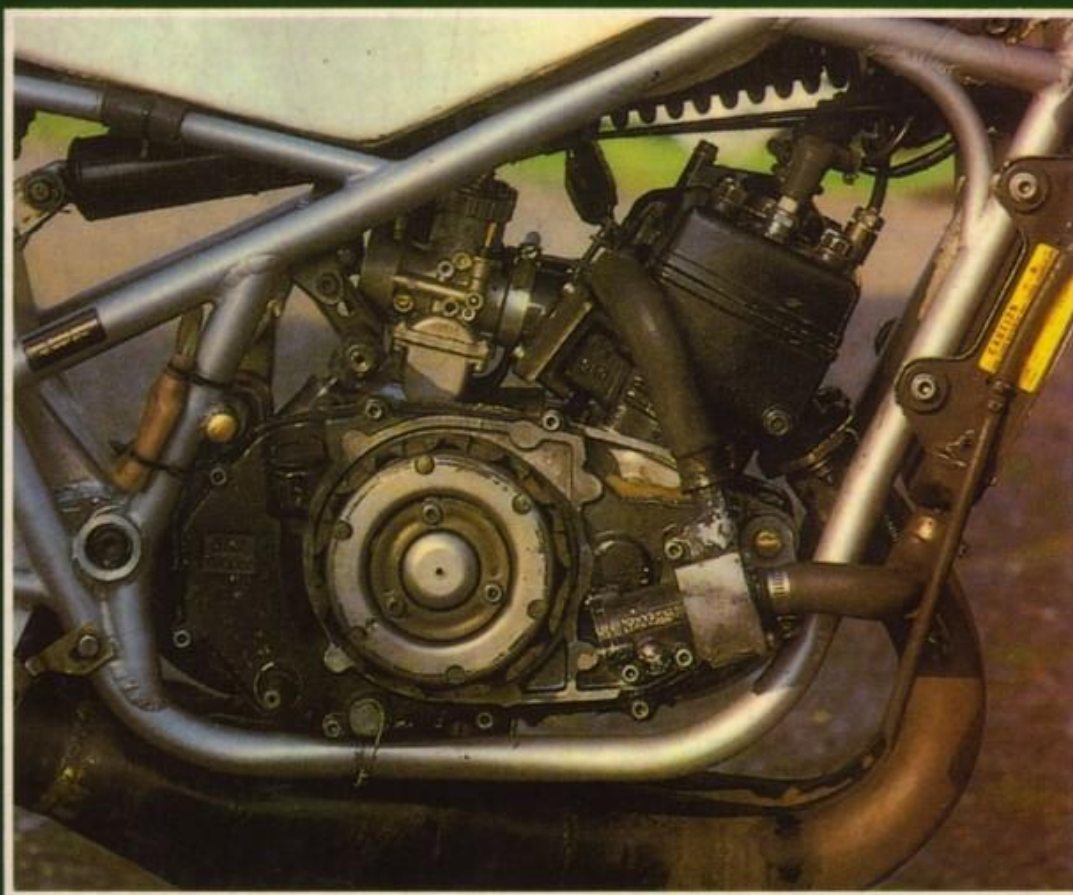


MOTOCICLETAS

Puesta a punto de
motores de 2 tiempos



editorial Paraninfo sa

John Robinson

John Robinson

MOTOCICLETAS

Puesta a punto de motores de 2 tiempos



editorial Paraninfo

TERCERA EDICION

1995

Traducido por:
ALEJANDRO PAREJA

Escanejat per:
JORDI

- © Heineman Profesional Publishing, Oxford (Inglaterra)
- © de la edición española Editorial Paraninfo, S.A.
Magallanes, 25 - 28015 Madrid
Teléfono: 4463350 - Fax: 4456218
- © de la traducción española Editorial Paraninfo, S.A., Madrid (España)

Título original:
MOTORCYCLE TUNING TWO-STROKE de John Robinson,
publicado por Heineman Profesional Publishing, Oxford (Inglaterra)

Reservados los derechos para todos los países de lengua española.
Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta,
puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma,
ni por ningún medio, sea éste electrónico, químico, mecánico,
electro-óptico, grabación, fotocopia o cualquier otro, sin la previa
autorización escrita por parte de la Editorial.

Impreso en España
Printed in Spain

ISBN: 0-434-91741-9 (edición inglesa)
ISBN: 84-283-1868-9 (edición española)

Depósito Legal: M. 38.455-1994



editorial Paraninfo sa Magallanes, 25 - 28015 MADRID

(111/51/06)

Gráficas ROGAR, Polígono Industrial Cobo Calleja - Fuenlabrada (Madrid)

MOTOCICLETAS.

Puesta a punto de motores de 2 tiempos

El gran desarrollo experimentado en la utilización de la moto de dos tiempos, ha llevado al autor de esta obra —tras una labor personal de investigación de muchos años, respaldada por la colaboración de las más importantes firmas mundiales— a crear un excepcional tratado sobre la consecución del perfeccionamiento de los motores de dos tiempos de una motocicleta.

Con su notable dosis de experiencia, ofrece innumerables recursos para obtener el máximo rendimiento de un motor de dos tiempos en todo lo relacionado con su potencia, flexibilidad, eficacia del sistema de silenciamiento, adaptaciones para circunstancias especiales en competiciones deportivas y otras muchas posibilidades de transformación y acoplamiento de este motor a las necesidades del profesional o a la fórmula ideal de rendimiento que persigue el usuario, especialmente en el terreno deportivo.

El contenido de la obra queda realzado por sus numerosas ilustraciones, datos, información, útiles y referencias que ha facilitado gustosamente para enriquecer el libro, la casi totalidad de los fabricantes mundiales de motocicletas más importantes.

ISBN 84-283-1868-9



editorial Paraninfo sa

Magallanes, 25 - 28015 MADRID



9 788428 318686

Indice de materias

PROLOGO	7
1. PRINCIPIOS BASICOS	9
El flujo de gases	12
Admisión	14
El barrido de gases	15
Escape	17
El sistema de escape	17
Restricciones	17
Equilibrio	18
Intercambiador del calor	18
Eficiencia mecánica	19
2. HERRAMIENTAS Y EQUIPO	21
3. EVALUACION DEL MOTOR	31
Programa de desarrollo	35
4. FLUJO DE GASES	41
1) Silenciador de admisión	43
2) Caja de filtro	44
3) Filtro de aire	45
4) Entrada al carburador	46
5) Carburador	47
6) Válvulas de láminas	48
7) Conducto de admisión al cárter	58
8) Válvula de disco	62

I

9) El cárter	66
10) El pistón	67
11) Las lumbreras de carga	68
12) Cilindro y culata	76
13) Lumbrera de escape	77
5. EL SISTEMA DE ESCAPE	91
Longitud	93
Volumen	93
El silenciamiento	98
Elaboración de sistemas de escape	101
6. EL PISTON, EL CILINDRO Y LA CULATA	103
1) El pistón	103
2) Cilindro	112
3) Culata	113
7. ENCENDIDO	119
Tipos de bujías	123
"Leer" las bujías	126
Reglaje del encendido	127
8. CARBURADORES	131
Surtidor principal	138
Calibre de aire	139
Calibre de ralentí	140
Corredera	141
Aguja y calibre de aguja	141
Cuba	142
Tipos de carburador	144
Problemas asociados	144
9. LUBRICACION	147
10. DESARROLLO, PRUEBAS Y PREPARACION	153
APENDICE	163
INDICE ALFABETICO	187

Prólogo

Desde la moto del cartero hasta la ganadora del campeonato mundial, desde la más pequeña y económica hasta el monstruo de más de 300 CV/litro, esa es la historia de la motocicleta de dos tiempos de postguerra. Las únicas categorías de competición que no están dominadas por las mismas son aquéllas cuyas fórmulas impiden en la práctica que se utilicen estos motores sencillos, que “sólo tienen tres piezas móviles”.

Y sigue adelante el desarrollo. Ahora existen máquinas de motocross con motores más violentos que las de carreras en pista de pocos años atrás, y motos para circular que tienen un rendimiento igual a sus antepasadas de GP; incluso mayor si se tienen en cuenta la flexibilidad de sus motores y la eficacia de su sistema de silenciamiento.

El gran atractivo de la moto de dos tiempos es su enorme potencial, que contrasta con su atrayente simplicidad. Es verdad que, armados de poco más que un juego de limas, podemos introducir cambios profundos en la potencia de una moto de dos tiempos. Si esos cambios *aumentarán* dicha potencia, depende del grado de comprensión por parte del que maneja la lima. Al cabo de cierto tiempo, se convierte en un desafío intelectual, pero eso no cambia el hecho de que un motor de carretera se puede convertir en una máquina que puede ganar carreras de “open class” con un desembolso francamente bajo para lo que es corriente en este mundo.

En este libro, he intentado reunir mi visión del perfeccionamiento de las motos de dos tiempos, a partir de mi propia experiencia y de otras fuentes más fiables aún.

Para su elaboración ha sido necesaria mucha investigación, a lo largo de varios años. Durante dicho período, mucha gente ha tenido la amabilidad de facilitarme información, datos, ilustraciones y piezas. Querría dar las gracias sobre todo a los siguientes: AE (Hepolite); Carburadores Amal; Martyn Barnwell; Carburadores Dell'Orto; Arnold Fletcher (Motocicletas Len Manchester); Patrick Gosling; Bernard Hargreaves (Harpowa);

P

Heron Suzuki GB; I+D de Honda; Honda UK; Kawasaki Motors UK; Carburadores Mikuni; Motor Industry Research Association; Mitsui Machinery Sales; Leon Moss (LEDAR); NGK; Performance Bikes; Yamaha Motor NV; I+D de Yamaha; Rod Sloane, y, por supuesto, los ingenieros de desarrollo de DKW.

J. R.

EL SISTEMA DE ESCAPE 24

Prólogo 25

LA MISION DEL CILINDRO Y LA VALVULA 28

1) El cilindro 29

2) La valvula 30

3) El escape 31

Desde el motor del centro hasta la ganadora del campeonato mundial, desde la más pequeña y económica hasta el motor de más de 100 CV, las cosas se hacen más de la motocicleta de los tiempos de postguerra. Las unidades deportivas compiten con las más modernas en algunas categorías, pero en la práctica que se utilizan estos motores sencillos, que sólo tienen tres piezas móviles.

Y sigue adelante el desarrollo. Ahora existe también la motocicleta con motores de cuatro cilindros que las de cuatro cilindros en línea. Y estas para utilizar que hacen un rendimiento igual a sus compañeras de GP; incluso, en algunas ocasiones, superan la flexibilidad de sus motores y la eficiencia de su sistema de escape. El gran objetivo de la moto de los tiempos modernos es ser potente, que sea rápida, que sea sencilla. Es verdad que, además de potencia, que el juego de partes, también incluye cambios sencillos en la potencia de una moto de los tiempos. Si esos cambios se realizan de forma sencilla, después de cada hora de uso por parte del que maneja la moto. Al caso de cinco tiempos, se puede convertir en un motor de cuatro cilindros, pero eso no cambia el hecho de que un motor de carrera no descansa fácilmente para pasar de un régimen a otro.

En este libro, se muestra cómo se ha desarrollado el perfeccionamiento de las motos de los tiempos, a partir de las primeras experimentales y de otras tantas más fáciles de usar. Durante su desarrollo, ha sido necesaria mucha investigación, y los autores de este libro, a través de sus experiencias, han querido compartir con el lector algunas de las dificultades que se han encontrado. Estas dificultades y partes. Gracias a las gracias sobre todo a los señores: Al (Helmholtz) Carburadores Anzani, Mitsui, Kawasaki, Carburadores Dell'Orto, Anzani (Helmholtz), Carburadores Anzani, Mitsui, Kawasaki, Carburadores Dell'Orto, Anzani (Helmholtz), Carburadores Anzani, Mitsui, Kawasaki, Carburadores Dell'Orto, Anzani (Helmholtz).

Principios básicos

Los motores de combustión interna por cilindros desempeñan dos funciones fundamentales. En primer lugar, deben hacer de bombas que aspiren el aire y lo hagan pasar por sus mecanismos. En segundo lugar, deben ser capaces de extraer calor a partir de dicho flujo de gases y de convertirlo en una forma utilizable de energía.

En este sentido, la puesta a punto debe consistir en alterar uno de dichos procesos, o ambos, para obtener mayor potencia en ciertas condiciones. Puede ser lo mismo que afinar un instrumento de música, en el sentido de que un componente, un carburador por ejemplo, se puede ajustar y corregir hasta que esté perfectamente ajustado. También puede consistir en trabajar sobre cierta pieza para mejorar su eficiencia; o (lo que es más corriente) para mejorar su eficiencia en cierto intervalo de revoluciones. Por último, la puesta a punto puede querer decir hacer cambios bastante radicales: un motor mayor, por ejemplo, nos dará una potencia mayor que otro pequeño.

No es difícil tomar una motocicleta corriente de dos tiempos, de serie, y convencerla de que nos proporcione mayor potencia, pero es esencial darse cuenta de que es muy poco probable que hayamos conseguido así un motor mejor, a no ser que tenga buenas razones para suponer que dispone de mejores medios y conocimientos que los de la fábrica. Los motores, sobre todo los de carretera, se diseñan con muchos compromisos. Deben dar buena potencia, pero a la vez deben ser flexibles y se deben poder manejar por motoristas poco expertos. Su fabricación debe ser económica, pero al mismo tiempo deben ser fiables. Deben dar muchos kilómetros de servicio en condiciones muy diversas sin tener que visitar el taller. Por último, están sujetos a una serie de límites legales de ruido, humos y otros.

A causa de esta serie de requisitos, muy diversos y a veces enfrentados entre sí, es posible mejorar la potencia máxima a costa de otros factores menos importantes. Una moto de carreras puede hacer más ruido que una de carretera, necesita menor flexibilidad, los costes de mantenimiento son de menor importancia, y puede pasar por el taller con gran frecuencia. Un motor que se dedica exclusivamente a las carre-

ras necesitará probablemente una o dos reconstrucciones generales cada temporada (incluso revisión del cigüeñal), y necesitará reparaciones generales cada tres o cuatro carreras.

Hay una escuela de pensamiento que dice que un motor de carreras debe quemarse nada más cruzar la línea de meta, para estar seguros de que se ha forzado al máximo. Los caballos son caros.

Existe un terreno en el que el individuo tiene ventaja sobre la cadena de montaje. Puede permitirse dedicar tiempo y trabajo al motor, asegurarse de que las tolerancias y juegos son correctos, y de que las piezas encajan exactamente, de tal forma que los conductos de gases sean regulares y no estén obstaculizados por rebabas ni por juntas que asomen. Por desgracia, si hablamos de motores japoneses, esto no suele suponer grandes ventajas. Se aseguran muy bien de que estén en orden los detalles más importantes, y aunque le parezca que el montaje es algo chapucero, seguramente descubrirá que no tiene importancia.

Esto dicho, las motos de dos tiempos todavía son susceptibles de grandes cambios. Es posible mejorar la potencia de una moto de carretera de un 20 a un 30 por ciento, si no le importa tener un motor con una banda de potencia estrecha. Lo puede aumentar en un 50 por ciento si está dispuesto a enfrentarse a una bajada importante de la fiabilidad, y a usar piezas caras, de carreras.

Las expresiones *potencia*, *par* y *banda de potencia* van a aparecer con frecuencia, por lo que es una buena idea definirlos ya.

El resultado de un motor se aprecia, en último extremo, como fuerza a lo largo de la cadena de transmisión. Es el par del motor (o "par motor") el responsable de esta fuerza; se llama par a una fuerza que se aplica a cierta distancia de un punto de apoyo; en el caso de un motor, de un eje: el del cigüeñal. Cuanto mayor sea la distancia de la fuerza al eje, mayor es el par: por ello, una persona de poco peso que se siente en el extremo de un balancín puede levantar a una persona gruesa que se siente hacia la mitad del otro lado del mismo.

Los motores producen pares, pero sobre un eje que se está moviendo continuamente, lo que nos presenta un nuevo concepto: la velocidad de giro (también llamada velocidad de rotación, revoluciones o régimen). Si se conectase el motor a un torno, haría falta cierto par para levantar un peso determinado. Un motor que diese el mismo par, pero a una velocidad superior, podría izar el mismo peso, pero lo haría más deprisa. Esto nos introduce el concepto de *potencia* (también llamada "potencia el freno"): se define como el par multiplicado por la velocidad de giro. Un vatio equivale a un newton-metro por segundo.

Si un motor diese el mismo par a todas las velocidades de giro, la potencia aumentaría de forma progresiva con la velocidad de giro, (Figura 1, sección C). Si el par aumenta también al aumentar la velocidad de giro, aumentará cada vez más la potencia (A y B). Si el par cae de forma suave, la potencia permanecerá constante (D) porque la pérdida de par será suplida por el aumento de velocidad de giro. Cuando el par cae más bruscamente, también bajará la potencia (E).

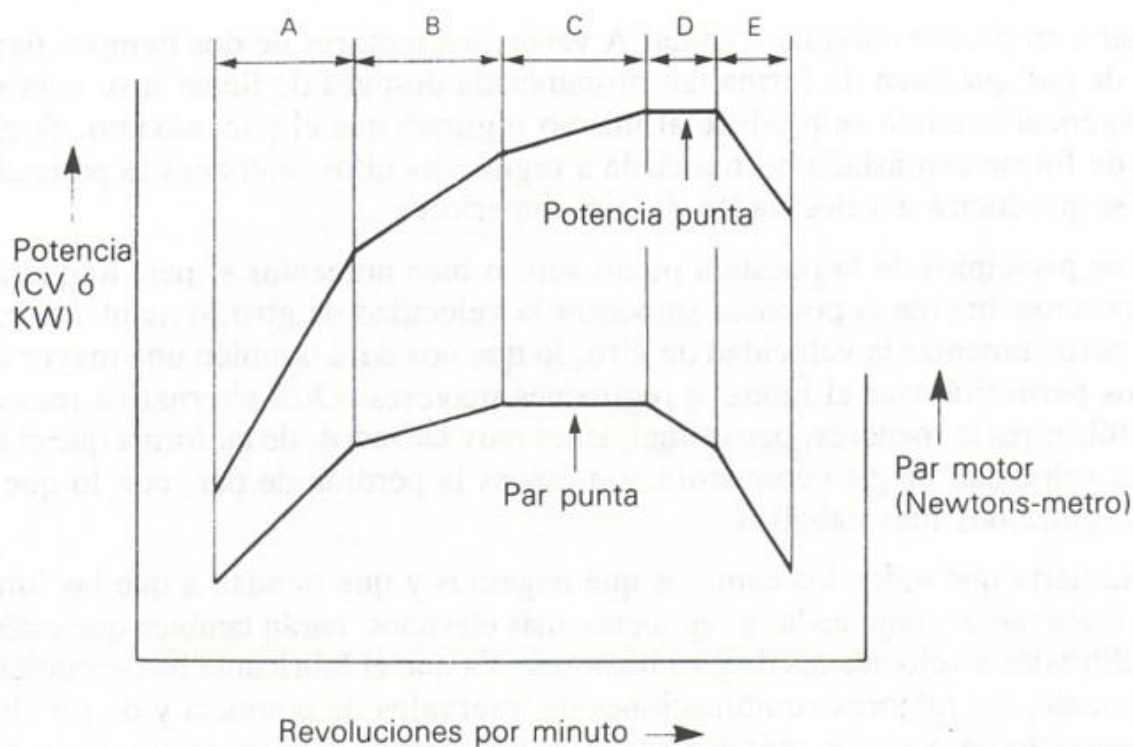


Fig. 1. La relación entre par motor y potencia; asociados por las revoluciones del motor.

Cuando se aumenta progresivamente la velocidad de giro de un motor, desde el mínimo hasta el máximo (a todo gas), el par suele empezar en niveles bajos, va creciendo hasta un máximo y luego desciende; la caída es cada vez mayor al ir acercándose el motor a su velocidad de giro máxima. En este límite superior de velocidad, el motor gira tan deprisa que las lumbreras no están abiertas el tiempo necesario con objeto de que entren los gases suficientes para producir tanto par como a velocidades inferiores. Y tampoco hay tiempo suficiente para quemarlos. El motor es poco eficiente, como bomba y como intercambiador de calor.

El punto en que el par llega al máximo es aquél en que el motor consigue su eficiencia máxima como bomba. En este intervalo de regímenes, absorberá más gases en cada ciclo que a ninguna otra velocidad de giro: este concepto de flujo de gases es importante para el mecánico de puesta a punto.

A regímenes inferiores, la eficiencia de bombeo no es tan buena porque su acción depende hasta cierto punto de conseguir que los gases alcancen una velocidad adecuada y que se pueda aprovechar su inercia para llenar el motor. También hay bastante solapamiento entre las lumbreras, y si se hace girar el motor a una velocidad demasiado baja, los gases que deberían quedarse atrapados dentro tendrían tiempo de salir por lumbreras que siguen abiertas. Los tamaños de las lumbreras y los intervalos de tiempo que están abiertas tienen que ajustarse a la velocidad a la que debe girar el motor.

Esta crecida gradual, máximo y bajada de la curva de par produce una curva de potencias que, a regímenes bajos y medios, sube de forma bastante pronunciada, hasta

1

llegar a su propio máximo y caída. A veces, los motores de dos tiempos tienen curvas de par que caen de forma tan pronunciada después de llegar a su máximo, que la potencia máxima se produce al mismo régimen que el par máximo. Si el par no cae de forma demasiado pronunciada a regímenes altos, entonces la potencia máxima se producirá a velocidades de giro superiores.

Los principios de la puesta a punto son, o bien aumentar el par, lo que aumenta proporcionalmente la potencia sin variar la velocidad de giro, o mantener el mismo par pero aumentar la velocidad de giro, lo que nos dará también una mayor potencia y nos permitirá usar el motor a regímenes mayores. Otra alternativa más extrema es utilizar pares menores, pero a regímenes muy elevados, de tal forma que el aumento en la velocidad de giro compense con creces la pérdida de par, con lo que al final conseguiremos más caballos.

Advierta que todos los cambios que hagamos y que tiendan a que las lumbreras, etc, estén mejor conjuntadas a regímenes más elevados, harán también que estén menos equilibradas a velocidades de giro menores. Ya que el fabricante ha descubierto, normalmente, las mejores combinaciones de intervalos de potencia y de revoluciones, un aumento de potencia máxima suele ir acompañado de una disminución del intervalo de regímenes. El aumento de revoluciones suele dar problemas de fiabilidad, pero además se pueden presentar dificultades de tipo práctico con un motor que sólo produce potencias útiles en una banda estrecha de regímenes. Las relaciones de las marchas pueden estar tan separadas que incluso cuando se lleva el motor hasta un máximo de revoluciones en una marcha, el cambio a la superior hace que las revoluciones caigan por debajo del límite inferior de la banda de potencias. El programa de la página 120 indica cómo se pueden equilibrar las relaciones de las marchas con la banda de potencias. Y, si la máquina es muy poco eficiente a bajos regímenes, puede ser muy difícil arrancar y tenerla al ralentí.

El flujo de gases

Se utiliza la subida del pistón para introducir la mezcla de aire y combustible en el cárter. La lumbrera de admisión se puede abrir y cerrar por la falda del pistón o por una válvula rotatoria (lumbrera giratoria) que gira con el cigüeñal. El programa de la página 135 lo muestra de forma gráfica. Un método alternativo consiste en controlar el flujo de gases de admisión por medio de una válvula de láminas, que se abre al bajar la presión de los gases del cárter por debajo de la atmosférica, y se cierra por su propia elasticidad al igualarse dicha presión con la atmosférica.

Al bajar el pistón (impulsado por el empuje del ciclo anterior) comprime los gases del cárter; primero se tiene que cerrar la lumbrera de admisión para evitar el retroceso de gases por el carburador, y luego se tiene que abrir la lumbrera de escape del cilindro. Esta lumbrera se controla por el borde superior del pistón, y esta fase (escape abierto, gas que se comprime en el cárter) se llama compresión primaria o

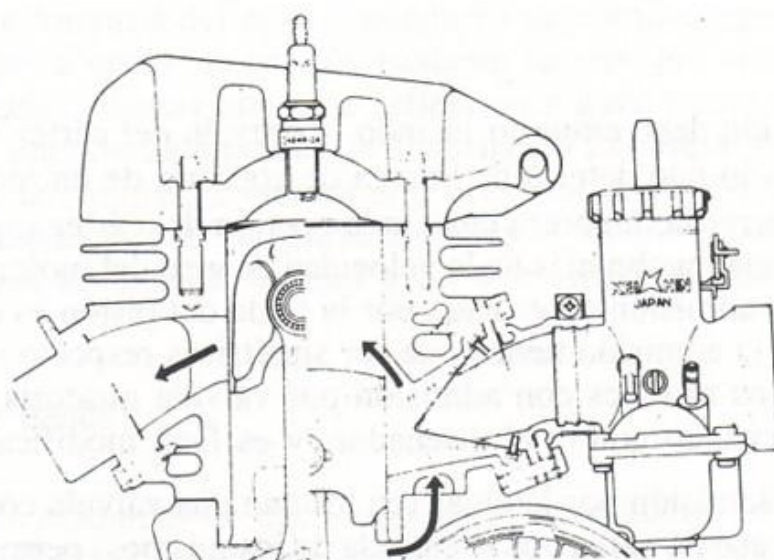


Fig. 2. Disposición del cilindro de un motor de dos tiempos típico, y flujo de gases por el mismo.

precompresión. Los gases calientes a alta presión sobre la cabeza del pistón salen violentamente por la lumbrera de escape, y disminuye la presión dentro del cilindro. La presión dentro del cárter está aumentando al mismo tiempo, y mientras se hace superior a la del cilindro, el pistón abre más lumbreras, que se llaman de carga o de barrido de gases. Estos conectan el cárter, bajo el pistón, con el cilindro que está sobre el mismo, y el gas fresco del cárter pasa por ellos y empuja al gas quemado para hacerlo salir por el escape.

