El montaje definitivo de este equipo se puede ver en la figura.



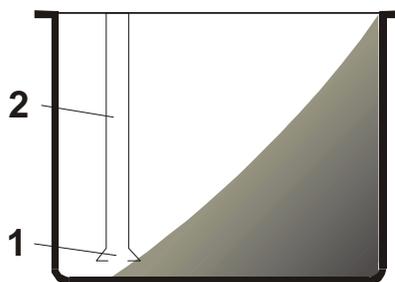
Modificaciones en el cárter

En lo que respecta a la lubricación, el hecho de trabajar la temperatura del aceite no lo es todo; por el contrario, son muchos los factores que pueden colaborar a que la lubricación se efectúe deficientemente, y que hay que tener en cuenta.

Una de las causas de defectos se produce en las curvas. En ellas, el vehículo suele ir a alta velocidad y ello crea un sentido de vaivén muy acusado en el interior del cárter que hace que la masa de aceite se desplace y la bomba se quede sin líquido.

Esta situación suele darse en un solo y determinado sentido de las curvas, pero durante unos segundos, hasta que el aceite no regresa al fondo del cárter, la bomba no ha mandado aceite a los puntos clave del motor.

Para evitar este problema, los preparadores deben estudiar soluciones, algunas tan sencillas como las siguientes: Durante el trazado de una curva, con fuerte acción de la inercia, el comportamiento del aceite es el mostrado en la figura.

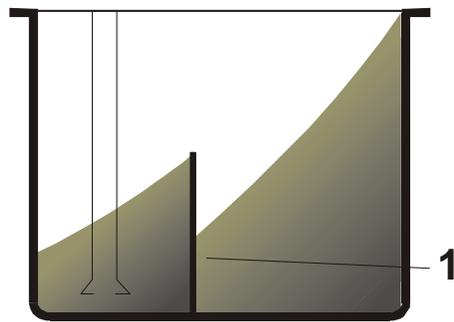


La masa de aceite que se encuentra en el interior del cárter tiende a desplazarse y deja sin suministro al colador (1) de toma de aceite, el cual sube por (2) hasta la bomba de aceite. Durante unos segundos, la bomba se queda sin aceite y el motor, lógicamente, tampoco lo recibe.

Lo mismo ocurre en el momento de la aceleración. Dado que el motor preparado para la competición va a disponer de mayor potencia, la aceleración será mucho más considerable y, durante ella, el aceite tenderá a retirarse hacia la parte trasera del motor de modo que, durante unos segundos la toma del colador quedará sin aceite (1).

Para solucionar este defecto se dispone de pantallas soldadas al cárter, por el interior, que impiden este desplazamiento brusco del aceite y mantienen siempre cebada la zona del colador.

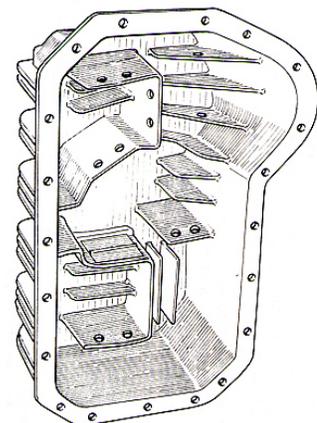
En la siguiente figura tenemos una posible solución con la adición de una pantalla (1) en el centro de los bajos del cárter, mediante la cual se asegura que permanezca aceite en el colador incluso durante la trazada de fuertes curvas.



Según la categoría del vehículo y de la pista, puede disponerse de mayor número de pantallas por medio de las cuales se impida la salida del aceite en cualquier dirección. La presencia de tres pantallas, estratégicamente dispuestas, evitará que el motor quede sin alimentación de aceite aun cuando, en la pista, tenga que desplazarse por largos curvones que, de otro modo, mantendrían sin alimentación durante unos peligrosos segundos, el circuito de aceite.