El pistón se eleva, y después de cerrar las lumbreras de carga y de escape, comprime la mezcla de aire y de combustible mientras hace entrar más mezcla en el cárter para el próximo ciclo. El gas comprimido se enciende, y el calor desprendido hace subir su presión, lo que impulsa hacia abajo al cilindro.

Han existido diferentes variaciones sobre este tema. Las DKW de los años 30 utilizaron diversos sistemas de admisión y de barrido de gases, entre ellos el motor de carga por bomba, en el que se utilizaba un cilindro para absorber los gases nuevos y hacerlos entrar en un cilindro contiguo para su combustión. Se han utilizado varios motores en los que los gases proceden directamente de un sobrealimentador de funcionamiento independiente. Otro tema es el de los cilindros con sección escalonada, cuya mitad inferior tiene un calibre mayor al de la mitad superior, y esto se utiliza para el barrido de gases del cilindro, en vez de la compresión del cárter.

Se llama *eficiencia volumétrica* de un motor a la razón del volumen de gases que entran en el cilindro dividido por el volumen barrido por el pistón. Dado que los motores de dos tiempos bombean desde el cárter al pistón, se llama *relación de volúmenes* a la cantidad de gases comparada con la que barre el pistón. Estos gases también se pueden perder por el escape, y lo que queda en el cilindro dividido por el volumen barrido es la *eficiencia de retención* del motor.

1

Admisión

La fase de admisión debe empezar cuando la presión del cárter sea inferior a la atmosférica: esto es lo que determina la cota de apertura de un motor con válvula de disco. Se debe cerrar la lumbrera cuando la presión del cárter supere la atmosférica, y esto ya depende mucho más de la velocidad de giro del motor. El punto débil de las máquinas con admisión controlada por la falda del pistón es que las cotas de apertura y cierre de la admisión tienen que ser simétricas respecto al p.m.s. (punto muerto superior). Los motores con admisión por válvula giratoria pueden abrir y cerrar la admisión cuando quiera el diseñador, y es fácil modificarlo.

Los motores con admisión por láminas (en los que una válvula con láminas flexibles impide el retroceso de gases por la entrada de los mismos) permiten, en la práctica, un reglaje variable en toda la gama de velocidades del motor.

Se diseñaron en un primer momento para evitar el retroceso de gases, y las láminas permitieron un funcionamiento a regímenes elevados sin grandes pérdidas a velocidades de giro menores. Esto funcionaba bien en los motores de los karts y en motos de trial en las que era importante disponer de una flexibilidad a regímenes menores y una buena banda de potencias. No servía de mucho a velocidades de giro elevadas, porque el bloque de láminas suponía una restricción física. Los investigadores mejoraron todo esto, sobre todo los de Yamaha, hasta que por último los motores con admisión por láminas llegaron a tener la misma eficiencia a regímenes altos y seguían disponiendo de bandas de potencia anchas.

En algunos, la lumbrera de admisión permanece abierta en los 360 grados del giro, y la válvula de láminas controla completamente la admisión. Dado que la válvula sólo se abre cuando es necesario, esto es, cuando la presión del cárter baja lo suficiente, y se cierra cuando la presión del cárter sube por encima de la atmosférica, y dado además que es más fácil construir un motor de admisión por láminas que uno por válvula de disco, no es difícil comprender por qué se han hecho tan populares las válvulas de láminas.

El aumento del tiempo de apertura de la admisión, y el mayor aerodinamismo de la lumbrera, permitirán un mejor flujo de los gases y un flujo más sostenido a regímenes mayores.

La labor de Yamaha con las válvulas de láminas permitió mejores resultados a regímenes elevados, así como más revoluciones de las que permitían las láminas en una primera época. Consiguieron esto a base de establecer las dimensiones óptimas del bloque de láminas para cada lumbrera de admisión y determinando las frecuencias más adecuadas de los pétalos para los regímenes punta deseados para el motor. También aprovecharon la cámara que queda detrás de la válvula de láminas para mejorar el barrido de gases, conectándola con una lumbrera de carga adicional (“séptima”). Esto proporcionaba un flujo adicional de gases al cilindro, y también aliviaba la presión sobre la parte trasera de la válvula, lo que hacía que se abriese más rápidamente al empezar el ciclo siguiente.

Por último, la longitud del paso o conducto de admisión puede ser importante, ya que está sujeto a ondas de presión bastante fuertes que vienen del cárter. Si la lumbrera es regular, dichas ondas se reflejarán regularmente a lo largo del paso; la llegada de un impulso de alta presión al abrirse la lumbrera, o al empezar a levantarse la válvula de laminas, acelerará el proceso de la admisión. Ya que las ondas de presión se desplazan a la velocidad del sonido por los gases, el momento de su llegada dependerá de dicha velocidad y de la longitud del conducto.

El barrido de gases

Las primitivas máquinas de dos tiempos de la postguerra se basaban sobre todo en el diseño DKW con barrido de gases Schnürle, o por turbulencias. En este sistema, los gases frescos se dirigen a la pared posterior del cilindro, y suben formando un bucle, empujando a los gases de escape quemados por la lumbrera de la parte delantera del cilindro. A diferencia de los modelos más antiguos, este sistema permite el uso de un pistón plano (en lugar de los más antiguos, que tenían un deflector para impedir que se mezclasen los gases nuevos con los viejos). Es evidente que es crítica la velocidad y la dirección de los gases nuevos, si no se quiere que se mezclen con los gases del escape ni que se pierdan por la lumbrera de escape.

Esos motores antiguos de dos tiempos tenían un sistema de bombeo al cárter muy deficiente, y cuando la gente quería poner a punto los motores como el Bantam o el Villiers, descubrían que se podían conseguir grandes mejoras si se incrementaba la compresión del cárter. Dado que algunos de dichos motores tenían volantes y contrapesos en el cigüeñal, y dado que los cárteres eran muy grandes, era sencillo reducir su volumen, aumentar la compresión y así aumentar su relación de volúmenes o eficiencia de bombeo. La relación de volúmenes es proporcional a la compresión del cárter, y la velocidad de giro del motor a la que se produce la máxima eficiencia es inversamente proporcional al volumen del cárter. Por lo tanto se utilizaban unos volantes de pequeño diámetro, de 360 grados, y se rellenaban todos los espacios libres con aleaciones ligeras, lo que mejoraba mucho la capacidad de bombeo de los motores.

Algunos mecánicos de puesta a punto llevaban esto hasta sus últimas consecuencias, y construían rellenos complicados para el interior de la falda del pistón, y para llenar todos los espacios libres en general. En estos casos, todo incremento que se conseguía se perdía por otra parte por el mal flujo de gases que todo ello originaba. ¡Se conseguía mejorar la compresión en el cárter, pero los gases no llegaban bien a las lumbreras!. Lo que es peor, tanto la cabeza como el pie de la biela se lubrican por el vapor de aceite que entra con los gases, y esta corriente que sirve para enfriar y para lubricar suele estar dirigida a la cabeza. Cuando se ponían cosas por medio, la vida de la cabeza se reducía.

La alta compresión del cárter ganó mala fama por todo esto, y porque las motos de GP japonesas de los años 60 la utilizaban. Eran famosas por sus motores de altísi-

mos regímenes y de bandas de potencia estrechísimas. No eran raros los regímenes útiles de 17.000 y de 18.000 rpm, ni tampoco era raro que necesitasen utilizar 10 ó 12 marchas. Utilizaban lumbreras de carga muy pequeñas, y altas compresiones en el cárter para que los gases adquiriesen velocidades altas al salir de las lumbreras. Esto producía en el cilindro un barrido de gases demasiado efectivo, y se perdía gran parte de los gases por el escape. Eran motores con carrera del pistón muy corta, con cilindros muy pequeños (motos de 50 c.c. bicilíndricas, de 125 c.c. con cuatro cilindros, etc). Por lo tanto, los cárteres eran muy pequeños, y daban una relación de volúmenes máxima a revoluciones muy altas. A pesar del trabajo de los diseñadores, y a pesar de los volúmenes de los cárteres, se asoció la compresión alta de los cárteres con las bandas de potencia estrechas, y cuando apareció una nueva generación de máquinas, la moda era no hacer caso para nada de la compresión en el cárter. En vez de ello, los diseñadores y los mecánicos de puesta a punto se dedicaron a trabajar en el terreno de la dirección de las lumbreras de carga, para mejorar el flujo de gases y para dirigirlo de forma que diese máximos rendimientos. En otras palabras, descubrieron que un flujo de gases bien dirigido podría eliminar los gases usados y hacerlo con una disolución mínima, y con mínimas pérdidas de gases frescos.

Cuando consiguieron esto, parecería lógico suponer que se podría hacer lo mismo pero con una relación de volúmenes mejor, para mejorar la carga del cilindro y elevar el par. La mejora de la compresión en el cárter tiene este efecto, mientras no se haga nada que impida el flujo de los gases en el cárter.

Pero hasta ahora, las investigaciones se han dedicado a crear lumbreras de carga cada vez más astutas. Quizá sea útil una explicación de las lumbreras numeradas.

Los primeros motores de dos tiempos tenían simplemente lumbrera de admisión, de carga y de escape, y se les solía llamar "motores de tres lumbreras". Pero cuando los japoneses empezaron a crear motores de dos tiempos, utilizaron motores con admisión por disco giratorio, y descubrieron que podían abrir otra lumbrera de carga en la parte trasera del cilindro, ya que allí no había lumbrera de admisión. Esto mejoró los resultados de los motores, y lo llamaron tercera lumbrera (de carga).

Mas tarde, Yamaha añadió dos lumbreras de carga auxiliares a sus motores de dos cilindros con admisión por cilindro, y los llamaron motores de cinco lumbreras. Lo que se suponía era la sexta lumbrera, era en realidad una lumbrera de sobrecarga en la parte trasera del cilindro. En realidad, no era más que una ranura que atrapaba una bolsa de gases tras la falda del pistón. Más tarde, esta lumbrera se alimentaba por una ventana del pistón, y se pretendía que mejorase el flujo de gases por la zona del pie de la biela para refrigerarla. Otra variación es el uso de una lumbrera muy pequeña que se abriría *antes* de las otras lumbreras de carga. Con esto se pretendía transmitir presión del cilindro al cárter, para aumentar allí la presión un momento antes de que se abriesen las lumbreras de carga.

Cuando se estaban desarrollando las válvulas de láminas, los de Yamaha advirtieron que la cámara que había detrás de la válvula de láminas contenía gases a la presión del cárter, y que estaban en un espacio muerto después de que el pistón hubiese

cerrado la lumbrera de admisión. Abrieron una séptima lumbrera que comunicaba esta cámara con el cilindro, y lograron un aumento positivo de la potencia. Otros han intentado conectar la cámara de la válvula de láminas con las otras lumbreras de carga.

Escape

El tamaño y la apertura y cierre de la lumbrera de escape son factores críticos para determinar la potencia punta. Se abre cuando los gases quemados se siguen expandiendo, y la bajada de presión tiene que hacer sitio a los gases de carga que vienen del cárter. Los gases nuevos sólo podrán llenar el cilindro mientras esté abierto el escape, de tal forma que el gas fresco puede escaparse por la lumbrera de escape. Después de cerrarse las lumbreras de carga, sigue abierto el escape, esta vez un tiempo suficiente para que las ondas de presión del sistema de escape vuelvan a empujar gases frescos al interior del cilindro.

Debido a todo esto, la altura de la lumbrera de escape sólo será eficiente en una banda estrecha de velocidades de giro. En Yamaha han utilizado una lumbrera de altura variable, mientras que en Honda y en Suzuki han utilizado cámaras variables (ver fig. 39) en el escape para modificar las ondas de presión y para mejorar, en consecuencia, la banda de revoluciones. El incremento de la distribución de apertura y cierre de la lumbrera de escape nos hará que la potencia máxima se dé a velocidades de giro mayores, y nos hará perder potencia a velocidades de giro menores.

El sistema de escape

Dada la manera en que funcionan los sistemas de lumbreras de carga y de escape, el sistema de escape también es vital para los resultados del motor. Sus dimensiones deben ser tales que refleje las ondas de presión hacia el motor, de tal manera que llegue un impulso de baja presión cuando se esté abriendo el escape, y que llegue otro de alta presión cuando esté a punto de cerrarse. De nuevo, los efectos beneficiosos de todo esto sólo se producen en una banda estrecha de regímenes.

Restricciones

El flujo de los gases es físico, además de sufrir efectos relacionados con la velocidad. Por un orificio mayor entrarán más gases. Por un orificio menor, aumentará la velocidad de los gases. Es vital observar en qué casos son importantes el flujo volumétrico y la velocidad de los gases, y descubrir cualquier restricción de tipo

físico. Es evidente que si los gases no fluyen bien, no conseguiremos mejorar la potencia por mucho que trabajemos con las lumbreras.

Equilibrio

Los resultados punta de todas las partes que se relacionan con el flujo de gases dependen del régimen del motor. Por lo tanto, es necesario equilibrarlos todos para que actúen en el mismo intervalo o banda de velocidades de giro, si lo que queremos es conseguir una potencia máxima. Se puede conseguir una potencia que abarque una banda mayor de regímenes, aunque no alcancemos tanta potencia máxima, si introducimos cuidadosamente ciertos desequilibrios entre diferentes partes del sistema. Esto se suele organizar cuidadosamente en las motos de carretera, para conseguir las características más adecuadas; antes de poner a punto un motor es importante darse cuenta de lo que ha hecho el fabricante.

Intercambiador de calor

El combustible que se añade al flujo de aire se quema de la forma más eficiente posible, lo que quiere decir casi siempre que se quema de la forma más rápida posible. El calor generado por el combustible al quemarse eleva la temperatura de los gases del cilindro, y así se genera el trabajo. También eleva la temperatura, y es importante distinguir temperatura de calor; no es lo mismo. La temperatura es un síntoma del calor, y suele ser una molestia casi siempre.

Cuando se comprimen los gases (antes de la combustión) se eleva su temperatura; se eleva más todavía al saltar la chispa de la bujía. Cuando su temperatura es superior a la del metal que lo rodea, el calor fluirá de los gases al metal (y el síntoma de esto es que aumenta la temperatura del metal). Este calor podría estar trabajando sobre el pistón en vez de dedicarse a calentar el entorno, de tal forma que cuanto más calor desprende un motor, es menos eficiente.

Las turbulencias en el interior del cilindro pueden servir para igualar la mezcla de gases y para acelerar su combustión. Pero también hace que los gases entren más en contacto con el metal de la parte superior del cilindro y del pistón, y esto permite una mayor pérdida de calor. En este sentido, una turbulencia mayor nos dará menor potencia.

El diseño de las corrientes de barrido de gases y de la parte superior del cilindro debe ser tal, que genere una turbulencia óptima para la combustión —pero no más que eso.

A regímenes altos, hay menos tiempo de perder calor, y aumenta la eficiencia (eficiencia adiabática). El aumento de la compresión y la mejora del encendido (reglaje y duración de la chispa) también sirven para extraer más calor de los gases.

Eficiencia mecánica

La última mejora que debe introducir el mecánico de puesta a punto es hacer que la máquina gire de la forma mas eficiente que sea posible. Para esto, será necesario un montaje cuidadoso; comprobar que los cigüeñales y otras partes vitales no estén deformadas; reglar con precisión las holguras de los pistones, y asegurarse en general de que las pérdidas por rozamiento sean las mínimas posibles.

Herramientas y equipo

El objetivo fundamental de la labor de desarrollo es conseguir resultados; buenos resultados, se entiende. A los equipos de carreras sólo les interesa disponer de más potencia y de mayor fiabilidad, lo que es una pena, porque la mayor parte del tiempo es más importante descubrir por qué suceden las cosas: tanto las cosas que reducen la potencia como las que la incrementan.

Cuando el mecánico de puesta a punto comprende el funcionamiento de los factores que intervienen, se puede ahorrar mucho trabajo y problemas para el futuro. Pero el llevar a cabo una serie de experimentos puros es un lujo que pocos se pueden permitir. El concepto de experimento es probar una teoría, y producir resultados repetibles. En este sentido, pueden ser más importantes los "fracasos" que los éxitos: lo importante es comprender la teoría y poder aplicarla para mejorar cualquier motor que se construya en el futuro.

Este tipo de programa de actividades es muy caro, en tiempo y en motores, pero existe una alternativa algo peor que es mantener un registro detallado de todo el trabajo que se hace, y de los resultados conseguidos. En primer lugar, sirve de referencia incontestable, de tal manera que se pueden repetir con exactitud las mismas especificaciones cuando haga falta. En segundo lugar, si existe algún método para asociar entre sí los artículos y piezas, se puede utilizar como herramienta de diseño (por ejemplo, de las dimensiones de los escapes), de tal forma que se pueda predecir un punto de partida que no sea malo, y llegar a crear nuestras propias fórmulas.

Con este fin, es importante que tome sus notas siempre en el mismo formato, que lo haga de forma concisa y legible y que vaya desarrollando algún sistema de índice. Sugeriría que utilizase una carpeta de anillas tamaño DIN A4, de tal forma que se pudiesen añadir y sacar hojas en cualquier momento. Dé un título claro a cada ensayo, y no olvide poner la fecha (para evitar confusiones si luego vuelve a trabajar con el mismo modelo).

El mejor formato sería seguramente algo parecido a las tablas de especificaciones que utilizan los fabricantes en sus manuales para el taller; pero no incluya más que

los detalles que ha alterado o que tengan un interés especial. Añada luego todos los resultados de las pruebas, y termine con sus propios comentarios y conclusiones.

Un punto de partida típico sería tomar las medidas del motor (huelgo del pistón, volumen de la cabeza del pistón, etcétera), y apuntar todo esto, además de un esquema a escala de la posición de las lumbreras. Para ello, le vendrá bien un bloc de papel milimetrado; también le será útil para trazar gráficos de los resultados de las pruebas, de forma que más adelante los pueda comparar entre sí con facilidad.

El paso siguiente es calcular la puesta a punto del motor, calculando por ejemplo los valores de tiempo—superficie de las lumbreras (véase el capítulo 4, y el Apéndice). Esto le deberá indicar si los diversos componentes están “conjuntados” con la precisión requerida o no, y a partir de aquí usted debería ser capaz de diseñar los primeros pasos de un programa de desarrollo. En el capítulo 3 veremos estos sistemas de evaluación de motores.

Para medir la potencia y el flujo de combustible nos hará falta, evidentemente, un banco de pruebas de potencia y un medidor de caudal, y por desgracia no hay otra alternativa que utilizar estos equipos, si queremos medir los resultados en condiciones controladas. Conozco a uno o dos mecánicos de puesta a punto que tienen la paciencia y la sensibilidad suficientes para poner a punto los motores e ir midiendo los resultados en la misma pista de pruebas, pero son excepciones, e incluso si se tienen aptitudes especiales es un proceso muy largo, sujeto a todo tipo de variaciones del tiempo meteorológico, de la maquinaria y del piloto. Pero si no disponemos de un banco de pruebas de potencia, tendremos que encontrar otro sistema de medida. Se puede utilizar la pista de pruebas, si somos conscientes de sus limitaciones, y si estamos dispuestos a esperar a que haga buen tiempo. En el capítulo 10 hablaremos de los métodos de prueba en pista.

Existe otro sistema de archivar los datos, que es utilizar un ordenador con almacenamiento en disco. Definiendo unos campos adecuados, el ordenador puede llegar a darnos todos los datos necesarios para una máquina, o puede comparar datos (por ejemplo, el reglaje del escape y las revoluciones máximas) de una serie de motores diferentes. Si el ordenador utiliza almacenamiento en cinta, sería mejor utilizarla para cargar todos los ficheros en la RAM del ordenador, y luego acceder a la misma por acceso al azar para leer un dato determinado.

Son indispensables los instrumentos de medida, y el mecánico de puesta a punto descubrirá que tienen diferentes grados de precisión, y que todos ellos precisan un buen nivel de habilidad y de práctica para conseguir buenos resultados con su manejo.

Calibre de láminas (galgas)

Cuando se combinan unas con otras, se puede medir con ellas hasta una precisión de 0'04 mm. La precisión depende del usuario, sobre todo cuando éste tiene que ajustar

una apertura u holgura y tiene que juzgar cuánto debe de apretar sobre la galga. Normalmente, cuando se comprueba la separación de puntas de una bujía, o la holgura de los segmentos o de unos cojinetes, existirán unos límites preestablecidos muy precisos, y se podrán utilizar las galgas para determinar si el ajuste es correcto o no (por ejemplo, si la apertura debe ser de 0'6 a 0'7 mm, la galga de 0'6 mm debe pasar por la abertura, y la de 0'7 no debe pasar).

Calibre (tipo compás)

Hay modelos cuyas patas permiten mediciones internas o externas, que son útiles para comparar los tamaños de las lumbreras, o para medir cosas a las que es difícil llegar, como por ejemplo las lumbreras; luego se puede medir la apertura del calibre con un pie de rey.

Pie de rey

El pie de rey nos da una precisión de hasta 0'02 mm. El instrumento nos permite tomar medidas internas o externas, y suele llevar además una varilla para medir en profundidad, lo que resulta útil para medir la altura de las lumbreras. Uno de los modelos más prácticos lleva tornillos para bloquear la escala y una rueda estriada que permite hacer los cambios pequeños muy poco a poco.

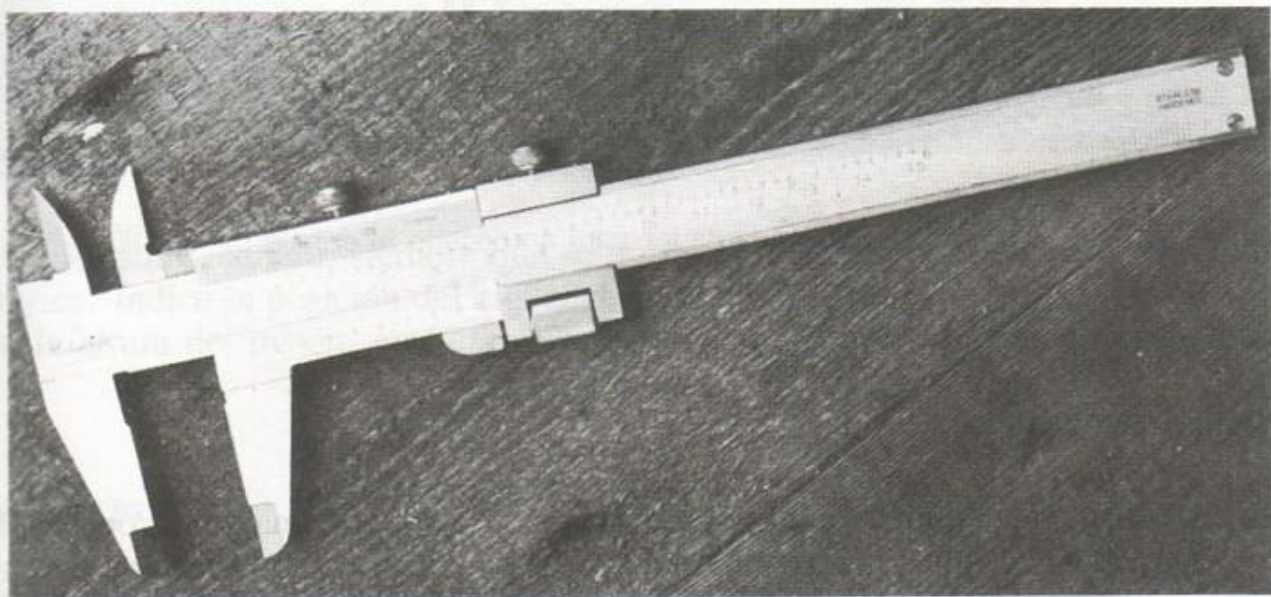


Fig. 3. Pie de rey.

2

Calibre sonda con dial

Cuando se dispone de tornillos y adaptadores para sujetarlo bien en su sitio, el calibre sonda es uno de los instrumentos más fáciles de utilizar. Pero puede ser difícil colocarlo, ya que no debe moverse ni descentrarse de su sitio, y la varilla debe estar bien centrada sobre el objeto que se mide. El aparato suele medir con una precisión de una centésima de milímetro. Se suele utilizar para medir los descentramientos y las holguras de los ejes y de los cigüeñales (también se deben utilizar soportes con cuña y un mármol o superficie plana si hace falta) y también para colocar el pistón en posiciones exactas, para el reglaje del encendido o para localizar el p.m.s.