El estudio de las fuerzas centrífugas que intervienen en la dinámica de una carrera de competición, nos lleva a considerar que el interior de una tapa de cárter ha de estar repartida en compartimentos no estancos, por medio de los cuales se pueda frenar el movimiento constante que originan las curvas y las aceleraciones, que causan grandes desplazamientos de la masa del aceite. Es necesario conseguir controlar estas fuerzas para que en ningún caso el motor quede sin el suministro de aceite al colador de la bomba de aceite.

En la figura se muestra la distribución de los muchos compartimentos realizados en una tapa de cárter de aluminio.



Al cárter de aceite puede también incorporársele una red de malla fina, con la misión de reducir la energía cinética con la que el aceite de un motor de competición vuelve al cárter después de haber efectuado su paseo por el interior del circuito de engrase.

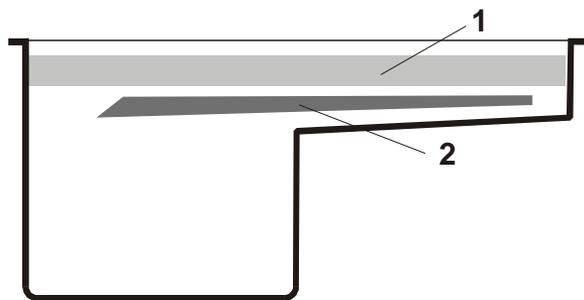
Piénsese que, a 7.000 r/m, la velocidad del cigüeñal y de los pistones es muy considerable; que una bomba de aceite hace circular de entre 4 a 10 litros de aceite por minuto y que el aceite final, convertido en gotas, es proyectado violentamente contra las paredes del bloque y que estas gotas llegan al cárter con una gran inercia de modo que, en su caída, se golpean bruscamente unas gotas con otras, lo que provoca que en el cárter se mantenga una gran cantidad de aire mezclado con el aceite.

La presencia de aire en el aceite resulta perjudicial porque la bomba reduce su caudal real de aceite mandado a los puntos críticos de engrase, situación que se agrava, precisamente, en el momento más crítico, es decir, aumenta a medida que el motor funciona a mayor número de r/m.

Desde el punto de vista de la preparación de motores de competición, da buenos resultados proceder a la instalación de una red de malla tupida, colocada cubriendo la parte alta del cárter.

Cuando las gotas caen sobre esta malla (1), reposan el tiempo suficiente para perder su inercia y caer al fondo del cárter habiendo eliminado la presencia de aire. Una bandeja de plancha (2), debajo de la red, orienta la caída del aceite hasta el fondo del cárter en el que se encuentra el colador.

Finalmente, está perfectamente demostrado que añadir una mayor cantidad de aceite al cárter es una solución contraproducente. En primer lugar, porque el cigüeñal, si tropieza con aceite durante su rápido giro, aumenta su rozamiento y pierde, por consiguiente, la fuerza absorbida por este roce.



La presencia de una malla de filtrado (1) y de una bandeja de recogida y orientación de aceite (2) permitirá al aceite deshacerse de las pequeñas partículas de aire recogidas durante su proyección por las paredes del bloque.

En segundo lugar, porque a mayor cantidad de aceite aumenta la dificultad de calentamiento del motor partiendo de su situación de frío, lo cual es un inconveniente importante a considerar.

Por último, y en tercer lugar, porque cuando el aceite está caliente lo está para toda su masa y no trabaja más frío porque exista más cantidad, sino más bien lo contrario: tiene más dificultad para deshacerse del calor que transporta a lo largo de su circuito.

Para que el aceite se mantenga dentro de una temperatura correcta de funcionamiento hay que acudir a su refrigeración y ya hemos visto que la mejor solución se encuentra en la utilización de los radiadores de aceite.

Aireación del cárter

Otro tema importante en la consideración del circuito de aceite con respecto al bloque, es la aireación del cárter y la eliminación de los vapores nocivos que el aceite lleva consigo.

En efecto, la aireación o ventilación del cárter tiene por objeto eliminar del interior de éste y de las cavidades de la parte inferior del bloque de cilindros, los gases y vapores procedentes de los cilindros a través de las juntas de los aros, así como los producidos por el propio aceite sobrecalentado al realizar su función de lubricación y refrigeración.

La composición de estos gases es muy diversa y puede encontrarse en ellos residuos de gasolina, agua por condensación, aire y elementos químicos resultantes de la evaporación debida a la alta temperatura del aceite. Por esta razón, hasta los más modestos motores de serie tienen previsto un sistema de renovación y aireación del cárter.

La aireación del cárter, en los motores de serie, se efectúa por medio de un conducto de entrada de aire dirigido hacia su interior y otro conducto de salida de los vapores, los cuales son arrastrados por la depresión creada en el colector de admisión. De este modo, los vapores de aceite (que indiscutiblemente tiene todavía poder lubricante) pasan a lubricar la cabeza de los cilindros.

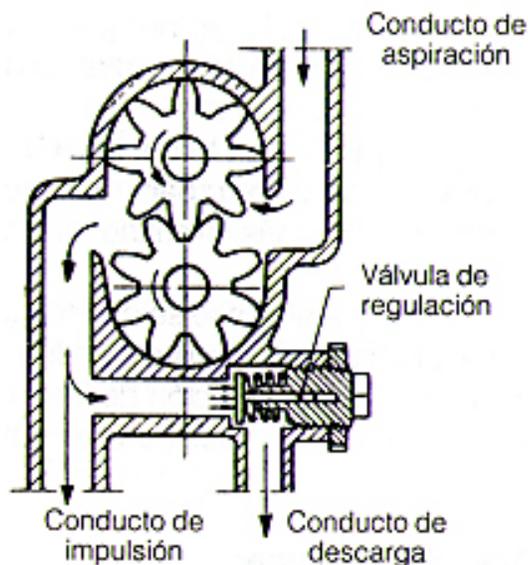
Este sistema presenta algunos defectos, como son su facilidad para desequilibrar el correcto dosado de la mezcla preparada por la inyección, por lo que no es el sistema más utilizado por los preparadores.

Lo que suele hacerse, generalmente, es acudir a sistemas de circulación forzada de aire, por medio de tomas que se enfrentan al aire de la marcha. Por medio de racores, colocados en la tapa de cilindros o en partes elevadas del bloque, se insufla aire y se arrastran los vapores hacia un nuevo conducto final de expulsión, desde el que parten los gases a un depósito auxiliar (de unos dos litros de capacidad aproximadamente), el cual se comporta como un recuperador que guarda estos residuos durante el tiempo en que se produce la competición.

La bomba de aceite

Existen dos sistemas de bombas de aceite que son las más utilizadas en los motores de serie: la bomba de engranajes y la de rotores excéntricos, también conocida con el nombre de bomba de tipo Eaton.

Un esquema de una bomba de engranajes lo tenemos en la siguiente figura. El aceite adquiere la presión necesaria a través del rápido giro de las dos ruedas dentadas de que consta la bomba, de modo que en el conducto de impulsión, o de salida del líquido, existe una elevada presión con respecto a la presión reinante en el conducto de aspiración.



Desde el punto de vista de la preparación de motores, lo que más interesa de esta bomba es su válvula de regulación, también conocida con el nombre de válvula de descarga. Esta válvula va provista de un resorte ajustado a un valor muy preciso, el cual cede cuando la presión en el circuito adquiere determinados límites, de modo que no permite que la presión en el circuito sea excesiva.

A este respecto cabe indicar que una bomba de aceite correcta es aquella capaz de garantizar al motor un caudal y una presión de aceite adecuada a todo tipo de régimen de giro, pero, al mismo tiempo, que este caudal y presión no sea proporcional al número de r/m del motor. Es decir, no se trata de conseguir una bomba que esté proporcionando una presión de $1,5 \text{ kg/cm}^2$ a 1.000 r/m y que llegue a alcanzar 10 kg/cm^2 a 7.000 r/m ($1,5 \times 7$). Por el contrario, un motor de competición difícilmente podrá mantenerse en buenas condiciones con presiones que superen las 6 atmósferas, de modo que lo máximo que puede hacerse (salvo el caso de aplicar una bomba de aceite del mismo tipo pero dotada de una mayor fiabilidad para impedir su rotura en marcha) es actuar sobre el ajuste de la válvula de regulación.