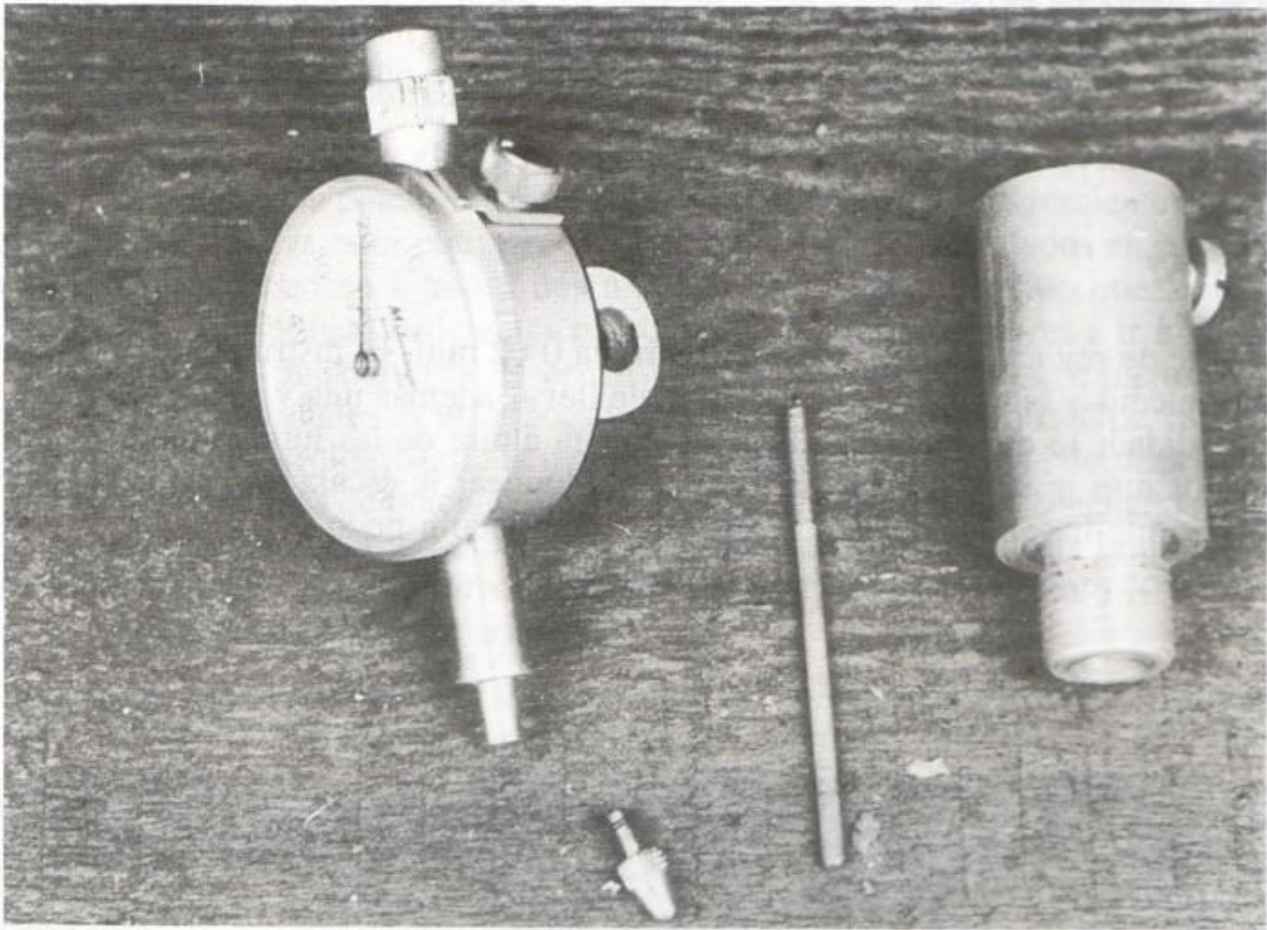


Fig. 4. Calibre sonda, con adaptador para enroscarlo al orificio de la bujía.

Tornillo micrométrico

Es el instrumento de medida más exacto de todos; suele dar una precisión de 0'01 mm. Se puede hacer girar la abrazadera giratoria por medio de un trinquete que nos garantiza una presión regular cuando se aprieta el tornillo micrométrico sobre el objeto que se mide. Suele venir con el aparato un objeto de tamaño conocido, que sirve

de guía para comprobar la precisión del aparato. Los tamaños más corrientes son de 0 a 25 mm, de 25 a 50 mm, etcétera. Para las medidas interiores, existen tornillos micrométricos especiales; o se pueden utilizar los exteriores combinados con un medidor de calibres. Son esenciales para medir los diámetros de los árboles, de los cojinetes, de los pistones, de los cilindros, etcétera.

Fig. 5. Tornillo micrométrico, para mediciones externas precisas. Existen tornillos micrométricos para mediciones internas, o se puede utilizar uno externo en combinación con un calibre interno.



Disco graduado

Es útil sobremanera, siempre que se pueda montar sobre una base rígida y concéntrica. Indica la posición del cigüeñal, para comprobar el reglaje de las lumberras, la altura del pistón, etcétera. No se fíe de él para el reglaje de encendido.

Borde recto

Regleta o escuadra de acero; es útil para verificar el alineamiento de la superficie de las juntas, etcétera.

2

Mármol de comprobación

Es una placa de acero bien plana, que se utiliza como punto de referencia para tomar medidas (muchas veces se combina su empleo con el de soportes con hendidura en forma de cuña) para verificar las dimensiones de las bielas y para verificar también que no estén deformadas, para ver si están rectos también los cigüeñales, etcétera. También se pueden utilizar para medir la deformidad de las superficies planas de las piezas grandes de fundición.

Bloques con cuña

Bloques de acero hechos con precisión, que llevan unas muescas grandes en forma de V, y que sirven para sujetar los árboles redondos.

Punta de trazar

Instrumento con punta aguda, de acero o de carburo, que se utiliza para marcar el metal que se ha de trabajar a máquina.

Estroboscopio

Para comprobar el reglaje del encendido y el avance mientras está en marcha el motor.

Comprobador de circuitos

Para comprobar la continuidad de los circuitos eléctricos, etcétera. Es útil para el reglaje exacto de los sistemas de encendido por ruptor. Hay un modelo algo más caro que mide resistencias (los más baratos sólo indican kiloohmios) y que se puede utilizar para probar los circuitos de encendido electrónico, las bobinas y demás.

Bureta

Para medir volúmenes de líquidos. Se utiliza para medir los volúmenes de las cámaras de combustión, etcétera.

Cuando ya podamos medir y marcar el motor, sólo nos faltará ser capaces de modificarlo. Existen una serie de cálculos que pueden acelerar el proceso de prueba

y error, inevitable por otra parte, y éstos cálculos se pueden realizar de forma mucho menos pesada con una calculadora, programable si es posible, o con un ordenador. Daremos ejemplos de programas para ambos tipos de máquinas en el Apéndice.

Para los cambios sencillos en el motor, lo único que hace falta es un juego de limas; pero para ciertas labores hara falta tener acceso a una serie de máquinas-herramienta. Sobre todo, una piedra de rectificar (seguramente también una barra rectificadora), una fresadora, un torno, y equipo para soldar chapa fina de acero y aluminio. Afortunadamente, casi todas las tareas son sencillas, y cualquier tornero-fresador los podrá hacer de forma exacta y económica. Para trabajar con los tubos de escape hay que hacer muchos cortes de chapa y soldaduras: valdrá la pena aprender estos oficios.

Para el trabajo con las lumbreras, le harán falta seguramente una serie de limas pequeñas, planas y semicirculares; son mejores las que están bien afiladas y que no sean demasiado suaves, ya que las aleaciones blandas suelen embotar enseguida las limas suaves. Si es posible, es mejor utilizar una lima giratoria (existe una variedad de formas), con propulsión flexible.

Este aparato se puede hacer funcionar por medio de un taladro eléctrico que se sujeta fijo al banco en un soporte, o también por medio de un motor eléctrico. El problema es que estos aparatos cortan la aleación mejor cuando se les hace girar a altas velocidades.

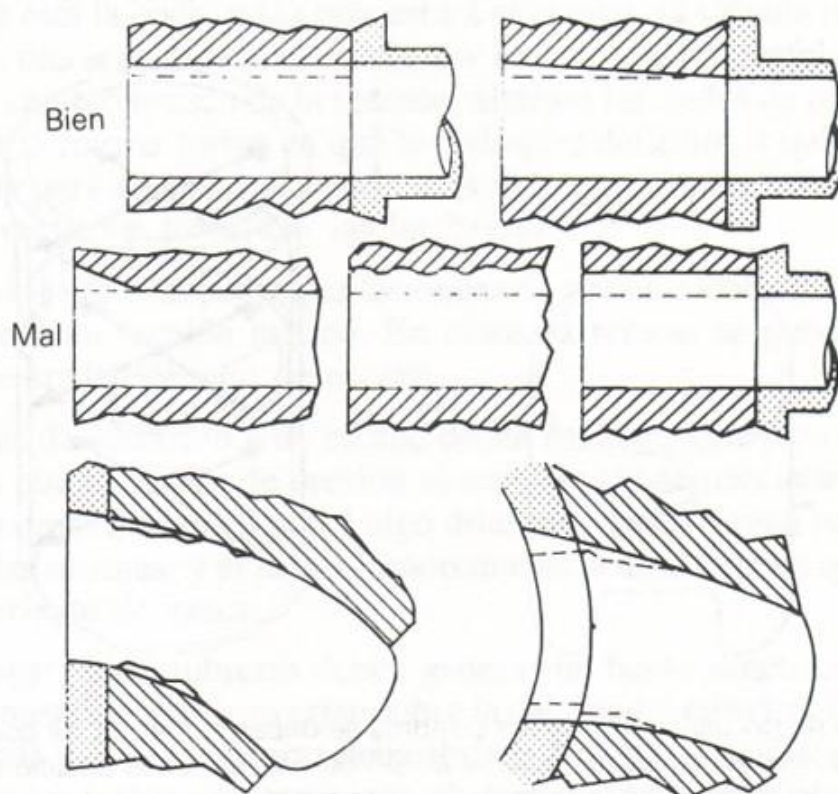


Fig. 6. El tamaño de una lumbrera se puede alterar de varias maneras. Las tres marcadas como mal' no darían buen resultado. Se deben eliminar también todas las superficies irregulares para que la superficie interior del conducto resulta tan lisa como sea posible.

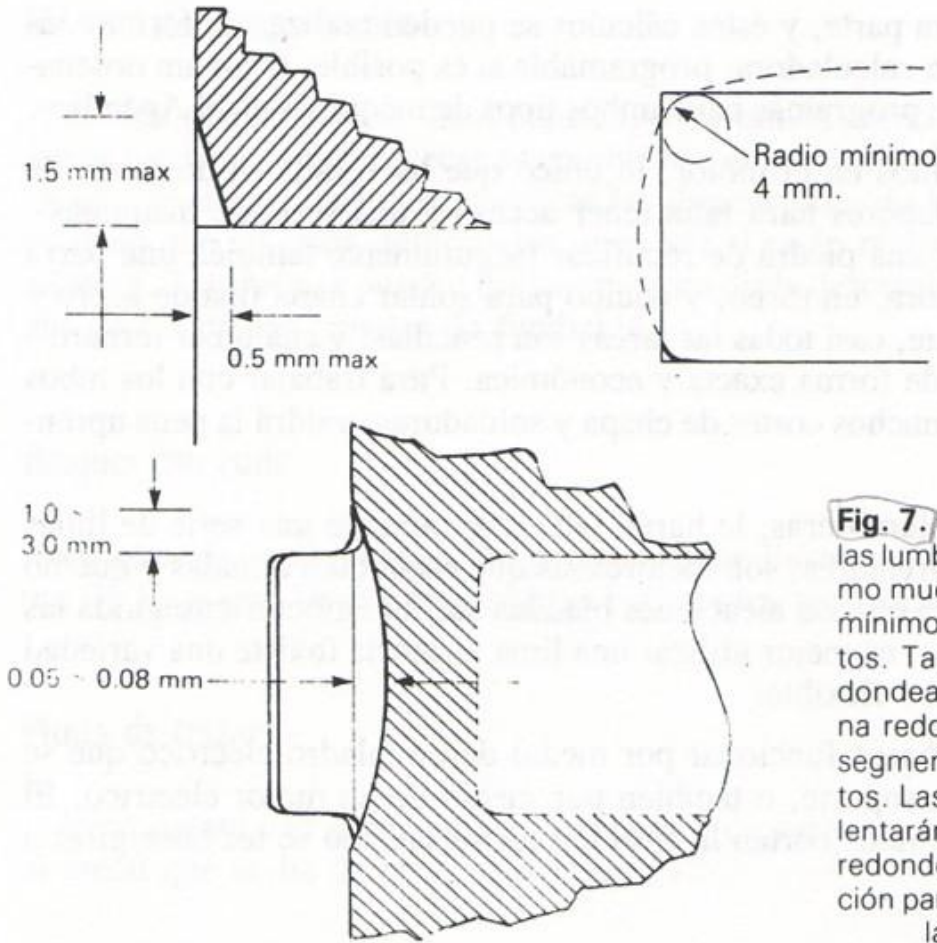


Fig. 7. Los bordes de las ventanas de las lumbreras se deben achaflanar como muestra el dibujo, para reducir al mínimo el desgaste de los segmentos. También se debe dar forma redondeada a las esquinas; una ventana redondeada desgasta menos los segmentos que otra con bordes rectos. Las ventanas puenteadas se calentarán más, y también se las debe redondear como muestra la ilustración para evitar que los puentes se dilaten y rocen el pistón.

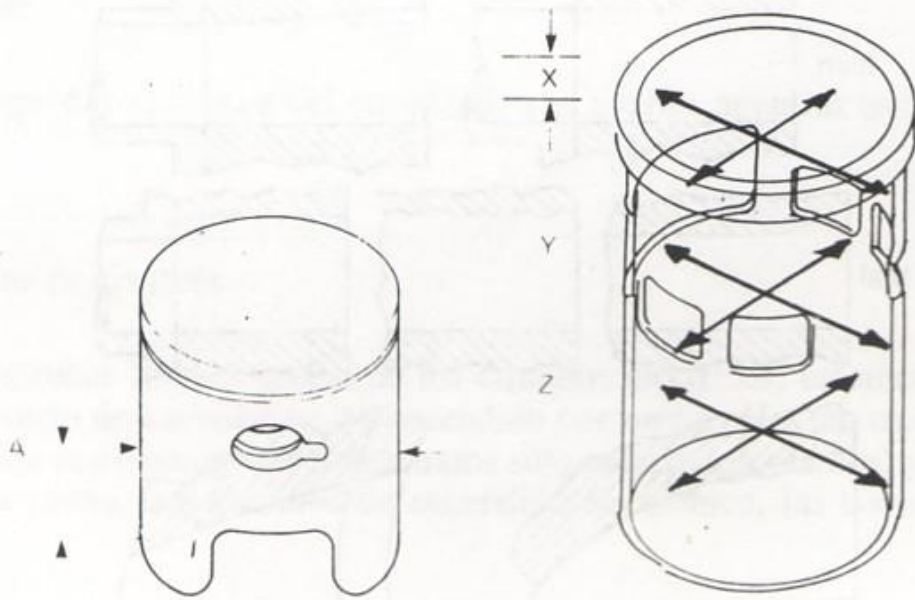


Fig. 8. Las medidas de los pistones y de los cilindros se deben tomar en las posiciones indicadas. El calibre se mide sobre el eje del bulón y a 90° del mismo, en la posición X, 15 mm por debajo de la cabeza del cilindro; en la posición Y, justo por debajo de las lumbreras de la falda, y en Z, en la parte inferior, no desgastada. La diferencia entre la medida máxima y mínima da la ovalización del cilindro. Los pistones se suelen medir en A, a 90° del bulón y justo por debajo del mismo, o a unos 15 mm del borde inferior de la falda. La holgura del pistón es igual al calibre del pistón en X a 90° del eje del bulón, menos X.

Es importante que la unión flexible que hace girar el aparato se mantenga tan recta como sea posible. Muchos mecánicos hacen que el motor cuelgue de alguna parte, de forma flexible, de forma que todo el conjunto se mueva a voluntad del usuario; de esta forma se pueden conseguir altas velocidades con buenos resultados. Las mejores herramientas cortadoras de este tipo son aquéllas (neumáticas o eléctricas) que están diseñadas para funcionar a velocidades entre 15.000 y 25.000 r.p.m. Con estas máquinas es fácil modificar las lumbreras; no estropean las conexiones o racores flexibles y no embotan las brocas. Por desgracia, son muy caras.

A la forma definitiva de la lumbrera (en la camisa de fundición) se le debe dar un acabado con limas pequeñas, limas de aguja; para llegar a los rincones más recónditos, con limas curvas. Hay todo tipo de formas y modelos de las mismas.

Uno de los problemas del trabajo con las lumbreras es que es difícil ver lo que se mide, sobre todo, cuando las ventanas de las lumbreras están achaflanadas y tienen forma curva en vez de recta. Para ver mejor, es práctico trabajar en un banco que tenga la superficie clara y utilizar un flexo o lámpara móvil que permita arrojar luz en el cilindro y por las lumbreras, de forma que se pueda ver la silueta por lo menos. Aparte de eso, lo que se debe tener en cuenta es que hay que trabajar con cuidado, y en caso de duda volver a tomar las medidas varias veces, hasta que los resultados sean consistentes.

Cuando se haya preparado la boca de la lumbrera para conseguir el reglaje y la superficie deseada, se debe dar forma adecuada al resto de la lumbrera. En un extremo de la misma está la boca, en la otra estará el escape, la válvula de láminas, etcétera. El paso de una sección a la otra debe ser lo más regular posible. Todo escalón, irregularidad o cambio brusco de la sección, alterará las ondas de presión, y les quitará energía, de la misma forma en que los tabiques deflectores quitan energía a los gases del escape para silenciar el motor. Los diagramas muestran formas correctas y formas incorrectas de modificar las lumbreras.

Cuando sea necesario impedir que las ondas de presión afecten al flujo de gases, lo mejor es poner un escalón brusco. En casos extremos, se pone una arandela o algo así en la entrada del tubo de escape.

Las lumbreras de admisión y de escape deben ser regulares para mejorar el flujo de gases y para que las ondas de presión se muevan sin restricciones, pero las lumbreras de carga desempeñan un papel algo diferente. Estas sirven para bombear gases a través de las mismas, y el factor importante es la dirección en que cada lumbrera envía su corriente de gases.

En primer lugar, las lumbreras deben generar un bucle simétrico, de forma que todas las corrientes de gases converjan sobre la cabeza del cilindro, lo que suele querer decir que cada par de lumbreras debe abrirse de forma simultánea y debe dirigir sus gases a ángulos iguales con respecto a la cabeza del pistón. En segundo lugar, el ángulo de elevación de cada corriente de gases debe ser igual al de su compañera. Esto se puede comprobar metiendo un chorro de agua por las lumbreras, o mandando humo o polvo marcador por las mismas, con un compresor.

Normalmente querrá evitar las turbulencias en las lumbreras de carga; esto se hace dando a la boca de la lumbrera las características de una boquilla: que empiece ancha, y se vaya estrechando. Normalmente, esto se puede combinar con el punto más estrecho de la curva que siguen los gases en su flujo, de tal forma que la corriente de gases tenga el flujo más regular posible. No basta limitarse a abrir las partes de la lumbrera que sean más fáciles de trabajar; con esto conseguirá dar a la lumbrera la peor forma posible. Si no dispone de materiales para trabajar todas las partes de la lumbrera, será mejor que no toque de momento las lumbreras de carga. Puede utilizar materiales de moldeado para comprobar las formas de las lumbreras de carga; éstos le indicarán cuánto se parece cada lumbrera a su compañera.

Lo último que se debe tener en cuenta con las lumbreras es que se deben redondear las esquinas; cuanto mayor sea el radio, mejor será el flujo de gases; después del pulido final de la camisa, se debe achaflanar también el borde de las lumbreras, para dar la mayor vida posible a los segmentos. Las recomendaciones sobre esto varían; algunos fabricantes, como Honda, utilizan un radio de 2 mm para los bordes horizontales y de 0'5 mm para los verticales. Otros, como Suzuki, utilizan un chaflán de 1'5 x 0'5, como se aprecia en el diagrama.

No es fácil determinar el huelgo del pistón, sobre todo porque los pistones no son redondos, son algo ovalados, y tampoco tienen los lados paralelos, tienden a estrecharse hacia la cabeza. El fabricante suele dar su propio sistema de medida; normalmente, el cilindro se mide inmediatamente bajo el bulón, sobre un eje que forma ángulo recto con el bulón. La única pega es que en algunas máquinas el pistón no tiene falda en esa parte. El cilindro se mide a 15 ó 20 cm de la parte superior, sobre el eje longitudinal del motor. El juego oficial entre pistón y cilindro es la diferencia entre ambas medidas.

Pero si se ha modificado el pistón y se han eliminado grandes zonas de su falda, habrá que tomar la medida en otra parte.

La única solución posible es medir el pistón en una zona tan próxima como sea posible a la original, siempre a 90 grados del bulón. Mida un pistón sin usar en el mismo punto y utilice ese valor para calcular el nuevo juego entre pistón y cilindro que le servirá de punto de referencia, en vez de la cifra oficial del fabricante. (Véase juego entre cilindro y pistón, capítulo 6).

Evaluación del motor

Suponiendo que podamos elegir, siempre será útil usar el mejor motor posible para la función que queramos que desempeñe la moto. Lo ideal sería que fuese un motor tan superior al de los contrincantes que no hubiese que hacer nada al mismo. Hasta que ellos consiguiesen el mismo motor, por supuesto.

Hay que tener en cuenta para qué estamos poniendo a punto la máquina: si es para competición, lo único que nos deberá preocupar son los caballos. Otra cosa es poner a punto una moto de carretera que anda baja de potencia para que iguale a los modelos más modernos. Lo primero que hay que considerar es el punto de partida del motor: ¿Cuál es su nivel de resultados, en relación con el de sus contrincantes, y en relación con su costo? ¿No sería más sencillo poner otro motor?

Normalmente, tenemos que aapañarnos con lo que disponemos, y en consecuencia, la segunda pregunta se refiere a la adaptabilidad del motor. ¿Existe un motor mayor de la misma gama, que tenga piezas iguales? ¿Se puede subir el motor a mayor cilindrada? ¿Hay en el mercado piezas/kits de competición para el motor en cuestión? ¿Existe una versión para competición, p. ej, un motor para motocross?

Si la respuesta a alguna de estas preguntas es "sí", seguramente será bastante fácil mejorar el motor; hasta dónde podamos llegar en esto, dependerá de la fiabilidad del resultado. Y tenemos que volver entonces a los manuales y catálogos de piezas. ¿El sistema de lubricación es el mismo que en el modelo superior? ¿Qué pasa con los cojinetes del cigüeñal, con el embrague y con la caja de cambios? Si estos componentes estructurales son comunes a un modelo *más pequeño*, entonces es posible que se nos presenten problemas de fiabilidad, por lo menos si utilizamos piezas de serie.

Por último, pueden existir características poco corrientes que hagan difíciles las ampliaciones y modificaciones. Un problema que se puede presentar fácilmente es el de los motores que tienen la camisa revestida, ya sea cromada, de Nikasil o de algún sistema de electrofusión. En ese caso probablemente no se pueda rectificar el cilindro, y también será difícil modificar las lumbreras sin estropear el revestimiento. La empresa Mahle puede volver a acondicionar los cilindros revestidos con Nikasil siempre que no esté dañado el metal de la base.

A veces es posible establecer un punto de partida, y estimar cuánto trabajo hay que hacer, comparando las especificaciones generales del motor con las máquinas más avanzadas del mercado.

Aquí hay que tener cuidado, porque las proporciones diferentes del calibre y de la carrera del pistón pueden llegar a ocultar el estado de puesta a punto del motor. Para la misma cilindrada, los motores de carrera larga tienen una superficie de las paredes del cilindro bastante superior a la de los motores de carrera más corta, más "cuadrados". Por lo tanto, tienen bastante más espacio para abrir lumbreras; se pueden abrir grandes superficies de lumbreras sin llegar a grados muy elevados de puesta a punto. La ventaja es una ilusión, porque el motor de carrera larga sale perdiendo de muchas otras maneras. Compararemos tres motores (de carrera larga, cuadrado, y de carrera corta) para mostrar las diferencias:

	carrera larga	carrera igual a calibre	carrera corta
calibre x carrera, mm	52 x 58	54 x 54	56 x 50
cilindrada, mm	123'2	123'7	123'2
superficie de la camisa del cilindro, cm ²	9470	9156	8792
abertura del escape, grados a.p.m.s.	90	90	90
altura de lumbrera de escape, mm	25'3	23'6	22'2
anchura de lumbrera de escape, mm	36	37	39
anchura de lumbrera, % del calibre	69	68'5	69'6
superficie de lumbrera, mm ²	910'8	873'2	865'8
tiempo-superficie de lumbrera, s-mm ² a 8,000 r.p.m.	2'24	2'15	2'12
superficie de la cabeza del pistón, mm ²	2123'7	2290	2463
velocidad media del pistón a 8,000 r.p.m, en m/s	15'5	14'4	13'3
aceleración máxima del pistón a 8,000 r.p.m, en m/s ²	25415	23662	21910

Estudiemos esta tabla, línea a línea. El motor de 52 x 58 mm es el motor clásico utilitario de dos tiempos que se popularizó después de la guerra, y que se inspira en el diseño DKW. El Bantam de 125 de BSA es el ejemplo clásico. Tenemos después el motor de 54 x 54 mm, que fue mucho tiempo el diseño consagrado para las motos de carreras de 125 c.c. Por último, el motor de carrera corta, de 56 x 50 mm siempre supuso una alternativa al diseño cuadrado, y acabó superándolo en los motores de alta potencia y altas revoluciones.