Aumentando o disminuyendo la carga del resorte podemos conseguir variar la presión máxima que la bomba puede alcanzar. Según el tipo de válvula de descarga, este aumento de presión puede realizarse por medio de la adición de arandelas o bien un tornillo de reglaje. Los resultados obtenidos deberán medirse con un manómetro de precisión para asegurarse de que, en ningún caso, la presión obtenida superará las 6 kg/cm² en caliente.

Las bombas Eaton también disponen de un sistema de válvula de descarga similar al indicado.

Lubricación por el sistema de cárter seco

Cuando un motor se diseña directamente para la competición, tal como ocurre con los motores de los coches de Fórmula, el diseño del circuito de aceite puede llevarse a un máximo extremo de perfección; una de las soluciones que mayormente contribuye a ello es, sin duda, la lubricación por el sistema de cárter seco, el cual elimina todos los defectos que pueda tener el tipo de lubricación que hemos visto anteriormente.

En los motores de serie en los que se trabaja para ser transformados, este sistema de cárter seco también podría aplicarse (aunque por medio de complicadas modificaciones), pero tiene el inconveniente de que, en la mayoría de los reglamentos deportivos no está autorizada esta clase de transformación, de modo que suele ser necesario el sistema de lubricación tradicional.

El sistema de cárter seco está compuesto por un depósito de aceite independiente del mismo motor. En los coches de competición es corriente que el depósito se encuentre en la parte opuesta al lugar donde se encuentra ubicado el motor y, por medio de bombas de alimentación, sea trasladado hasta la bomba de presión, la cual habitualmente se encuentra en el exterior del motor.

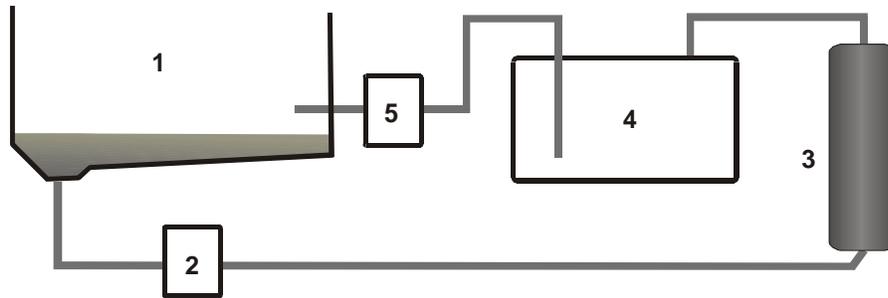
El funcionamiento del sistema es el siguiente: Dos de las bombas, situadas a ambos extremos del bloque de cilindros, o con las boquillas de aspiración colocadas a ambos extremos de la tapa-cárter del motor, tienen por objeto recoger el aceite depositado en el fondo de ésta, procedente del sobrante de los órganos lubricados y de la válvula de descarga, y transportarlo a través de tuberías elásticas de alta presión hasta el tanque de reserva, haciéndolo circular anteriormente por el filtro y por el radiador de enfriamiento.

La bomba de aceite propiamente dicha aspira el aceite del tanque de reserva a la temperatura correcta de funcionamiento, gracias al prolongado circuito de enfriamiento de que dispone y de la gran cantidad de aceite contenido en el depósito, cuyo volumen acostumbra a ser de unos 15 a 20 litros, introduciéndolo en la caja de la válvula reguladora de presión, de la que sale a través de las diferentes canalizaciones para efectuar su función de engrase en las distintas zonas del motor sometidas a fricción o rodadura.

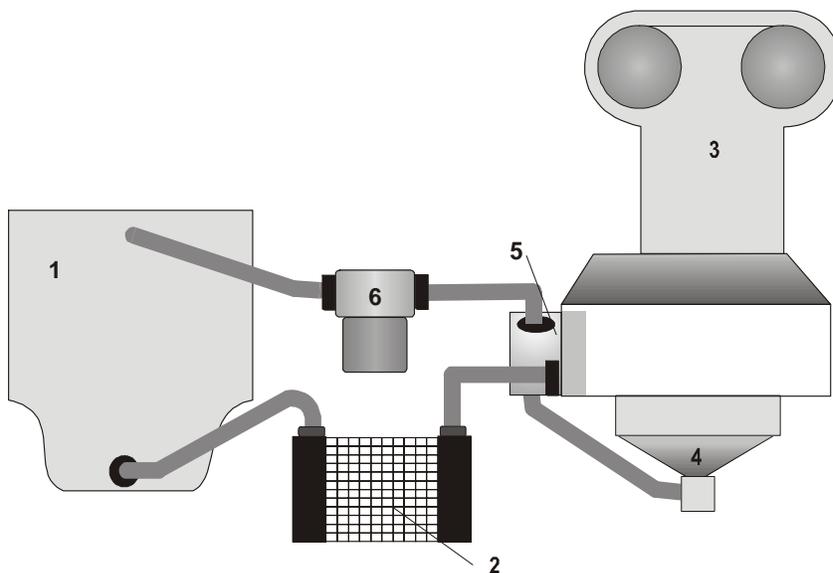
En la figura puede verse un esquema general de funcionamiento de un circuito de cárter seco.

En este caso, consta de solamente dos bombas, que son: la bomba de evacuación del cárter (2), que manda el aceite caliente hacia el radiador de refrigeración de aceite (3), y la bomba de engrase (5) que es la que succiona del depósito general de aceite (4) y manda a presión el líquido lubricante hacia las zonas propias de lubricación del motor.

La temperatura es ahora mucho más baja que la que consigue en el aceite de los motores corrientes y pese a la elevada irradiación de calor que se produce en un motor de altas vueltas, el aceite se mantiene dentro de los límites de temperatura más adecuados para cumplir la delicada función que ya conocemos.



Desde el punto de vista práctico tenemos en la próxima figura la distribución práctica del circuito de cárter seco en su aplicación a un motor de carreras. El depósito de aceite (1) independiente se halla colocado en un lugar fresco de la carrocería. Las flechas indican el paso del circuito que se establece en este caso.



El aceite pasa, en primer lugar, hacia el radiador (2) y a la temperatura correcta mínima de funcionamiento pasa al interior del motor (3), donde se dedica a circular por todo el circuito de aceite que se le encomienda.

Posteriormente, el aceite es devuelto a un reducido cárter (4) desde el que es aspirado por una bomba (5) y mandado, de nuevo a través del filtro (6), al depósito independiente de aceite. En el depósito se decanta el aceite, de modo que aquí se separa por completo de todo residuo de aire y queda perfectamente preparado para volver al motor en las mejores condiciones posibles.

Por otra parte, el sistema no queda afectado por los desplazamientos laterales y longitudinales que proporciona la inercia en el caso de las curvas y las aceleraciones, de modo que no es necesario tomar las medidas que comentamos para los sistemas de cárter de aceite tradicionales.

Con lo dicho ponemos punto final a este capítulo dedicado al bloque de cilindros. Antes de abandonar este tema vamos a dar un consejo sobre la pintura del bloque.

Se ha demostrado que el color negro es el más efectivo para irradiar calor, de modo que, cuando se ha desmontado el bloque y, después de mecanizado y ajustado de la forma que hemos visto en el presente capítulo, y se tiene que preparar para el montaje de las demás piezas, el color más adecuado para pintarlo exteriormente es el negro que es el que está en mejores condiciones para deshacerse del calor interno que se genera en el motor.

Puede que los colores brillantes, como el gris claro o el amarillo, sean mucho más atractivos cara al espectáculo del motor en sí, pero solamente el color negro resulta efectivo para la finalidad de desprendimiento del calor. Por ello lo aconsejamos.