Los tres nos dan un cubicaje de 125 c.c. y se han utilizado tanto en solitario como en máquinas de dos cilindros. Al mantener la misma carrera y aumentar el calibre para conseguir cilindros de 150 y de 175 c.c. se apreciaba el potencial del motor de calibre grande y carrera corta.

La superficie de las paredes del cilindro nos muestra cuánto sitio tienen las máquinas de carrera larga para abrir lumbreras de escape y de carga; lo malo es que con tanta superficie de metal los gases pueden perder más calor. Los motores de carrera larga siempre hacen que los gases de carga tengan que recorrer mayores distancias, lo que ocupa un tiempo precioso.

Hemos supuesto que todas las lumbreras de escape se abrirían a 90 grados después del p.m.s, para igualar las condiciones entre los tres motores; en realidad, para el motor de carrera corta sería una cota muy baja, y muy alta para las de carrera larga: una Bantam bien puesta a punto de principios de los 70 (motor de carrera larga) abriría su lumbrera de escape seguramente a unos 97 grados después del p.m.s.

El primer lugar en que sufre el motor de carrera larga es la anchura de la lumbrera de escape. Le hemos calculado 36 mm, que suponen casi un 70 % del calibre, y en la práctica es lo máximo que pueden soportar los segmentos hoy en día; una máquina de aquellos tiempos habría tenido una lumbrera de entre 32 y 35 mm de ancho. Con el mismo grado de fiabilidad de los segmentos, el motor de carrera corta puede admitir lumbreras de hasta 39 mm de anchura.

Con todo, el motor de carrera larga compensa la superficie total de las lumbreras, y supera al de carrera corta por un poco más de 5%; lo que indicaría que el motor de carrera larga podría dejar pasar más gases después de todo. Esto parece que se confirma al calcular el tiempo—superficie de las lumbreras; cálculo que nos indica la *cantidad* en que está abierta la lumbrera multiplicada por el *tiempo* que está abierta a cualquier velocidad de giro (esto se explica con detalle en el capítulo 4, y los cálculos se exponen en el Apéndice.) Los cálculos que se basan en motores de carrera larga verdaderos nos dan un tiempo—superficie de entre 1'6 y 1'7 s—mm² a 8.000 r.p.m. Pero, dado que se podría en teoría reglar el motor como nos muestra la tabla, supondremos que el motor de carrera larga nos proporciona un incremento de superficie de lumbreras de entre un 5 y un 6%.

Pero, en última instancia, la potencia procede del empuje de los gases sobre la cabeza del pistón, y el motor de carrera corta tiene casi un 16% más de superficie en la cabeza para que empujen los gases. Entonces, a igualdad de presión de los gases, la fuerza sería cerca de un 16% más. Pero el motor de carrera larga tiene un cigüeñal más largo, 16% más largo, y ejerce un par mayor sobre el cigüeñal; en consecuencia, una cosa equilibra a la otra *en teoría*, pero a partir de aquí, todo lo demás es a favor del motor de carrera corta.

La carrera larga implica que el pistón tiene que recorrer mayor distancia y, por tanto, a una velocidad dada del cigüeñal, el pistón tiene que moverse más deprisa en el motor de carrera larga. En el ciclo de expansión, los gases del cilindro intentan comprimir un pistón que se aleja de ellos a una velocidad media de 15'5 m/s, mientras que en el motor de carrera corta la velocidad media es de 13'3 m/s, para 8.000 r.p.m. en ambos casos. La consecuencia es un mayor rozamiento y más pérdidas mecánicas que en el motor de carrera corta.

La cifra final de la tabla, que es la aceleración del pistón cuando llega a su punto máximo en p.m.s., muestra la tensión bastante menor que origina el sistema de carrera corta (los cálculos pertinentes se pueden consultar en el Apéndice; representa la fuerza máxima que se genera en la biela al pasar el motor por el p.m.s., a igualdad de masas del pistón). El motor de carrera corta puede tolerar velocidades del motor muy superiores, antes de llegar a los mismos niveles de tensión que el motor de carrera larga.

Juzgando por nuestra experiencia y por la de los demás, es fácil señalar las ventajas del motor de carrera corta, pero las cifras teóricas de su reglaje de lumbreras y de su tiempo—superficie no nos sugieren de forma evidente que pueda suponer una ventaja sobre los otros dos. No es de extrañar que los fabricantes insistieran en los diseños de carrera larga, sobre todo cuando los materiales y la lubricación no permitían altas velocidades de giro de los cigüeñales, y en aquella época no había forma de saber que un motor de carrera corta sería capaz de tolerar reglajes de lumbreras tan extremos. También nos explicamos que el motor de 54 x 54 haya sido tan utilizado: aprovecha las ventajas de los dos tipos, en muchos aspectos.

La moraleja es que es importante establecer comparaciones realistas, no suponer, por ejemplo, que se pueden reglar las lumbreras de cualquier máquina como las de una moto de carreras de GP. Pero con especificaciones como las citadas anteriormente, además de otros factores como el tamaño del carburador, la compresión y el régimen máximo, podremos descubrir si un motor tiene ventajas o desventajas comparado con otro determinado.

Muchas máquinas de carretera tienen elementos restrictivos de fábrica, que a veces no se advierten claramente en esas especificaciones. (Como excepción, sí se advertiría un carburador demasiado pequeño o un régimen máximo muy limitado). Estas restricciones se hacen, a veces, para conseguir que la máquina cumpla una serie de requisitos legales: límites de potencia o de velocidad. Puede también suceder que el fabricante haya añadido restricciones de tipo más sutil, para conseguir que el motor sea más flexible, más fácil de manejar y más económico. Es importante advertir todas esas restricciones antes de embarcarse en otras modificaciones. Suelen consistir en conductos de entrada restringidos, escapes también restringidos, o escalones en el escape o en la entrada de gases para disipar la energía de las ondas de presión. Una vez vi un caso tan sencillo, que no era más que un tope en el carburador que impedía que el acelerador se abriese del todo. Hay veces que el fabricante presenta una máquina que está cargada de restricciones: el carburador es pequeño, y todas las lumbreras están a juego con el mismo; el escape es restrictivo, e incluso el encendido puede tener algún mecanismo que limite las revoluciones. Es evidente que no vale la pena gastar el tiempo y el dinero con motores de ese tipo.

La labor de desarrollo también tiene que ceñirse a ciertos límites; la competición establece sus cilindradas, además de otras restricciones sobre ciertas características del motor, en las carreras de motos de serie y en las de F1/F2; las motos de carreras tienen que ceñirse a unos límites de emisión de ruidos y también hay reglas que indiquen qué combustibles se pueden utilizar. Las motos para circular por carretera su-

fren restricciones más estrictas, desde los controles de ruidos por la norma EEC1015 hasta diversas limitaciones de cilindradas y de caballos para los motoristas que no hayan superado ciertas pruebas o ciertas edades.

Programa de desarrollo

Después de haber echado una buena mirada al motor y de haber planeado las modificaciones posibles, el paso siguiente será diseñar una secuencia lógica de pruebas que darán la mayor cantidad de mejoras por el menor esfuerzo. Hay que entender la palabra "mejoras" de forma muy subjetiva, porque sólo en algunos aspectos será posible apreciar resultados positivos.

Márquese un objetivo en cuanto a los resultados que espera obtener de la moto. Según lo que espere, y según las posibilidades de mejoras que admita el motor, se nos presentará un abanico de posibilidades.

1) Par motor

Para aumentar la potencia del motor sin variar su velocidad de giro, habrá que aumentar el par. Esto no sería mala idea, si el motor no tuviese ya un pistón pesado, o si la velocidad del pistón no estuviese ya próxima a su límite práctico. Una manera de conseguirlo es mejorar el flujo de gases por el motor: aumentando los calibres, reduciendo todo impedimento al flujo de gases, y equilibrando el reglaje de las lumbreras para que sea óptimo en los regímenes deseados. Otro sistema es extraer el calor de la combustión de los gases de forma más eficiente, aumentando la compresión, prestando mucha atención a la holgura de los pistones y la holgura de squish en la cabeza del cilindro, así como por un buen reglaje del encendido y de la carburación.

Con este tipo de trabajo no estará cambiando la estructura de la curva de potencias; simplemente estará aprovechándola mejor. Lo único que puede hacer es mejorar lo que ha hecho la fábrica, marcando así la diferencia entre un motor de serie y otro que se ha fabricado a mano. Probablemente, los cambios serán pequeños.

Esta línea de desarrollo se puede ampliar, en el sentido de mejorar el par motor a regímenes bajos, por ejemplo para preparar un motor para que sirva para trial. Aquí puede que precise hacer que el par máximo se produzca a menos revoluciones; este tipo de motores necesita tanto un funcionamiento fiable a bajos regímenes como un buen reprise; debe responder al acelerador lo mejor posible. Será útil aumentar la compresión, y se pueden ajustar las lumbreras de tal forma que tengan máxima eficiencia a regímenes bajos. También se pueden alterar radicalmente las características de potencia trabajando con las válvulas de láminas y con las dimensiones del

escape, pero en ese caso habrá que preocuparse mucho también del reglaje del encendido y de la carburación a medio gas.

2) Velocidad de giro del cigüeñal

Una elevación de la velocidad de giro del cigüeñal también elevará la potencia si no cae demasiado el par motor. Este puede ser un sistema útil de marcarse un objetivo: si el motor tiene en un principio su par máximo a 8.000 r.p.m., el objetivo puede ser mantener este flujo de gases a 9.000 r.p.m., lo que supone un aumento del 12'5%. Este incremento le indica inmediatamente cuánto más tiempo—superficie de lumbreras hace falta, y qué nivel de cambios hará falta realizar en el sistema de escape.

Aunque baje el par, se puede variar la velocidad de giro máxima para modificar las características del motor. Se puede utilizar este sistema para acercar el par máximo a la potencia máxima; o también para alejarlos. Puede que no se consiga un incremento de la potencia punta, pero que sí se consigan incrementos a ambos lados de este máximo, de forma que no haya una pérdida de potencia tan pronunciada. Esto puede servir para que la máquina sea más flexible, más fácil de manejar en algunos circuitos. Si se puede permitir que caigan las revoluciones un poco, esto puede significar que el piloto no tenga que cambiar de marcha en un momento difícil; también puede servir para adelantar a máquinas más rápidas, si la nuestra no se encuentra “con una pared de ladrillos” en cuanto alcanza su máxima potencia.

Estas características se suelen poder ajustar a la medida con cambios en el sistema de escape, seguramente también en el ajuste de los surtidores del carburador, y en el reglaje del encendido. Hay gente que tiene varios tubos de escape diferentes, para montar el más adecuado al circuito en que va a correr o incluso el más adecuado al tiempo meteorológico.

3) Potencia

Si aumentamos el par o la velocidad de giro y los demás factores no varían, aumentaremos la potencia en caballos del motor, pero para conseguir verdaderos aumentos de potencia hay que conseguir las dos cosas, lo que quiere decir que habrá que efectuar cambios radicales en todo el motor, y resignarse además a una pérdida casi segura de potencia y de fiabilidad a regímenes medios.

Como hace falta conjuntar el sistema de lumbreras de admisión y de escape, es difícil llegar a este nivel de reglaje a pasos pequeños y sencillos. Este planteamiento de “todo o nada” se puede superar a base de utilizar dos o tres cilindros y pistones, escalonando las modificaciones de uno al siguiente, e incorporando sólo los cambios que tengan éxito, y si se va demasiado lejos, es fácil volver a la situación anterior.

Cuando se haya marcado un objetivo de potencia, el programa de desarrollo podrá empezar. A continuación trazaremos un esquema de los pasos típicos y de los problemas que se suelen encontrar.

Normalmente es posible hacer unos cuantos experimentos rápidos y sencillos con la máquina para ver a qué sistemas responde y para intentar descubrir dónde sufre restricciones. Dependiendo de lo que dispongamos, podemos alterar el silenciador, la caja de filtro, el tubo de escape, experimentar con diferentes válvulas o cámaras que estén conectadas con la entrada de aire o con el escape. Es habitual que estas partes, sobre todo la caja de filtro, nos originen cambios mayores en la carburación que en la potencia; deberá estar preparado para aceptarlo. A veces se puede apreciar la sensibilidad del motor al reglaje de las lumbreras por el procedimiento de levantar el cilindro, poniendo debajo más juntas para levantarlo de 0'5 a 1'0 mm. Esto tiene como consecuencia levantar la lumbrera de escape y de carga, de forma que no se altera el periodo de precompresión. También hace que disminuya la compresión, y, según el diseño, puede cambiar el reglaje de la admisión. Y, dado que levanta la parte inferior de las lumbreras de escape y de carga, a la vez que sus partes superiores, no muestra el efecto que tendría aumentar sus superficies. A pesar de que este cambio preliminar se ha hecho popular, modifica tantas cosas (casi todas para peor) que los resultados no suelen tener significado alguno. Si el motor necesita un incremento tanto del periodo de escape como del de carga, esta prueba lo confirmaría; en otro caso cualquiera, los resultados no conducirían a nada.

Para una puesta a punto de poca envergadura, o para que la curva de potencia esté más a la medida, bastará generalmente con ocuparse del escape y de la admisión, junto con un ajuste delicado del carburador como último paso. Todo trabajo ulterior precisaría modificar las lumbreras, además de otros cambios que los experimentos previos podrían sugerir; de tal forma, que el programa de desarrollo debe empezar aquí.

El primer paso es dar al motor su cilindrada definitiva, rectificando el cilindro o poniendo uno nuevo. Si esto supone una conversión o subida de un modelo a otro superior (p. ej, de 50 c.c. a 80 c.c., o de 100 c.c. a 125 c.c.) asegúrese también de que se hayan realizado los cambios necesarios en el sistema de engrase, en el embrague o en los rodamientos. Elimine todas las restricciones más claras, como los topes para el acelerador, las arandelas en la entrada del escape, los grandes escalones en las lumbreras de escape o de admisión, etcétera. A no ser que el carburador sea ridículamente pequeño, déjelo de momento, y también la caja de filtro y el filtro del aire, ya que no suelen causar restricciones en los motores pequeños. La carburación se habrá reglado para que funcione al nivel del colector de entrada de aire y del filtro de aire, y vale la pena disponer de una carburación limpia al principio por lo menos, aunque suponga un leve obstáculo al flujo de aire.

Para aumentar la potencia o el régimen máximo, calcule el cambio necesario en la lumbrera de escape, e intente acercarse al mismo en dos o tres pasos. Si el motor pierde banda de potencia, modifique la distribución de lumbreras de carga para aumentar los resultados a regímenes medios (véase el Capítulo 4). En cada paso puede ser

necesario modificar el escape y los surtidores del carburador. Por último, habrá un desequilibrio entre la admisión y el escape: el escape intenta empujar las revoluciones máximas más allá pero la admisión no puede dejar entrar el aire suficiente a ese régimen.

En este punto, el tiempo—superficie de la lumbrera de admisión se tendrá que ampliar, o eliminar la restricción, ya sea ésta en la caja de filtro, en el mismo carburador o en la válvula de láminas. Las cargas de la carburación suelen dar la respuesta, porque una restricción del flujo de aire que esté antes de llegar al carburador suele originar una mezcla tremendamente rica. Cuando es el mismo carburador el que tiene la culpa, suele empezar funcionando bien, porque el flujo del aire a través suyo es muy rápido, y tiende a enriquecer mucho la mezcla a regímenes muy elevados con un ajuste de los surtidores que es correcto para regímenes medios. Una mala atomización de la mezcla puede indicarnos un mal flujo de aire, quizá por efecto de ondas indeseadas o por una restricción del flujo después del carburador.

Cuando se han equilibrado bien las lumbreras, se puede elevar la compresión y la holgura de “squish” hasta su límite práctico, para dejar los ajustes finos para el final. Es evidente que hay que ir haciendo ajustes al carburador y al encendido mientras se va efectuando toda la labor de desarrollo para evitar que el motor llegue a estropearse. Cuando se vayan aumentando la carga y la velocidad, será necesario mejorar la lubricación, quizás también la refrigeración.

En cualquier programa de desarrollo existirán fallos mecánicos, y es importante averiguar sus causas para que se puedan remediar o evitar más adelante. Los problemas se suelen presentar en estos terrenos:

1) Averías del pistón

- Cabeza del pistón perforada (bujía demasiado caliente, demasiado avance del encendido, mezcla pobre o que produce detonaciones).
- Borde fundido, o segmento fundido (temperatura de combustión demasiado elevada, demasiada presión de retorno en el escape, detonación, refrigeración insuficiente, holgura del pistón inadecuada).
- Agarrotamiento (gripado) (temperatura demasiado elevada, lubricación insuficiente, pistón de mal material, huelgo inadecuado del pistón).

2) Averías de los segmentos

- Se afloja el cierre del segmento (defecto de fábrica del segmento; si el cierre está cerca de la lumbrera de escape, se puede deber a que el segmento se ex-

pande dentro de la lumbrera, y el extremo del segmento roza cuando vuelve a entrar el segmento en la garganta. Coloque el cierre hacia la parte trasera del cilindro, si es posible).

- Demasiada apertura de las lumbreras, o bien no tienen los bordes rebajados. (Corregir las lumbreras, o renovar los segmentos con más frecuencia).
- Huelgo incorrecto del segmento en la garganta (lo que permite que suba y baje en la misma).
- Tipo incorrecto de segmento (demasiado grueso o demasiado pesado, no estará fijo a velocidades de giro elevadas).
- Demasiado huelgo del pistón en el cilindro, o demasiada eliminación de la falda del pistón, harán que el pistón cabecee en el cilindro (puede causar averías en los segmentos).

3) Pie de la biela

- Agarrotamiento, o rotura del cojinete. Falta de lubricación o de refrigeración (puede ser útil abrir una lumbrera en la falda del pistón).
- El pistón se calienta demasiado, por falta de holgura entre el bulón y el pistón.
- Montaje defectuoso (los circlips no se han puesto bien).
- El pistón es demasiado pesado/velocidad de giro demasiado elevada/el cojinete y el bulón no soportan la carga de inercia.

4) Cigüeñal y cojinetes de la cabeza de la biela

- Las averías del cojinete de la cabeza de la biela suelen tener relación con las velocidades de giro demasiado elevadas. Se pueden deber a un calentamiento excesivo, a una lubricación insuficiente o a que los cojinetes patinen y aumenten su holgura. También pueden dar problemas los cigüeñales al deformarse (torcerse). *Soluciones posibles*: mejor lubricación, velocidad del cigüeñal inferior, cojinetes de mejor calidad. En una moto de carreras de GP, lo corriente es que el cigüeñal reciba una reparación general a intervalos de 300 a 800 km, por lo que hará falta registrar cuidadosamente los kilometrajes del motor.

Flujo de gases

La entrada y salida de gases del motor es el factor más importante que afecta a sus resultados; entran en juego varias propiedades de los gases, y será útil resumir brevemente algunos de dichos fenómenos para explicar algunas técnicas que se utilizan para modificar los motores.

En primer lugar, los gases tienen varios niveles de energía, como la energía cinética, que es proporcional al cuadrado de la velocidad del gas. También tienen la energía de presión, que es su presión dividida por su densidad, y la energía térmica, que es función de su temperatura y de su calor específico. Mientras no se añada o quite energía al gas, su energía *total* será la misma, pero se podrá intercambiar entre sus partes o manifestaciones.

Por ejemplo, si el gas se mueve por un tubo, tendrá energía cinética. Si llega a una cámara, a un cárter por ejemplo, y se queda quieto prácticamente, se reduce su energía cinética a cero, pero el total general tiene que seguir siendo constante, porque no se ha quitado nada de energía al gas. El resultado es que alguna de las otras energías tendrá que subir; la consecuencia habitual de hacer que el gas entre rápidamente en una cámara es que su presión sube. Se utiliza exactamente el mismo fenómeno en los carburadores, en los que el aire pasa por el venturi o difusor a velocidades elevadas. Este cambio, desde el aire prácticamente estático que rodea al carburador, supone que la presión del venturi disminuye, y que la gasolina, que está bajo el venturi a una presión igual a la atmosférica, sale por los surtidores del carburador para mezclarse con la corriente de aire.

Dado que la presión, el volumen y la densidad se pueden hacer variar de forma tan sencilla, lo único que permanece constante es la masa del gas, de tal forma que es corriente referirse al flujo de masas, masa de flujo de gases por el motor. La velocidad o el volumen del gas que fluyen no quieren decir nada: la velocidad en el carburador es muy elevada, dentro del cárter es muy baja. De igual forma, el motor toma un volumen de unos 125 c.c. y en un momento lo comprime a unos 10 c.c., de tal forma que el volumen de flujo tampoco quiere decir demasiado. Pero una can-

tividad dada de gases tienen una masa dada, ya esté expandida o comprimida, quieta o silbando por el carburador.

Las expansiones rápidas originan ondas de presión violentas que se mueven por los gases (ejemplo típico serían los ruidos del escape), y dichas ondas se pueden aprovechar de alguna manera. Cuando una onda de presión se encuentra con una pared, se refleja inmediatamente en ella, y vuelve hacia atrás con su presión inicial. Pero cuando la misma onda llega al extremo abierto de un tubo, pierde presión de forma repentina, y se refleja una onda de baja presión hacia el interior del tubo. Igualmente, una onda de baja presión se refleja en el extremo de un tubo abierto, y vuelve a entrar en el tubo en forma de onda de alta presión.

Una serie de ondas que viajen de un lado a otro tardarán un tiempo determinado en llegar al extremo del tubo; dependerá de su velocidad y de la longitud del tubo. Se mueven a la velocidad del sonido, que no podemos controlar, pero sí podemos controlar la longitud del tubo, y se puede preparar, hasta cierto punto, de tal forma que el impulso se produzca en el momento que nosotros queramos.

Si la onda llega justo a tiempo de ser reforzada por otra onda que llega del motor, la energía de las dos se acumulará, y pronto se hará muy potente. Está claro que para que pase esto, tendrá que suceder que la llegada de las ondas reflejadas tendrá que coincidir con la frecuencia de las ondas que el motor genera, y esto sólo sucederá a un régimen determinado del motor. Este efecto se llama resonancia. También se pueden producir armónicos: por ejemplo, a la mitad del régimen que produce la resonancia, se producirá una condición en la que se reforzará una onda de cada dos. La consecuencia es que existirán también velocidades del motor intermedias en las que la onda generada está completamente desfasada con la onda reflejada.

Las ondas se generan por la apertura o cierre repentino de las lumbreras, cuando el disco rotatorio o la falda del pistón pasan por delante muy deprisa. Esos movimientos son tan repentinos que las ondas pueden ser muy fuertes, pero otra consecuencia es que no toda la superficie de la lumbrera queda abierta para el flujo de gases. En el Apéndice hay un programa de gráficos para ordenador que muestra de forma animada la acción del pistón, pero, si nos lo queremos imaginar a cámara lenta, cuando descubre una lumbrera primero deja entrever una ranura estrecha, que se va ampliando al ir bajando el pistón, y se convierte en un rectángulo más profundo.

La lumbrera se abre del todo solo por un instante, al pasar el cigüeñal por el punto muerto, y el pistón se queda quieto un instante y empieza su camino de vuelta, cerrando progresivamente la lumbrera.

↘ Cuanto más despacio suceda esto, más gases podrán atravesar una lumbrera determinada, pero si aumentamos la velocidad de giro, reducimos el tiempo disponible para que pasen los gases por la lumbrera. De manera que la superficie efectiva de la lumbrera, por lo que se refiere a los gases, depende tanto del tiempo que permanece abierta como de su tamaño, y como el tamaño cambia constantemente, el cálculo es algo complicado. El concepto se llama tiempo-superficie, y lo único que quiere decir es que una 1 mm^2 de lumbrera abierta 2 segundos deja pasar tantos gases co-

mo 2 mm^2 de lumbrera abiertos 1 segundo, o 10 mm^2 abiertos 0'2 segundos. Si se divide por dos el tiempo, se duplica la capacidad de la lumbrera de forma tan matemática como si se tapase la mitad de la misma.

Antiguamente hacían falta aproximaciones para calcular los tiempos—superficies de las lumbreras, pero a los ordenadores se les da muy bien este tipo de cálculos, y en el Apéndice se dan las fórmulas necesarias, y un programa escrito en BASIC que da la respuesta en pocos segundos.

El aire o los gases se ven afectados de muchas maneras; la mejor manera de estudiarlas será seguir el flujo del aire desde que entra en la moto.

1) Silenciador de admisión

Una moto de carretera de serie seguramente tendrá algún sistema de silenciamiento a la entrada de aire. Puede consistir en una serie de compartimentos con tabiques, pero es más probable que sea un conducto de goma moldeada, con entrada que se estrecha y con aletas o tabiques a lo largo del flujo del aire. Se coloca allí para evitar que las ondas se reflejen de la parte abierta de la entrada de aire y para reducir el

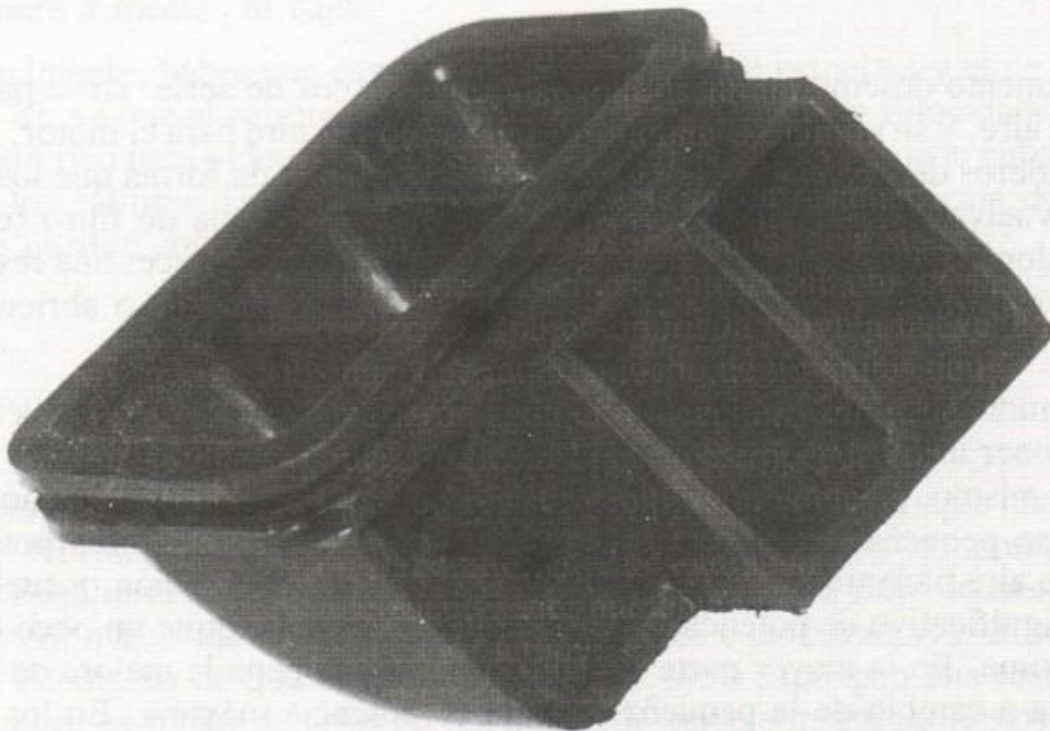


Fig. 9. Un silenciador de admisión típico.

ruido que produce la admisión al abrir el acelerador. Puede originar restricciones de dos tipos: en primer lugar, como obstrucción física al flujo del aire, y en segundo lugar, porque impide que la admisión aproveche los efectos de la resonancia. Puede suponer también ventajas en este último sentido, porque asimismo eliminará los efectos indeseables, de ondas desfasadas.

Eliminar el silenciador servirá con frecuencia para subir un poco la potencia máxima, con caída a ambos lados de la misma; al volverlo a poner, dispondremos de más banda de potencia, con una bajada de la potencia máxima.

Aparte de los efectos de resonancia, el silenciador de entrada suele ser demasiado pequeño para permitir el paso del aire suficiente, sobre todo si se ha subido o modificado el motor. Se puede probar esto a base de agrandar la entrada de la caja de filtro (suponiendo que al final lo vayamos a dejar en la versión definitiva del motor), o abriendo otros agujeros. Una restricción en este punto tendrá como consecuencia, por supuesto, aumentar la baja presión en el carburador, y la mezcla saldrá rica, por lo tanto; al eliminar la restricción la mezcla quedará pobre de repente.

Si se descubre que, en efecto, el silenciador supone una restricción, pero la moto se tiene que seguir usando en carretera, valdría la pena entonces agrandar la entrada de la caja de filtro hasta que aceptase un silenciador de admisión de una máquina mayor, de mayor potencia. Al acelerar, el silenciador disminuye el nivel total de ruidos en 1 ó 2 decibelios.

2) Caja de filtro

Este elemento desempeña dos funciones en las motos de serie: sirve para alojar el filtro de aire, y sirve también de reserva o depósito de aire para el motor. A veces, los respiraderos de la caja de cambio conducen al mismo, de forma que los vapores de aceite vuelvan a entrar en el motor. La entrada de la caja de filtro (con o sin el silenciador de admisión que citamos antes) puede suponer a veces una restricción, y el flujo del aire se puede incrementar aumentando la entrada o abriendo otros orificios.

En los motores muy potentes (pongamos de más de 50 CV) la caja de filtro puede suponer una restricción. No es probable que a las máquinas menos potentes les pase lo mismo, pero si se ha realizado una puesta a punto radical del motor, puede quedarse pequeña la caja de filtro de serie. Incluso en motores potentes, el colector de aire tiene una ventaja. Sirve de tanque de compensación, y suele dar un aumento significativo de potencia a medio régimen, aunque quite un poco de la potencia máxima. En la mayor parte de los casos, vale la pena la mejora de la banda de potencia a cambio de la pequeña pérdida de potencia máxima. En los motores más pequeños no habrá efectos apreciables.

Pero en casi todos los motores será un elemento que suponga una gran diferencia a la carburación, y puede ser difícil corregirlo. La razón es que a flujos bajos de

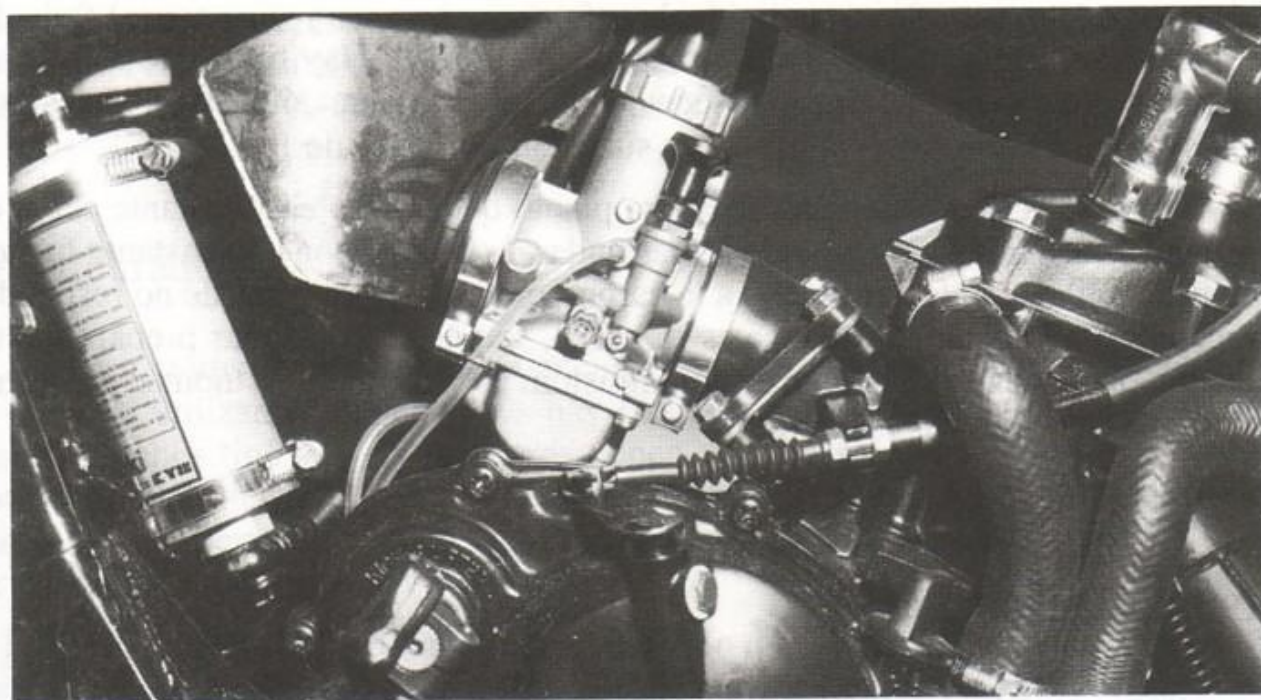


Fig. 10. La caja de filtro es importante para conseguir buena potencia a regímenes medios.

aire, la caja de filtro apenas supondrá diferencia alguna sobre la riqueza de la mezcla. Al aumentar el flujo de aire, el efecto será mayor. Al eliminar la caja de filtro hay que cambiar los chicle para que la mezcla sea más rica a velocidades altas pero no se altere a medias ni bajas.

Normalmente, habrá que cambiar el calibre o chicle principal y el de aire (véase capítulo 8), ya que el calibre principal que sea adecuado para velocidades altas será demasiado rico para velocidades más bajas. Si los respiraderos de la cuba del carburador y los calibres de aire se alimentan también a partir de la caja de filtro, las cosas se pueden complicar más aún.

3) Filtro de aire

El elemento de serie será un filtro grande que está dentro de lo que llamamos caja de filtro. Normalmente, el elemento no causará restricciones a los motores más pequeños. Resultaría cada vez más restrictivo al ir subiendo el flujo de aire, y originaría cada vez más caída de presión en el carburador o carburadores. Si no se tienen pruebas fidedignas de que el filtro o la caja de filtro supongan una restricción del flujo de aire, es mejor dejarlos en las motos de carretera. En las motos que tienen que ir por terrenos polvorientos o sucios, es un elemento fundamental.

Una alternativa es utilizar filtros individuales, de "flujo alto", en cada carburador. Esto elimina inmediatamente el efecto de tanque de compensación de la caja

de filtro, y, como estos filtros individuales ofrecen muy poca resistencia al flujo del aire, hará falta reglar el carburador con mucho cuidado. Hay tipos que se pueden engrasar, y otros que funcionan en seco, pero dada su situación están expuestos a atascarse por la suciedad, y a absorber suciedad del agua de lluvia.

Hay otros tipos que tienen una tapadera plana, que, como está bastante cerca de la entrada al carburador, puede reflejar las ondas de la admisión con bastante fuerza. Esto puede llegar a afectar mucho a la carburación, y el motor puede no responder a los cambios de chichlés. Si la tapa es su causa, se puede solucionar preparando un adaptador que alargue el conducto de admisión: lo más fácil es montar el mismo filtro sobre un conducto más largo.

4) Entrada al carburador

El extremo abierto del carburador reflejará las ondas de la admisión hacia el motor, lo que puede resultar útil en todo tipo de máquinas de dos tiempos. Se puede aprovechar con un carburador abierto, o en el conducto del colector de aire, y es posible, si el filtro tiene un tamaño suficiente, con un filtro individual.

Los efectos beneficiosos aparecen cuando una onda de alta presión vuelve hacia el motor en el mismo instante en que se abre la admisión. Esto serviría para ayudar a que los gases nuevos entrasen en el motor, o, si existe una válvula de láminas, el efecto empezaría a levantar las láminas, de forma que el flujo de gases sufriese menores obstrucciones. La misma onda de alta presión, al reflejarse en la válvula de láminas o en la falda del pistón, volvería de nuevo en forma de onda de baja presión, lo que serviría para cerrar la válvula de láminas de forma más rápida.

Los efectos desfavorables son que los gases vuelven a salir despedidos hacia atrás, fuera del carburador, lo que origina una nube de mezcla que puede llegar incluso hasta la rueda trasera de la moto. Casi toda esta nube se perdería en el aire con la moto en marcha, pero se aprecia muy claramente cuando se pone en marcha el motor en un banco de pruebas. Se puede evitar la nube de gases modificando la longitud del conducto de admisión, normalmente poniendo otra boca o trompeta al carburador.

Se citan varias fórmulas para calcular la longitud máxima y la curvatura de la entrada, pero todas ellas se basan en una velocidad determinada para las ondas (que depende de la velocidad de los gases, que no es constante, y de la velocidad del sonido en los mismos, que también depende de su temperatura y de su densidad), y al final, para lo único que pueden servir esas fórmulas es para darle un punto de partida. A partir de dicho punto, lo único que se puede hacer es experimentar: alérguelo, acórtelo, y compruebe los resultados.

No cabe duda de que el tamaño y forma del conducto de entrada al carburador tienen efectos significativos sobre la producción de potencia y sobre los movimientos de la nube de mezcla. Cuanto más regular sea el paso, mejor se transmitirá la

energía de las ondas; los escalones y cambios de sección disiparán la energía de las ondas, y si la entrada al carburador tiene una forma inadecuada, el motor no responderá a los cambios de longitud del conducto de entrada.

5) Carburador

Algunas motos de dos tiempos tienen carburadores de velocidad constante, pero la mayoría utilizan correderas; los hay con correderas redondas y con correderas planas. Ambos tipos de carburadores tienen versiones de paso liso, que, como su nombre indica, tienen un venturi liso con un mínimo de escalones y de interrupciones. Este tipo permite un flujo ligeramente superior, con buena respuesta al reglaje de las ondas de gases.

El tamaño de los carburadores es una cuestión que se discute mucho. Algunos motores parecen más sensibles que otros al tamaño del carburador, y la tendencia gene-

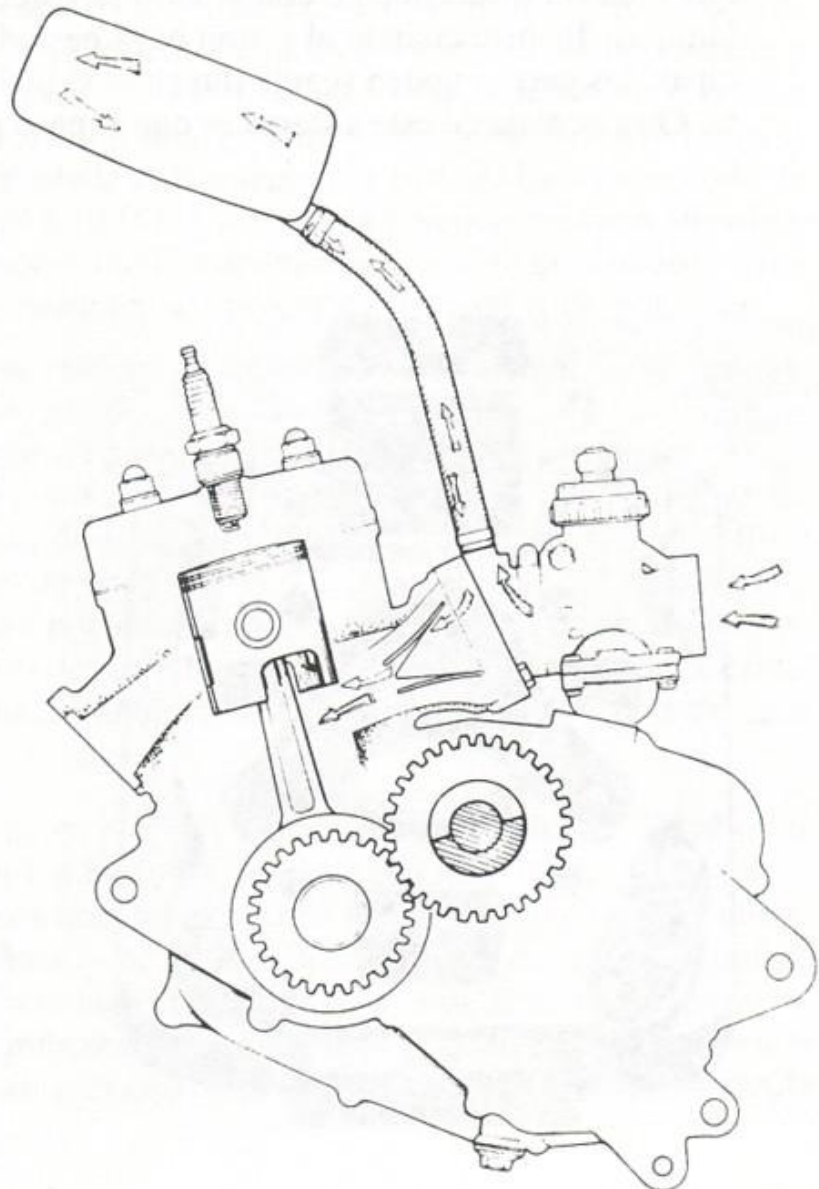


Fig. 11. Flujo de gases a través de una válvula de láminas típica. La lumbrera de admisión puede quedar abierta durante los 360° del ciclo, a base de darles dimensiones adecuadas a la lumbrera o de ventanas en la falda del pistón. Así la válvula de láminas regula totalmente los períodos de apertura y cierre.

ral es utilizarlos del calibre mayor que se pueda poner en el motor. Como aproximación muy general, corresponden 1'2 mm de calibre a cada CV que produzca el cilindro en cuestión, pero siempre existirán excepciones.

Pero también tiene sus ventajas utilizar el calibre menor que se pueda: repartirá mejor la potencia, porque será capaz de trabajar y de atomizar bien el combustible a regímenes bajos. También será más fácil de reglar, porque el aire lo atravesará a una velocidad mayor, y a altos regímenes tenderá a enriquecer la mezcla, lo que es más seguro que no que se empobrezca de forma imprevisible.

Para consultar más detalles sobre el reglaje de carburadores, véase el capítulo 8.

6) Válvulas de láminas

Existen diferentes variaciones sobre el control de admisión por válvulas de láminas:

- a) Una lumbrera abierta y cerrada por el pistón, con un by-pass (conducto) aparte que conecta directamente con el cárter, y que se controla por una válvula de láminas. Incluso cuando el pistón haya cerrado la lumbrera de admisión principal, los gases pueden seguir fluyendo si la diferencia de presiones lo permite. Otra ventaja de este sistema es que el paso principal de la admisión no tiene

la restricción u obstáculo que supone la válvula de láminas, pero, por supuesto, el reglaje de la apertura y cierre de la lumbrera por el pistón sufrirá las mismas limitaciones que los motores que no tienen ninguna válvula de láminas. El conducto de la válvula de láminas es algo tortuoso, y todo ello sirve para añadir volumen al cárter, y disminuir por tanto su capacidad de bombeo.

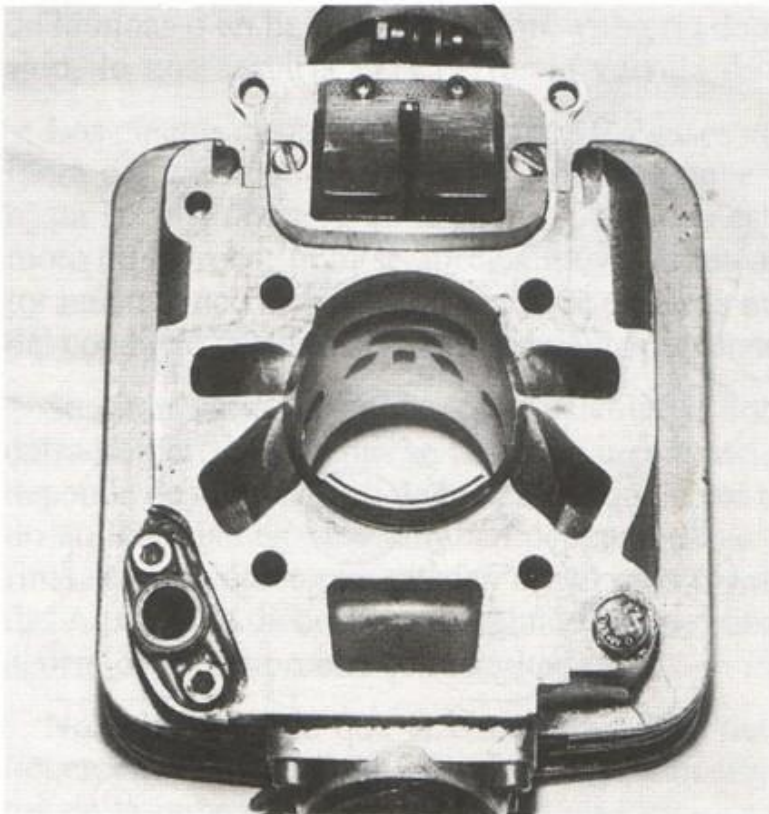


Fig. 12. Válvula de láminas para admisión al cárter. En este cilindro KTM, el pistón controla la admisión y existe un conducto secundario de admisión directamente al cárter, controlado por válvula de láminas.

- b) Admisión por válvula de disco, con anchura extra de lumbrera, antes y después de la lumbrera principal, controlada por válvula de láminas. Esto permite que la lumbrera se abra de forma adelantada, o se cierre de forma atrasada, según lo pida el motor, mientras que dispone también de un conducto principal. La cámara de las válvulas de láminas añade muy poco volumen al cárter. Se puede alterar el reglaje del disco según las necesidades del motor.
- c) Admisión por el pistón, válvula de láminas que controla toda la superficie de admisión. Los primeros modelos no eran más que motores tradicionales, con admisión controlada por el pistón, y que tenían una válvula de láminas entre el carburador y el pistón. El efecto se puede aprovechar de dos maneras. En primer lugar, cuando la colocación de las lumbreras y demás pretenda un buen par motor a regímenes bajos, buena flexibilidad, etcétera, como en las motos de trial; las válvulas de láminas pueden fomentar mucho estas características. Por ejemplo, la moto de trial de 325 c.c. de Suzuki, sin válvula de láminas, daría su par máximo a unas 5.000 r.p.m., pero con unas válvulas de láminas adecuadas, darían el mismo par máximo, pero a 2.000 r.p.m.

Cuando Yamaha desarrolló sus motores de 125 c.c. para motocross, descubrieron que podían utilizar la válvula de láminas para aumentar la potencia a ambos lados de la escala de revoluciones. Con las válvulas de láminas, podían abrir la admisión a 140° antes del p.m.s., en lugar de los 88° antes del p.m.s. del motor con admisión controlada únicamente por pistón. Esto aumentaba la potencia en la banda de 8.000 a 10.000 r.p.m., y la potencia máxima aumentaba en casi un 15%. A regímenes medios apenas se registraban cambios, y por debajo de las 5.000 r.p.m. también se apreciaban aumentos de potencia.

Los ingenieros de Yamaha se pusieron a trabajar de firme en el tema; optimizaron las dimensiones del bloque de láminas y eligieron las mejores flexibilidades y ángulos de levantamiento de las mismas. Llegaron al que ahora es casi universal: el bloque con forma de V, con pétalos rectangulares, y descubrieron que el área de la válvula de láminas (proyectada sobre la línea de flujo de gases) debía ser del orden de un 80–90% del área del paso del carburador. Al hacer que los gases fluyan por lo que en la práctica es un conducto que se estrecha, se reduce el peligro de turbulencias. El motor con válvula de láminas, ya perfectamente diseñado, daba cerca del 30% más que el de admisión por pistón.

- d) Admisión controlada únicamente por válvula de láminas. El desarrollo ulterior de la válvula de láminas en los motores de alta velocidad llevó a una mayor duración de la admisión, hasta que la lumbrera de admisión llegó a estar abierta los 360° del ciclo del motor, y la válvula se abría y se cerraba a impulsos de la presión en el cárter. Entre las variaciones sobre este tema están los pistones que llegan a cerrar la lumbrera pero que tienen pequeñas lumbreras en la falda, de forma que en el p.m.i. el cárter queda abierto a la cámara de válvula de láminas.

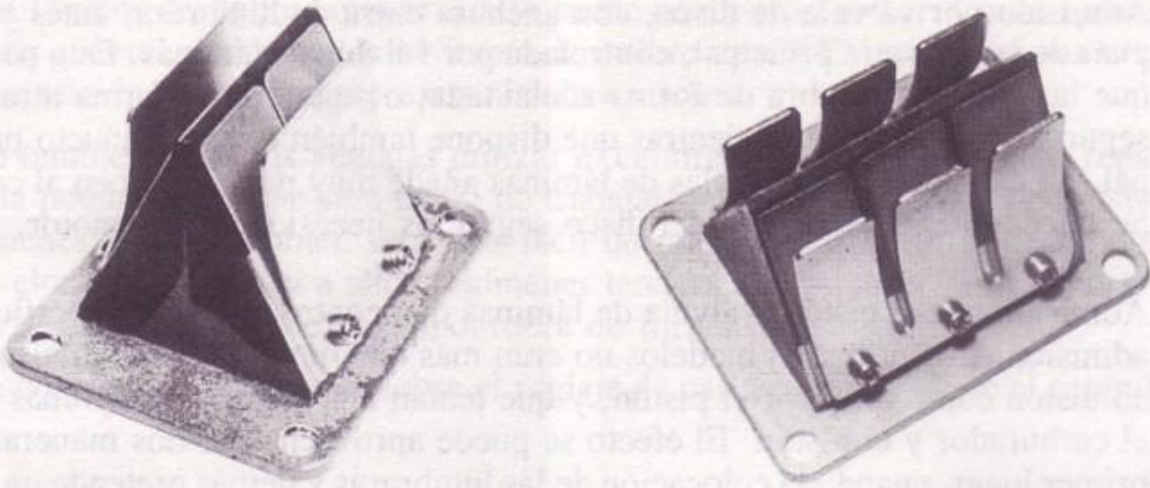


Fig. 13. Tipos de válvula de láminas.

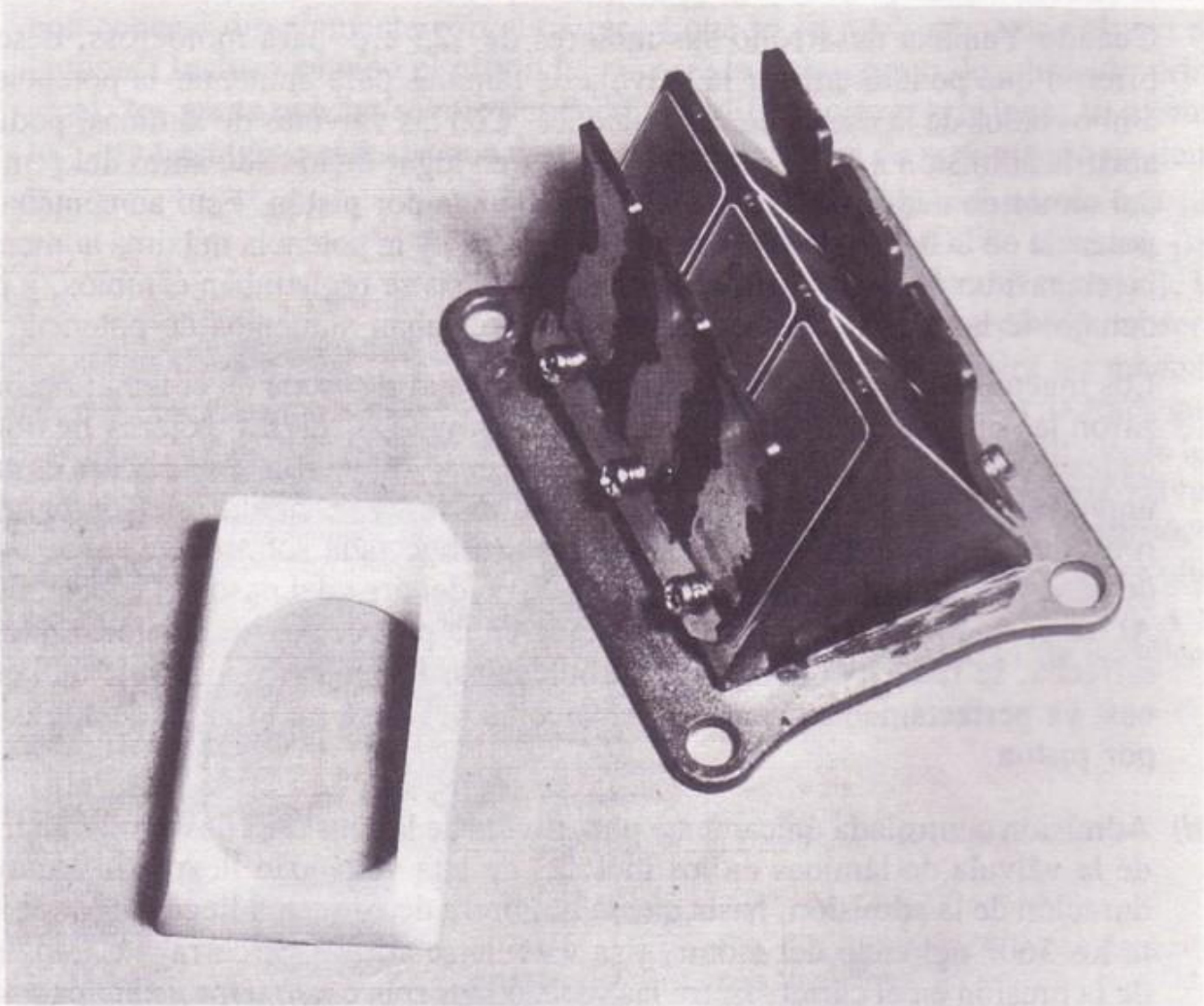


Fig. 14. Esta válvula de láminas Honda lleva una pieza de plástico que sirve para llenar el espacio muerto y para dirigir el flujo de aire en la dirección más adecuada.

Modificaciones de la válvula de láminas

Existen varias cosas que se deben tener en cuenta: el tiempo-superficie de la admisión; la obstrucción al flujo de gases; los materiales compatibles para la fabricación de láminas. Las modificaciones que sólo afecten a la válvula de láminas seguramente no supondrán cambios notables para la potencia punta de una moto de carretera de serie: lo más corriente es que las diferencias que se adviertan sean del orden de un 2%. Pero es posible modificar las revoluciones máximas ligeramente, una subida o bajada del orden de unas 200 a 500 r.p.m., lo que puede suponer una diferencia significativa sobre la distribución de la potencia, sobre todo en un motor cuya potencia caiga de forma muy brusca después de llegar a su máximo. Este sistema puede ser útil para alterar la banda de potencias, si se combina con otros factores de la puesta a punto. Si el flujo de gases del motor o su banda de velocidades se han alterado mucho, cabe suponer entonces que también habrá que alterar la válvula de láminas para que se combine bien con los otros factores.

Tiempo-superficie de la admisión

En lo que se refiere a los sistemas que hemos llamado (a) y (c), el tiempo-superficie queda dictado sobre todo por el pistón, y para que el motor se adapte a un flujo de gases superior o a una velocidad de giro mayor, se puede aumentar la duración de la apertura de la lumbrera quitando parte de la falda del pistón, para que la lumbrera se abra antes y se cierre más tarde. Se puede aumentar la superficie de la lumbrera levantando su parte superior para que coincida con el pistón en el p.m.s. Se puede aumentar el tiempo del sistema (c) hasta que en la práctica coincida

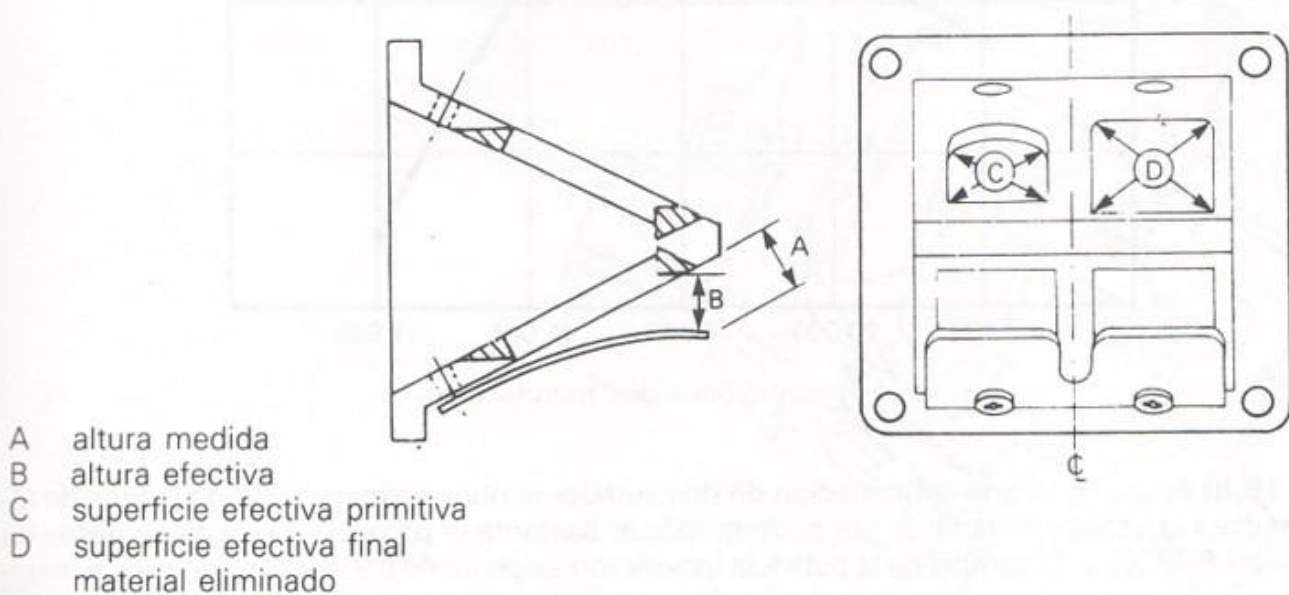


Fig. 15.a) Alteraciones que se suelen realizar a las válvulas de láminas para aumentar la superficie de abertura.

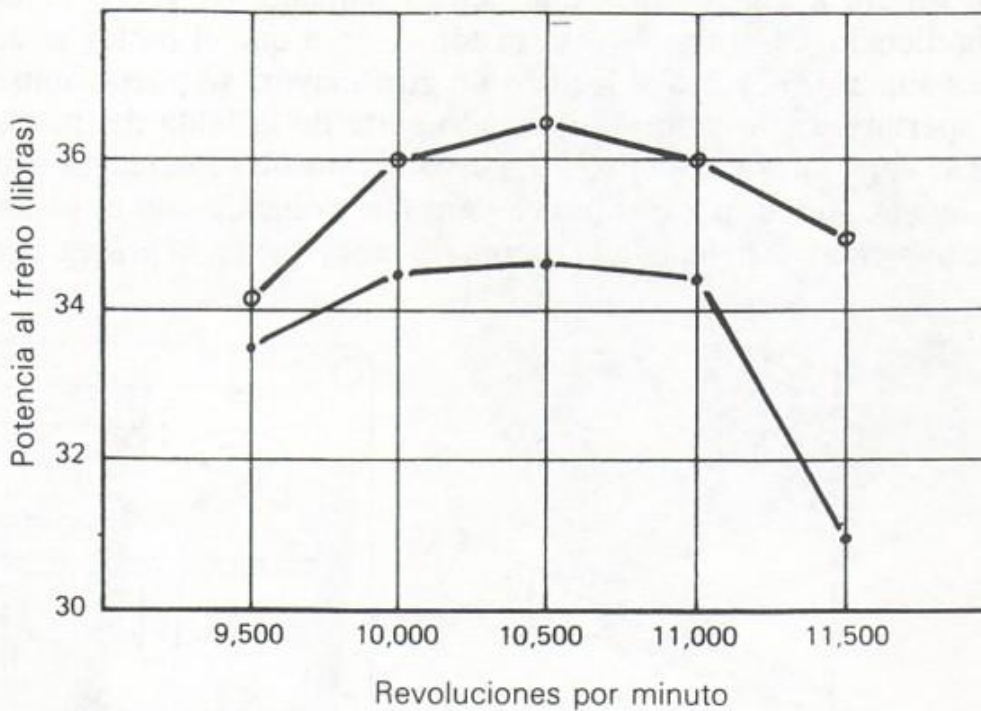
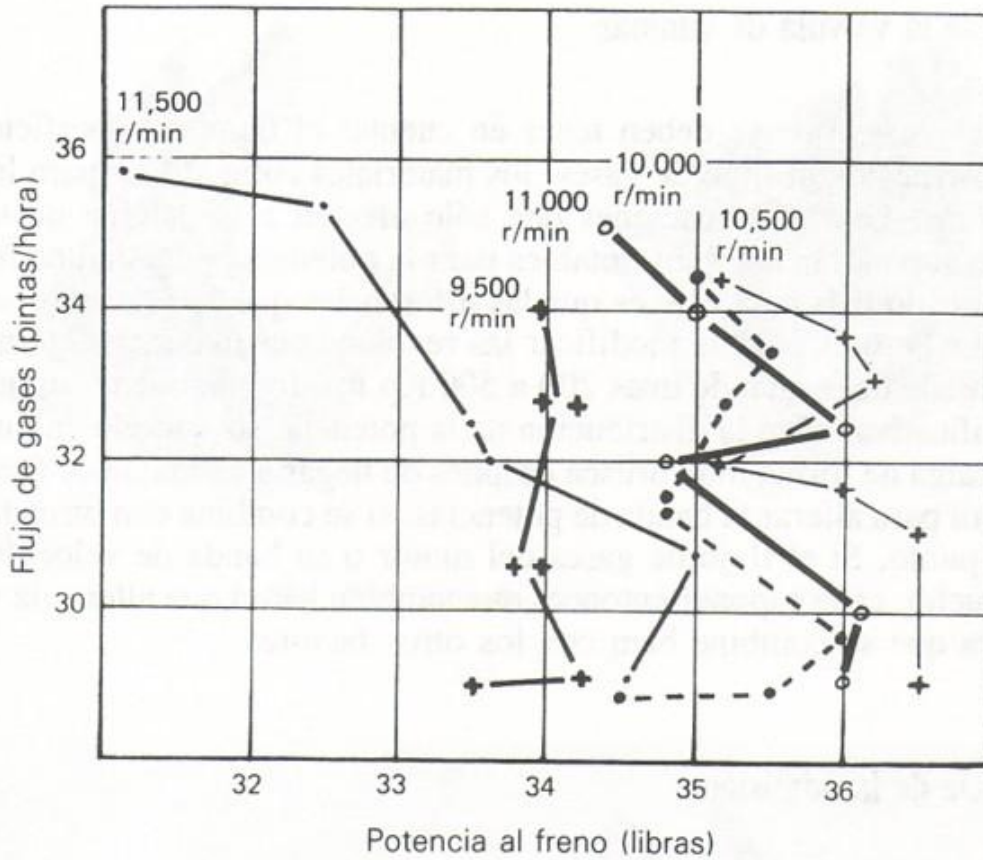


Fig. 16.b) Arriba: Con una combinación de dos surtidores principales y de varios juegos de láminas para la válvula de láminas, se pudo modificar bastante la potencia y el flujo de gases en un motor RD250LC. El cambio de la potencia (par motor) es pequeño a 9.500 r.p.m., pero aumenta al ir creciendo el régimen de giro.

Abajo: La curva de par motor se puede modificar a voluntad eligiendo ciertas combinaciones de láminas y de surtidor principal; lo que aparece en la figura son los dos casos extremos. Sería posible obtener diversas curvas de par motor diferentes entre los dos límites de la figura.



Fig. 16. Válvula de láminas modificada.

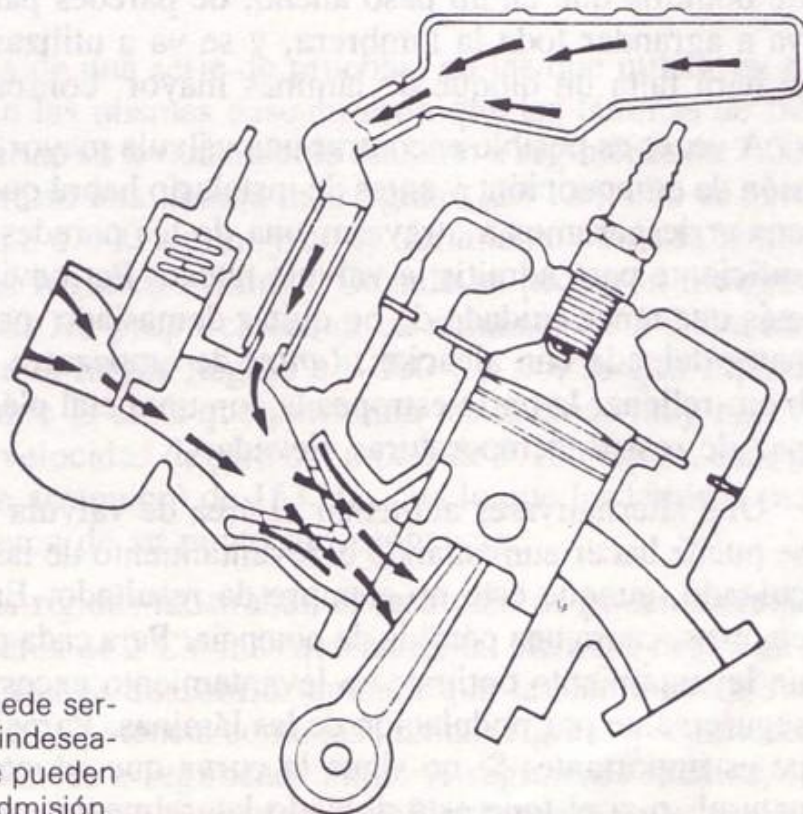


Fig. 17. Una cámara de admisión puede servir para suavizar las ondas de presión indeseables; en un motor de dos cilindros, se pueden interconectar los dos conductos de admisión.

con el sistema (d), normalmente abriendo lumbreras en la falda del pistón. Quitar toda la falda del pistón acortará mucho la vida del mismo, y cuando hay que eliminar grandes zonas de la parte inferior de la falda, habrá que rebajar los bordes de las ranuras de los segmentos para evitar que los pueda dañar el cabeceo del pistón.

El tiempo—superficie del sistema (b) recibe claras influencias del material de las láminas de la válvula (lo mismo sucede con las válvulas del sistema (a)) pero es más sencillo alterarlo cambiando el punto de apertura o de cierre de la válvula de disco; trataremos de este tema más adelante.

Obstáculos al flujo

El bloque de la válvula y sus láminas suponen, evidentemente, una restricción en el conducto, y el cambio necesario de la sección del mismo pueden llegar a inducir fácilmente turbulencias en el mismo. Puede no bastar aumentar la cámara y poner una válvula mayor, ya que esto puede causar más turbulencias y llegar incluso a reducir el flujo total por la lumbrera.

→ El área efectiva de la válvula es el área de la ventana, cuando se levantan las láminas al máximo, proyectada sobre el eje del flujo de gases. Como se ha dicho antes, los investigadores de Yamaha descubrieron que el área óptima de la válvula debía ser de entre 0'8 y 0'9 veces la del paso del carburador. Esto coincide con la costumbre convencional de ir estrechando paulatinamente los conductos antes de llegar a un obstáculo (por ejemplo, el vástago de la válvula en los motores de cuatro tiempos) porque es mucho menos probable que se produzcan turbulencias en una especie de boquilla que en un paso ancho, de paredes paralelas o que se ensanchan. Si se va a agrandar toda la lumbrera, y se va a utilizar un carburador mayor, entonces sí hará falta un bloque de láminas mayor, conservando las proporciones.

A veces es posible encontrar una válvula mayor, de un motor mayor o de una versión de competición, y antes de instalarlo habrá que ampliar la cámara de la válvula: nos arriesgaremos a atravesar una de las paredes si la aleación no tiene el grosor suficiente para admitir la válvula nueva. Para evitar esto, puede que no haga falta más que tener cuidado de no quitar demasiado metal; o bien, habrá que reforzar la parte delgada con aleación, (antes de empezar a quitar metal por el otro lado); o bien, rellenar la parte estropeada con un metal plástico de epoxy (resina) que es capaz de resistir temperaturas elevadas.

Una alternativa es aumentar el área de válvula del bloque que ya tenemos. Esto se puede hacer aumentando el levantamiento de las láminas, doblando los topes con cuidado, aunque esto no siempre da resultado. En algunos motores, da resultado; en otros, causa una pérdida de potencia. Para cada material y grosor de láminas existe un levantamiento óptimo; un levantamiento excesivo puede hacer perder potencia, seguramente por ondulación de las láminas. Parece también que la curvatura del tope es importante. Si no sigue la curva que adopta la lámina al doblarse de forma natural, o si el tope está doblado lateralmente, también se puede perder potencia.

Abrir las ventanas del bloque de láminas aumentará también el área, y brinda al mismo tiempo la oportunidad de dar forma aerodinámica a las barras que están en medio del flujo de gases. Deje una zona de 1 a 2 mm para que se apoye el borde de la lámina, y no retire el material negro y flexible del apoyo: esto sirve de almohadilla para la lámina, y evita que las láminas reboten y se estropeen. Algunos mecánicos de puesta a punto eliminan la barra central y utilizan láminas de una pieza, lo que aumenta el área pero puede llegar a reducir la vida de las láminas.

El aumentar el área y dar forma más aerodinámica a la válvula dará sus efectos máximos a regímenes por encima del par motor máximo, en los que el flujo de aire empezaría normalmente a caer. Esto puede servir para apoyar un poco la curva de potencias, y evitar que el motor sea demasiado “puntiagudo” (que tenga una banda de potencias estrecha).

Láminas de la válvula

Existen dos teorías sobre el comportamiento de los pétalos o láminas; ambas se relacionan con la rigidez del material. Cuanto más rígido sea el material, mayor será la frecuencia natural de la lámina para una longitud dada de la misma. Una teoría dice que las láminas de baja frecuencia serían más fáciles de levantar, pero es más fácil que se conviertan en inestables y que ondulen, y probablemente no cerrarán bien a revoluciones bajas. La otra teoría es que las láminas de alta frecuencia entrarán en resonancia con el motor a regímenes altos, y entonces necesitarán menor energía para abrirse, con lo que servirán de empuje a esos regímenes: a mayor frecuencia, mayor régimen.

➤ Yamaha publicó los resultados de una serie de pruebas, en las que utilizaron un motor con admisión de 360° . En las mismas descubrieron que las láminas de frecuencia muy baja (62 Hz) alcanzarían su levantamiento máximo a regímenes de 3.000 r.p.m. y superiores. Por el contrario una lámina más rígida (123 Hz) sólo se abría a un 70% de su apertura máxima a 6.000 r.p.m. y no se abría tanto como la lámina de baja frecuencia, ni siquiera al régimen máximo. Cuando se probaron motores, se descubrió que las láminas de 62 Hz proporcionaban un aumento de 2 CV a alto régimen y permitían además que el motor llegase a 9.500 r.p.m., lo que suponía un incremento de 500 r.p.m. sobre la cifra que permitían las láminas muy rígidas de 153 Hz. Adviértanse que una velocidad de giro del motor de 9.180 r.p.m. supone un múltiplo (en consecuencia, un armónico) de 153 Hz, con lo que las láminas más rígidas llegaron a su máximo cerca de su punto de resonancia.

➤ A regímenes bajos, las láminas rígidas mostraban el resultado de poder cerrarse de forma rápida y firme: daban cerca de 2 CV más que las de 62 Hz a los regímenes del orden de 4.000 r.p.m. La Yamaha descubrió también que las láminas de una frecuencia de 123 Hz daban casi tanta potencia como las láminas rígidas a regímenes bajos, y casi tanto como las de 62 Hz a regímenes altos. A regímenes medios, la diferencia entre todas las válvulas de láminas era despreciable. Llegaron a la conclu-

sión de que la mejor solución de compromiso era una lámina cuya frecuencia fuese de alrededor de un 80% de la frecuencia del motor en su máxima potencia.

Utilizaban láminas de acero inoxidable, que se suelen instalar en las máquinas de carretera de serie, y en algunas de carreras, como las Yamaha TZ, aunque la mayoría de las máquinas de motocross y casi todas las máquinas corrientes del mercado suelen llevarlas de laminados de resina o fenólicos. Una diferencia es que las de acero no se suelen estropear tanto, pero cuando se estropean pueden tener consecuencias peores que las otras.

Yo he realizado pruebas sobre una serie de láminas, y no he llegado a conclusiones claras. Como muestra la tabla, las variaciones de la potencia no siguen un esquema claro, ni tampoco las variaciones del régimen punta, y bien puede suceder que en una moto de carretera de serie el bloque de láminas no sea el elemento que supone verdaderamente una restricción, y que sean otros elementos los que dominen la producción de potencia hasta tal punto que el bloque de láminas no tenga efectos perceptibles.

Grosor de los pétalos (milímetros)	Rigidez de los pétalos (milímetros)	Variación de la potencia (CV)	Régimen de potencia punta (CV)	r.p.m. sobre 40 CV
0.2 (acero)	28.3	0	8,500	1,430 (2)
0.34	30.7	+0.1	8,500	1,430
0.39	30.7	+0.7	8,700	1,570
0.50	30.2	-1.2	8,700	1,290
0.65	39.7	-0.2	8,700	1,640 (2)
0.2 (acero)	50.2	0	8,500	970
0.2 (acero)	50.2	+1.0	8,600	1,210 (2)
0.7	50.2	+1.3	9,000	1,430
0.7	50.2	+1.5	9,000	1,570 (2)
0.6	70.3	-0.4	8,500	1,210
0.39/0.58	104.0	-0.2	8,700	1,140
0.39/0.58	104.0	0	9,000	1,280 (1)

Nota: (1) los topes de las láminas se abrieron hasta 11,5 mm (lo normal es 9 mm).

(2) se utilizó una válvula aerodinámica.

Tabla 4.1. Rigidez de las válvulas de láminas en relación a la potencia

Si se observan por separado las láminas de acero y los bloques de láminas modificados, sí se advierte un esquema de comportamiento que sugiere que las láminas de menor rigidez darían mayor banda de potencias a régimen punta (ver última columna). La cifra de rigidez se refiere a un pequeño dispositivo de pruebas en el que se ajustaba la lámina contra un tope de láminas normal, y que registraba — por medio de una palanca que giraba sobre el mismo eje del tornillo de banco que sujetaba la lámina, con un rodillo que empujaba la lámina contra el tope — el ángulo máximo que se doblaría la lámina en la práctica.

Otra serie de pruebas (véase la figura 15b) puso de manifiesto unos cambios del mismo orden en potencia al freno y en velocidad, así como otros cambios menores del flujo de combustible, que antes se habían pasado por alto. Cuando se ajustó el carburador para que a un régimen de giro dado se obtuviese siempre el mismo flujo de combustible, el motor tendía a producir la misma potencia al freno, fuera cual fuese el tipo de láminas que se utilizase.

Lo que se deduce de todo esto es que las láminas tenían algún efecto sobre la carburación, debido al parecer a que el movimiento de la lámina determinaría la forma de la onda de presión de los gases de admisión, lo que modificaría a su vez la velocidad de los gases en el carburador.

El efecto se produce a todos los regímenes, pero en la zona del par motor punta (en la que el flujo de gases es máximo) la alteración de la carburación provoca una variación del par motor del orden del 6%. Al régimen punta, en el que el flujo de gases tiende a reducirse mucho, el efecto es mucho mayor: del orden de un 13%. Por lo tanto, si bien las ganancias de par motor punta tienden a ser pequeñas, puede obtenerse una valiosa ampliación de la banda de potencias útiles.

Estas pruebas también dan a entender que se pueden utilizar láminas diferentes a la medida de las características de carburación y de potencia. La máquina que se utilizó para las mismas era una RD250LC puesta a punto para carreras; la probamos con siete tipos diferentes de válvulas de láminas, cambiando los surtidores principales para que la carburación fuera la óptima en cada caso. Así obtuvimos catorce o quince combinaciones diferentes de láminas y carburación; algunas de ellas las ilustramos en la figura 15b.

Si trazamos una gráfica en la que se reflejen las potencias registradas por el banco de prueba de potencia con relación al flujo de combustible, obtenemos unas curvas muy similares a los bucles de mezcla de carburación que se obtienen al ir empobreciendo la mezcla poco a poco mientras se mide la potencia al freno. En la figura 15b los tres primeros puntos (que corresponden a las cifras más elevadas de flujo de combustible) se obtuvieron con surtidores principales del calibre 290; el resto corresponden al calibre 270. El resto de los cambios de flujo de combustible y de potencia se deben a los distintos tipos de láminas que se utilizaron. Se puede optimizar la curva de par motor (que también se ilustra en la figura 15b) eligiendo la conservación más adecuada de válvula de láminas y de surtidor principal. De hecho, se podrían obtener curvas de par motor de diversas formas, situadas entre los casos "mejor" y "peor" que se ilustran. Normalmente, nos bastaría con conseguir la "mejor" curva de par motor, que queda claro cuál es nuestro caso. En otras aplicaciones, las características de par motor se podrían modificar en función de las unidades del motor o de las características del circuito en que se va a pilotar la moto. Por ejemplo, si el régimen máximo del motor fuera de 11.200 r.p.m., no estaría de más utilizar una válvula de láminas que hiciera que el par motor a altos regímenes cayera rápidamente. En otros motores, podríamos elegir entre conseguir un par motor punta máximo o bien conseguir que el par motor estuviera mejor distribuido. (En nuestras pruebas, conseguimos las dos cosas a la vez con la misma configuración.)

Por último, los diferentes tipos de láminas, además de influir sobre la anchura de la banda de potencia, también determinaron la forma en que el motor llegaba a la banda. Los motores de dos tiempos puestos a punto tendían a saltarse explosiones cuando iban a medio gas a regímenes inferiores a la banda de potencia; en estas condiciones había un par de láminas que mejoraban mucho el funcionamiento del motor. Con ellas se conseguía mejor reprise y un control más seguro y cómodo. Hasta ahora no disponemos de medios para poder determinar de antemano qué tipo de válvula de láminas será la más adecuada para un motor dado. Pero sin duda vale la pena hacer experimentos con diferentes tipos de láminas, sobre todo cuando nos encontramos con una banda de potencias estrecha o cuando el motor no responde bien al acelerador.

7) Conducto de admisión al cárter

Con excepción de la instalación de la válvula de láminas, el conducto de admisión se debe mantener tan recto y uniforme como sea posible, de tal forma que el flujo de gases tenga un mínimo de obstáculos, y que las ondas de presión que se mueven

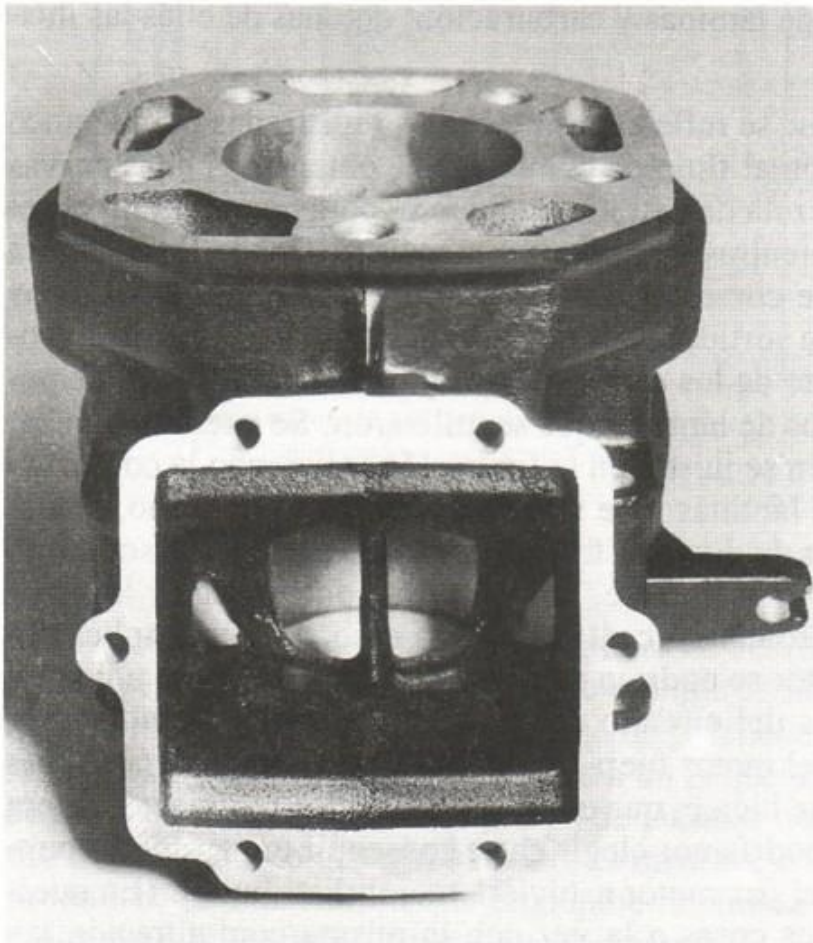


Fig. 18. Un puente en la lumbrera de admisión reducirá el peligro de cabeceo del pistón.

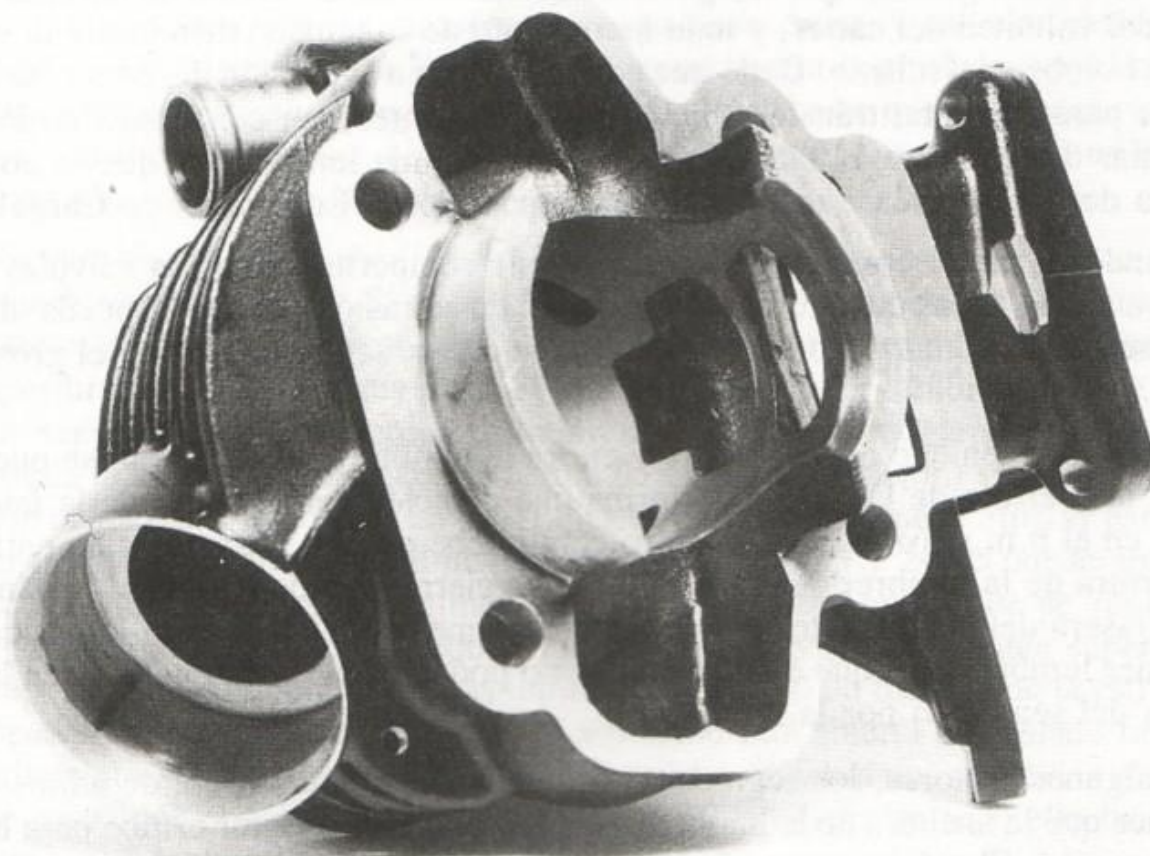


Fig. 19. El puente también puede ser horizontal.

por la lumbrera puedan tener efectos provechosos. También los pueden tener perjudiciales si llegan en mal momento, y será necesario experimentar con la longitud del conducto de admisión para aprovechar los buenos efectos y eliminar los malos.

Un problema que se presenta es que la llegada de las ondas depende de la longitud del conducto (que es constante) a pesar de que la velocidad de giro del motor varía bastante. A veces habrá que amortiguar las ondas fuertes (que también hacen mucho ruido) y quizás se puedan aprovechar para que el motor sea más flexible o para que vaya acelerando limpiamente desde el ralentí, al accionar el acelerador.

Una cámara que esté colocada cerca del pistón o de la válvula de láminas, si la hay, servirá para amortiguar las ondas de presión, como un tanque de compensación. Si esta cámara tiene un tamaño adecuado, puede llegar a devolver la onda cuando sea útil, o bien puede ser absorbida y disipada. En un motor de dos cilindros a 180° se puede conectar al otro conducto de admisión, en lugar de utilizar una cámara separada. Es evidente que este tipo de conexión cruzada requerirá muchos experimentos, pero puede llegar a marcar una gran diferencia en los motores que presentan puntos débiles a acelerador poco abierto, o que dan grandes problemas para ir a ralentí.

➔ El tamaño del conducto de admisión, cerca del cilindro, debe ser algo menor que el área del carburador, para evitar turbulencias; cuando se instalan válvulas de láminas, se debe procurar que el paso de la sección rectangular a la circular se realice

de la forma más gradual que sea posible. La cámara de la válvula de láminas forma parte del volumen del cárter, y todo incremento de su tamaño disminuirá la capacidad de bombeo del mismo. Dado que contiene gases a la presión del cárter, se puede utilizar para alimentar trósteres de carga ya existentes, por conductos, o bien para alimentar directamente el cilindro, por una “séptima lumbrera”, que se abra por encima del pistón (véase más adelante el apartado de Lumbreras de Carga).

Cuando un motor con válvula de disco tiene compartimentos con válvulas de láminas a ambos lados de la lumbrera principal de admisión, quizás se pueda también conectar dichas cámaras con las lumbreras de carga, según la forma y el grosor del motor.

En los casos en que el pistón abre y cierra la lumbrera de admisión, se puede levantar la abertura de la misma de forma que coincida con el perfil de la falda del pistón en el p.m.s. (o viceversa), pero compruebe que los segmentos no entran en la abertura de la lumbrera en el p.m.i. Si los cierres de los segmentos están en la parte trasera del pistón, esto supone automáticamente un límite para la posición de cualquier lumbrera, ya que evidentemente no podemos permitir que asomen los extremos del segmento por la lumbrera.

→ En algunos motores, los segmentos sí que llegan a la lumbrera de admisión, lo que hace que la anchura de la lumbrera se convierta en un factor crítico para la vida del segmento. El máximo, actualmente, es de entre un 70 y un 80% del calibre del cilindro en las motos de carreras, menos en las de carreteras; depende de cada cuanto tiempo esté dispuesto a poner segmentos nuevos. Una proyección central, que baja del borde superior de la lumbrera, puede ser útil para contener los segmentos; si encuentra una en el motor, no la quite.

→ El flujo de gases que procede de la lumbrera tiene que dejar atrás la falda del pistón. Al quitar parte de la falda se aumenta el tiempo—superficie de forma bastante eficiente, y, como los pistones son más baratos que los cilindros, es un buen sistema para hacer experimentos. Pero si se elimina una parte importante de la falda (por ejemplo, donde el pistón antes tenía ventanas) reducirá la vida del pistón de forma importante, porque la parte trasera del cilindro suele ser la superficie de empuje, y al reducir su superficie se aumenta la presión sobre el resto de la falda del pistón. La falta de apoyo también puede causar bamboleos del pistón, y éste, en vez de soportar el empuje sobre la falda, comprimirá la superficie lateral del pistón entre cabeza y segmento contra la pared del cilindro, lo que acaba por desgastarlos y hacer que se queden atascados los segmentos en las gargantas (véase Capítulo 6).

Los gases de la admisión tienen que pasar por encima de la falda del pistón o por lumbreras de la misma, y el flujo de gases es más eficiente sobre un borde afilado. Por lo tanto, un bisel de 45° en el borde de la falda/lumbrera debe mejorar el flujo hacia el cárter.

Como ahora se fabrican muy pocos motores con admisión controlada por el pistón, el tiempo—superficie de admisión no es tan significativo como para las demás lumbreras. Los motores con admisión controlada por válvulas de láminas, se pueden

llevar al punto en que las láminas controlan el reglaje de la admisión; es más fácil realizar experimentos con los motores con válvula de disco, y calcular el tiempo—superficie de los mismos; para los motores con admisión controlada por el pistón, lo mejor es ir adelantando el reglaje de forma gradual, hasta que se produzcan problemas de retroceso de gases a regímenes bajos —plantéese también la posibilidad de utilizar una válvula de láminas.

En los casos en que el pistón sí controla la admisión, el tiempo—superficie se puede aumentar de varias maneras. Si se ensancha la lumbrera, la superficie aumentará sin que varíe el reglaje; si se levanta la falda del pistón, se incrementará la duración de la apertura (es lo mismo que bajar el borde inferior de la lumbrera). Si se eleva el borde superior de la lumbrera, aumentará la superficie (suponiendo que la nueva forma de la lumbrera coincide con la forma de la falda del pistón) sin afectar al reglaje. En el apéndice incluimos un programa, TA2A, que se puede utilizar para calcular el tiempo—superficie de admisión. En las figuras 23 y 24 se puede apreciar la relación entre admisión y régimen de giro del motor; en lo que se refiere al tiempo—superficie, la admisión requiere un tiempo—superficie bastante superior al del escape, y hasta el doble del de las lumbreras de carga, en función de la estrechez de la banda de potencias del motor. Si la admisión está abierta demasiado tiempo, los rendimientos a bajo régimen se resentirán mucho, y habrá una tendencia al retroceso de gases por el carburador que afectará a la carburación; todo ello hará que el motor sea todavía más difícil de manejar.

En este terreno también debemos intentar acercarnos a pequeños pasos a la configuración óptima, mientras intentamos decidir si es la admisión el factor que limita el rendimiento del motor o si es otro el factor limitador.

Si la restricción se encuentra en otra parte, las modificaciones de la admisión no nos aportarán ninguna mejora... pero se seguirán percibiendo sus efectos negativos. Las pruebas de motores, en las que se compara la potencia al freno, las revoluciones y el flujo de combustible, pueden indicarnos muchas veces dónde se encuentra la restricción:

- 1) Cuando existe una restricción antes del carburador, la mezcla tiende a enriquecerse cuando el motor intenta hacer pasar más gases. Esto se apreciará sobre todo en la zona par motor punta (o, mejor dicho, cuando el motor está intentando producir un par motor punta).
- 2) Cuando existe una restricción en el carburador, su efecto será parecido al de cerrar gases ligeramente con el acelerador. La potencia al freno caerá siempre que se cierre el acelerador, por poco que sea; esto no sucederá así si el carburador es demasiado grande, o si el elemento limitador del motor es otro. La velocidad de los gases en el carburador será máxima, y éste funcionará con máxima eficiencia, en lo que se refiere a la entrega de combustible y su pulverización. El flujo de combustible puede ser un poco alto para el calibre principal, sobre todo en el par motor punta, donde se produce el flujo de gases

máximo. El flujo de gases y el par motor caerán rápidamente después de su máximo; la potencia máxima y el par máximo se producirán probablemente al mismo régimen. La potencia a regímenes medios será óptima.

- 3) Si la restricción se encuentra en algún otro punto del conducto de admisión, los síntomas pueden parecerse mucho a los que se producen cuando el carburador es demasiado pequeño; la diferencia es que la carburación probablemente no será tan buena, ya que habrá mayor tendencia a que el combustible se pierda del flujo de aire o a que el carburador aporte mezclas "húmedas". Si el conducto de admisión es demasiado estrecho, los gases tomarán velocidades elevadas, lo que elevará la parte inferior de la banda de potencias. Por el contrario, si el conducto es demasiado ancho o sufre la restricción de que la cámara de la válvula de láminas tiene forma inadecuada, los gases tomarán velocidades bajas, con mayor tendencia al retroceso, lo que afectará a la carburación y estrechará innecesariamente la banda de potencias.
- 4) Si la restricción se encuentra en el cárter o en las lumbreras de carga, el flujo de gases caerá repentinamente al régimen al que la disposición de las lumbreras empiece a ser restrictiva. Evidentemente, las alteraciones a la admisión no mejorarán la marcha del motor; los demás síntomas dependerán del tipo de restricción: si las lumbreras son demasiado estrechas físicamente o si su reglaje no está bien coordinado con el de las demás lumbreras o con la gama de regímenes del motor.

Lo último que hay que señalar en la lumbrera de admisión es que suele apuntar el chorro de gases cargados de aceite al cojinete de la cabeza de la biela cuando éste pasa por el p.m.s. Si se altera esto de cualquier manera, se acabará seguramente con una avería de la cabeza de la biela.

8) Válvula de disco

Las ventajas de la válvula de disco son la posibilidad de utilizar reglajes asimétricos de la admisión, la apertura y cierre inmediatos de la lumbrera, de tal forma que se pueden conseguir fácilmente valores elevados de tiempo—superficie, y el conducto corto y directo por el que tienen que pasar los gases. El mecanismo genera ondas de presión fortísimas; se suele decir que el conducto de admisión es demasiado corto para aprovecharlas, pero desde luego es fácil que den problemas: sobre todo, vapores que retroceden del carburador, y también hacen que la carburación sea muy sensible a los cambios pequeños.

El tiempo—superficie se suele poder aumentar sin variar el reglaje, haciendo que la forma de la lumbrera coincida con los bordes del disco, y haciendo que la lumbrera

Fig. 20. Conjunto de carburador de co-
rredera plana y válvula de admisión de
disco utilizado por Suzuki.

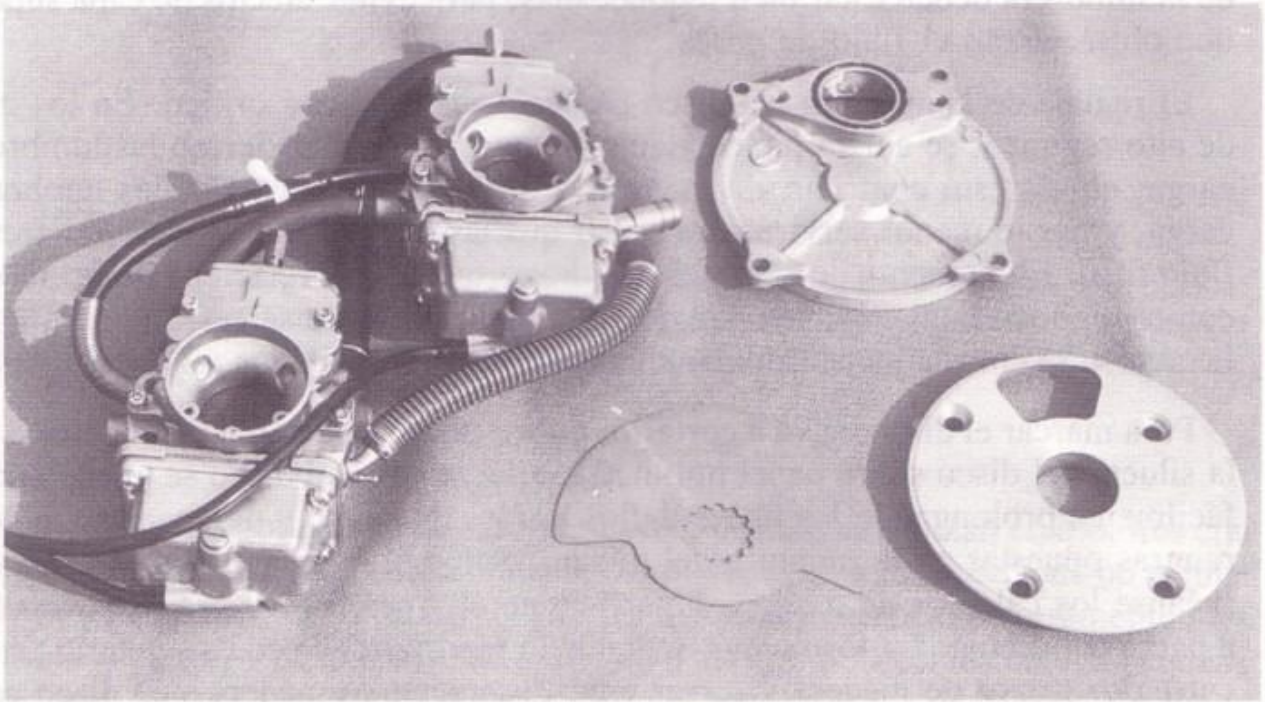
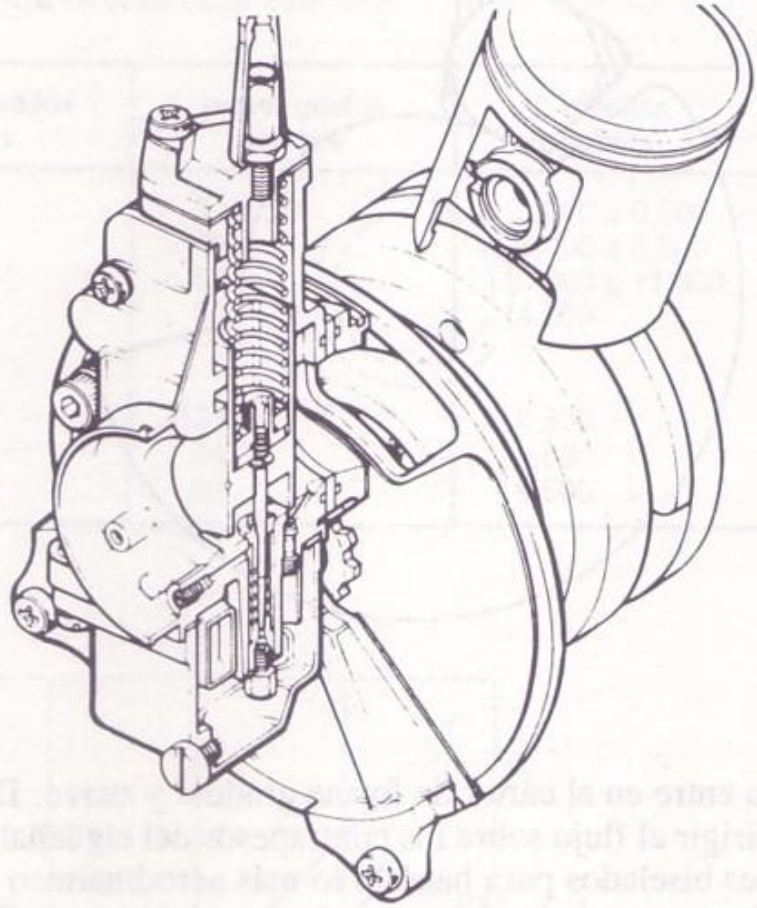


Fig. 21. Componentes del sistema Suzuki de admisión por disco giratorio.

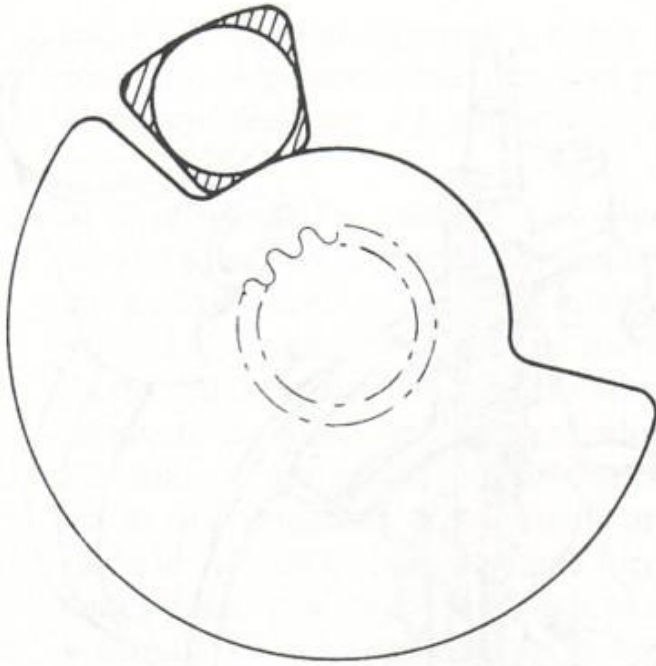


Fig. 22. Una ventana de lumbrera rectangular o en forma de cuña dará más superficie que una lumbrera circular, sin alterar el reglaje de la válvula de disco.

ra entre en el cárter de forma gradual y suave. Debe tener un ángulo que le permita dirigir el flujo sobre los contrapesos del cigüeñal, que normalmente tendrán los bordes biselados para hacerlo lo más aerodinámico que sea posible. La forma más eficiente para la lumbrera, en lo que al área se refiere, es la de cuña, suponiendo que exista el material suficiente en el soporte de la válvula para poder sustentar esta forma. Comparada con una lumbrera circular que se abra y se cierre al mismo tiempo, una lumbrera trapezoidal ofrece una superficie de cerca del 30% más. Las esquinas de la lumbrera deben estar bien redondeadas, para evitar efectos de capa superficial que obstaculizan el flujo de gases.

El reglaje de la apertura del disco no suele ser un factor crítico. En los motores de alto régimen, se abrirá inmediatamente antes de que se cierren las lumbreras de carga; quizás esto contribuya a mejorar el flujo final a través de las lumbreras de carga, y por lo menos servirá para evitar que la baja presión en el cárter frene este flujo final. El momento de cierre es más importante, y se relaciona de forma directa con el régimen punta: a mayor régimen punta, más tarde se cerrará la válvula. En la tabla 4.2 vemos algunas comparaciones, con sus respectivos regímenes máximos.

Para marcar el disco, si va a cortarlo, utilice un transportador de ángulos o calque la silueta del disco sobre papel milimetrado; el centro del disco se puede encontrar fácilmente prolongando las líneas de los bordes de cierre y de apertura, o uniendo ranuras opuestas en la montura del mismo. Sume el número de grados necesarios (véanse los cálculos de tiempo—superficie en el Apéndice) y prepare una plantilla a partir del dibujo. La forma más sencilla de recortar el disco es sujetarlo fijamente entre dos trozos de madera y serrar cuidadosamente la madera y el disco con una sierra para metales. Rebaje los bordes serrados con una sierra fina, con cuidado de que no se le doble ni se le deforme el disco.

Tabla 4.2 Reglaje de la admisión.

tipo de admisión	apertura, grados a.p.m.s.	cierre, grados d.p.m.s	régimen punta
disco	115 a 118	37 a 55	8,000 a 9,500
disco	110	40	6,000 a 6,500
disco	145	65	10,000 a 11,000
disco	150	80	14,000
válvula de láminas (abierta 360°)	80	120	9,500
pistón	64	64	6,500
pistón	88	88	9,500

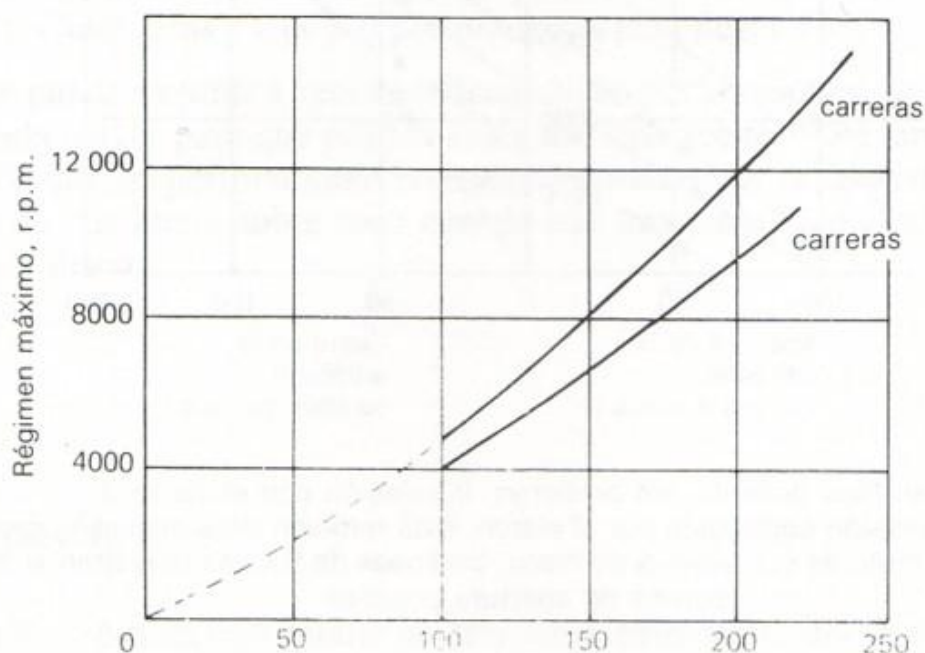


Fig. 23. Existe una relación bastante clara entre la duración de la admisión y las revoluciones a las que se produce la potencia máxima. La diferencia entre "carreras" y "carretera" se debe a la forma en que están ajustados otros componentes del motor con la admisión.

Parece que la sensibilidad de los carburadores, cuando se utilizan en motores con válvula de disco, se relaciona directamente con su tamaño, que parece que no admite un error de más de 2mm. Si el carburador es demasiado grande, seguramente será muy difícil reglarlo, y puede pasar de muy rico a muy empobrecido con una pequeña diferencia de paso en los chiclés. Después de ver funcionar los motores con válvula de disco en el banco de pruebas, nos parece que la causa de esto es la enorme 'separación' de carburante. Sobre otro tipo de motores, se puede moderar el efecto alar-

gando el conducto de admisión, pero esto no es práctico cuando el carburador está pegado al lado del cárter. Parece que una columna de aire vibra constantemente por el carburador, y absorbe carburante con cada vibración. Quizás se puedan dar estados en que el motor recoge todo este carburante, y recibe una mezcla rica; si es así, también pueden existir estados en que pierda todo el carburante y reciba una mezcla pobre.

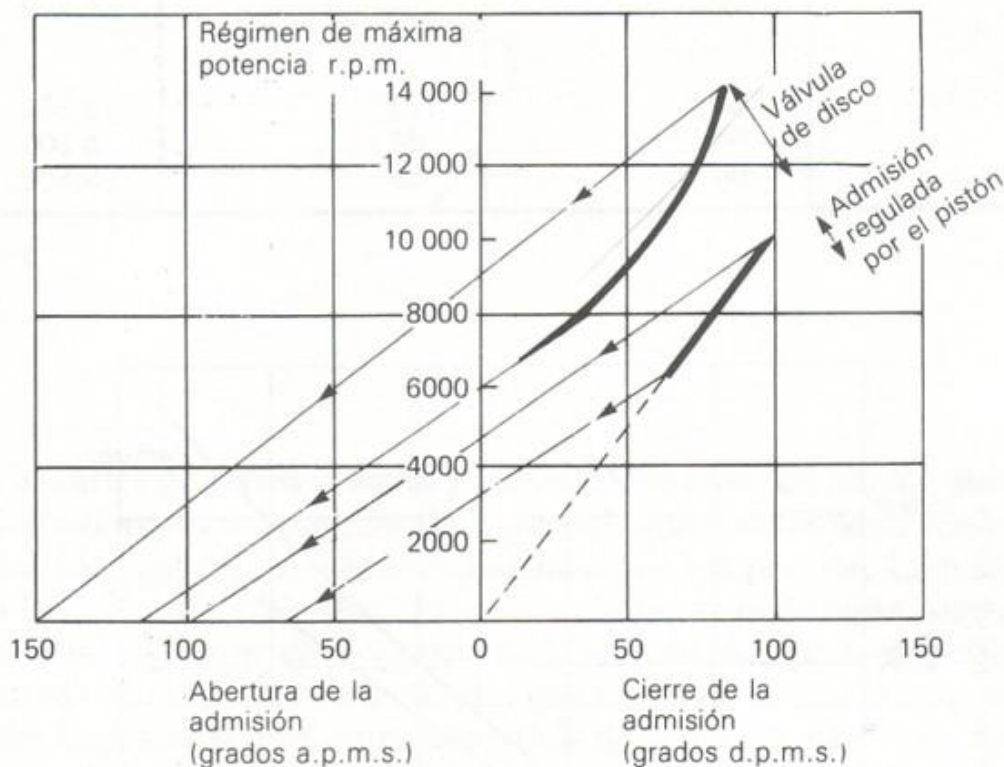


Fig. 24. No está tan bien definida, sin embargo, la relación con el cierre de la admisión. En los motores con admisión controlada por el pistón, ésta también determinará la apertura de la admisión; para los motores con válvula de disco, las líneas de flechas muestran el intervalo de puntos de apertura posibles.

9) El cárter

⇒ El cárter no es más que una bomba, el volumen que el pistón desplaza en su bajada se impulsa hacia arriba por las lumbreras de carga. Cuanto mayor sea la presión que se genere en el cárter, será más fácil que las lumbreras de carga desempeñen su labor, y a mayor relación de compresión en el cárter, mayor capacidad de bombeo. Además, la velocidad de giro a la que se produce la mayor eficiencia de bombeo es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del volumen del cárter. En otras palabras, un cárter con volumen pequeño dará mejor resultado a velocidades de giro elevadas, y si quiere aumentar las velocidades de giro, sería una ventaja poder reducir el volumen del cárter.

Poco se puede hacer para reducir el volumen del cárter, o para aumentar la relación de volúmenes, sin obstruir el flujo de gases y sin impedir que el chorro de gases llegue a los cojinetes de la biela para refrigerarlos, pero es posible evitar que el volumen del cárter se aumente demasiado. En este sentido, se deben limitar al mínimo las cámaras de las válvulas de láminas y las entradas anchas de las lumbreras de carga.

Esto dicho, las entradas anchas del cárter a la lumbrera de carga sí mejoran la forma de las lumbreras, porque un conducto con sección que se estrecha, como una boquilla, produce menos turbulencias. Es tradicional utilizar la junta del cárter como plantilla para asegurarse de que las formas de las lumbreras de carga en el cárter están en armonía con las del cilindro. De hecho, en la práctica se advierte que esto no produce diferencias apreciables (pero tampoco puede hacer daño, y todavía no he visto ningún mecánico de puesta a punto que resista la tentación de hacerlo, por si sirve de algo).

Muchas máquinas de dos tiempos dependen de que el aceite se acumule en los lados de las lumbreras y baje por perforaciones para llegar a los cojinetes principales.

Esto se puede mejorar a veces avellanando las perforaciones, de forma que tengan una entrada mayor para que puedan acumular más aceite. Vale también la pena asegurarse de que las perforaciones no estén obstruidas por rebabas de fundición o por el borde de una junta, sobre todo cuando hay una junta bajo el alojamiento de una válvula de disco.

10) El pistón

El capítulo 6 trata con detalle las funciones principales del pistón, pero dado que es una parte importante del sistema de apertura y cierre de lumbreras y de bombeo del cárter, lo incluimos también aquí.

La falda, o las ventanas que se abren en la falda, controlan el reglaje de las lumbreras de admisión y de carga, y por lo tanto se puede utilizar para variar dicho reglaje. Se deben comprobar cuidadosamente las ventanas para asegurarse de que estén alineadas con las lumbreras del cilindro: cuando el motor esté montado, haga marcas de registro sobre el cilindro y sobre la cabeza del pistón para poder colocarlos en posición con el motor desmontado.

Con un chaflán de 45° en la falda y en las ventanas de la misma, se mejorará el flujo de gases sobre los bordes del pistón y por las lumbreras de sobrecarga, que permiten que los gases fluyan a través del pistón, y pueden mejorar también la fiabilidad del motor, por el efecto refrigerador que tienen los gases sobre el pie de la biela y la cabeza del pistón.

11) Las lumbreras de carga

Desde el cárter, los gases son impulsados al cilindro, donde lo primero que tienen que hacer es desalojar por el escape los gases viejos; pero no deben mezclarse con los gases ya quemados, ni perderse por el escape.

Suelen existir cinco lumbreras o más, a veces con interconexiones entre sus entradas y con la admisión (cuando se utilizan válvulas de láminas). Los factores críticos son las direcciones en que descargan los gases.

Cuando los motores precisan buena potencia a regímenes bajos, las lumbreras de carga suelen estar dirigidas hacia la parte trasera del cilindro, y hacia arriba. Es corriente que las lumbreras principales se abran antes que las auxiliares, o bien que los bordes superiores de las lumbreras tengan una forma que se estrecha de forma progresiva, de manera que la lumbrera se abra de forma progresiva. Todo esto sirve para dar buenos resultados a regímenes bajos, (y los bordes que se estrechan de forma progresiva alargan la vida de los segmentos), y para reducir al mínimo el peligro de que los gases frescos se pierdan por el escape. Suele ser útil dar a las lumbreras mayor tiempo de apertura y dar a sus ventanas de salida una dirección hacia arriba y hacia la parte trasera del pistón; sirve para aumentar la potencia a regímenes medios en un motor que tiene una banda de potencia demasiado estrecha.

Pero para conseguir potencia a altas velocidades, las cosas tienen que suceder de forma un poco más violenta; hay menos tiempo para perder gases frescos, y, dentro de una banda de potencia estrecha, lo que se pierde se suele poder recuperar por un sistema de escape en resonancia.

Por lo tanto, las ventanas de las lumbreras de carga tienen un ángulo tal que envían los gases frescos sobre la cabeza del pistón y hacia el centro del cilindro. Las lumbreras auxiliares suelen estar en ángulo hacia arriba, hasta 45° , mientras que la "séptima lumbrera", en la pared trasera, tiene un ángulo muy pronunciado hacia arriba. En principio, toda lumbrera de sobrecarga se habría reglado de forma que se abriese después de las otras, para dar un último soplido de gases frescos, para terminar el proceso de barrido de gases. Pero la lumbrera puede dejar pasar más gases, y a regímenes altos es corriente abrir todas las lumbreras de carga al mismo tiempo.

La única manera de calcular el reglaje de carga de gases a una velocidad de giro determinada es utilizar transductores de presión en el cilindro y en el cárter (lo hacen los fabricantes, o bien utilizan simulaciones de ordenador para predecir los cambios de presión). Cuando se abre la lumbrera de escape, se produce una caída repentina de la presión del cilindro, ya que los gases se pueden escapar libremente (y quizás tira de ellos la caída de presión producida por el juego de ondas en el sistema de escape). El pistón sigue alejándose de los gases quemados, y por tanto la caída de presión puede llegar a ser bastante importante. Al mismo tiempo, está aumentando la presión dentro del cárter, y las lumbreras de admisión se pueden abrir en cualquier momento en que la presión del cárter sea superior a la del cilindro.

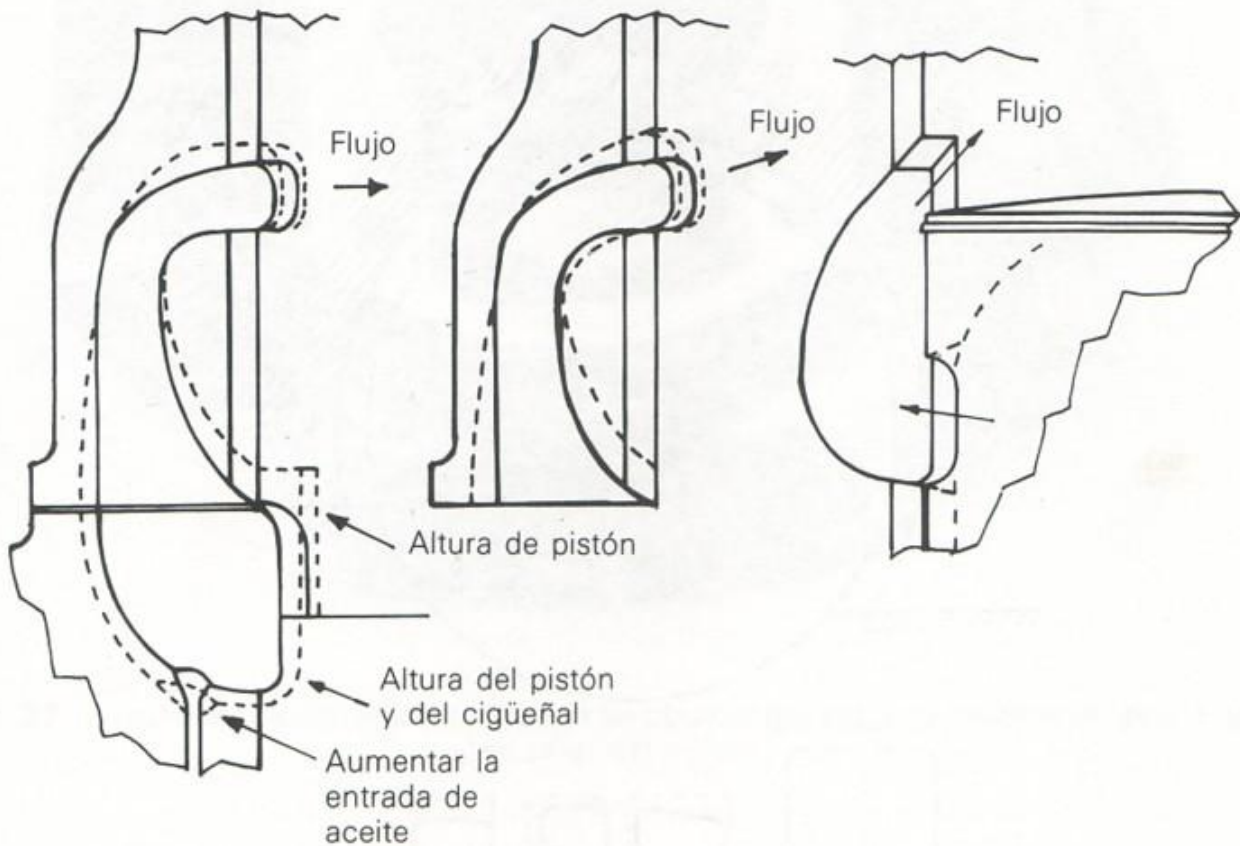


Fig. 25(a). Modificaciones en las lumbreras de carga. Izquierda: las líneas de puntos indican cómo se puede agrandar la lumbrera, con una boca más alta y más ancha que la original y dirigiendo el flujo de gases sobre la cabeza del pistón. La entrada se agranda al máximo, y se va estrechando el conducto de forma gradual hasta llegar a su estrechamiento máximo en el punto de mayor curvatura del conducto. Centro: las líneas de puntos presentan una modificación opcional cuando se pretende dirigir hacia arriba el flujo de gases. Derecha: proporciones para una "séptima lumbrera", que dirige la corriente de gases muy hacia arriba.

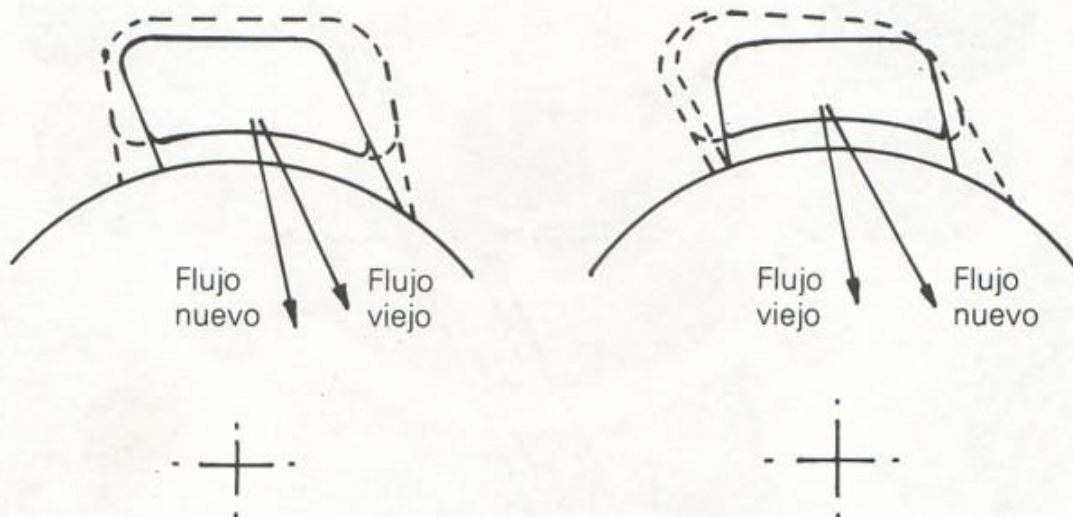


Fig. 25(b). Las lumbreras de carga también se pueden modificar para dirigir el flujo de gases hacia el centro del cilindro (izquierda) o hacia la parte trasera del mismo (derecha). La dirección del flujo de gases afecta a las características de potencia; cuando se dirigen los gases sobre la cabeza del pistón y hacia el centro del cilindro, se obtendrán mejores rendimientos a regímenes altos. Cuando el flujo de gases se dirige hacia la parte superior del cilindro, o hacia su pared trasera, se obtendrán mejores rendimientos a regímenes bajos.

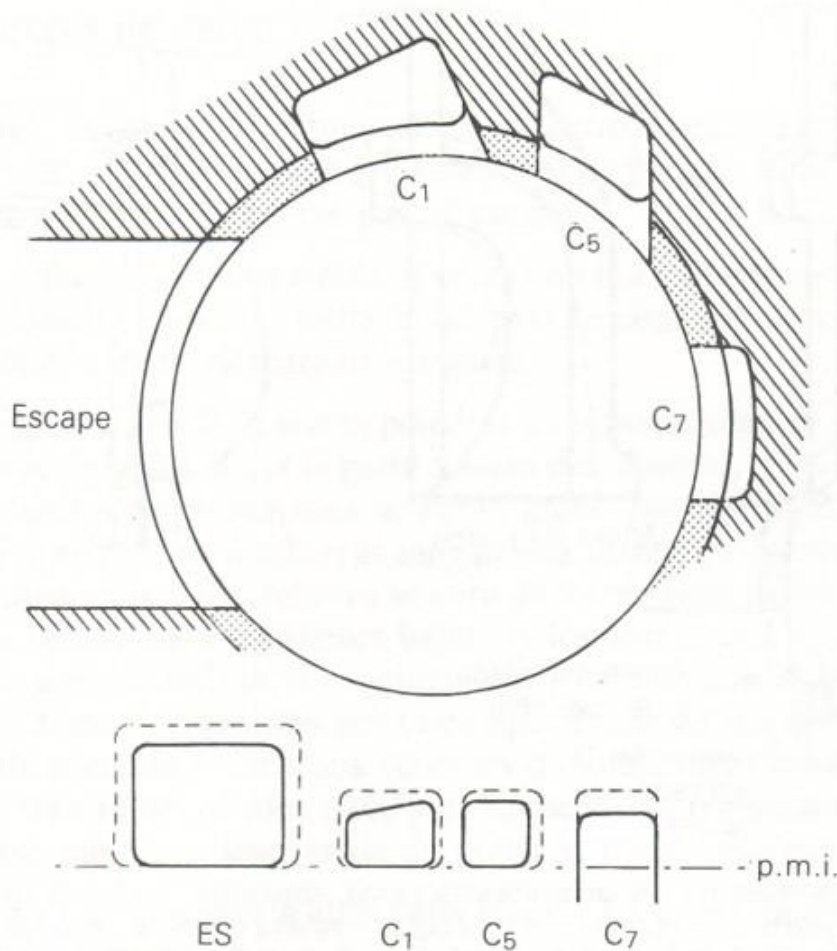


Fig. 26(a). Ventanas de lumbreras de escape y de carga. Las lumbreras de carga se pueden dirigir a la pared trasera del cilindro, o pueden dirigir los chorros de gases de forma que choquen entre sí. Las líneas de puntos indican alteraciones típicas que se pueden realizar en las ventanas de las lumbreras.

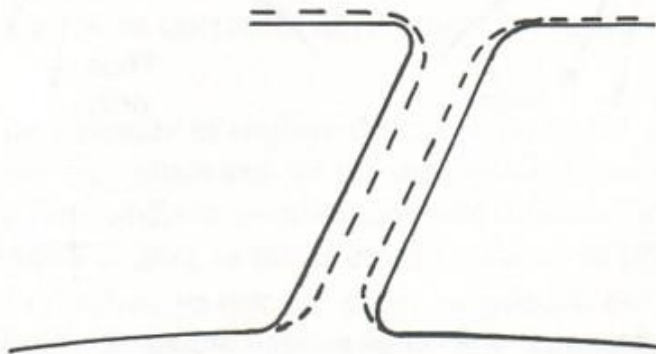


Fig. 26(b). Suele ser posible dar a la boca de las lumbreras una forma más aerodinámica para mejorar el flujo de gases, acentuando el radio de sus esquinas aun cuando no se pueda o no se quiera aumentar su tamaño total.

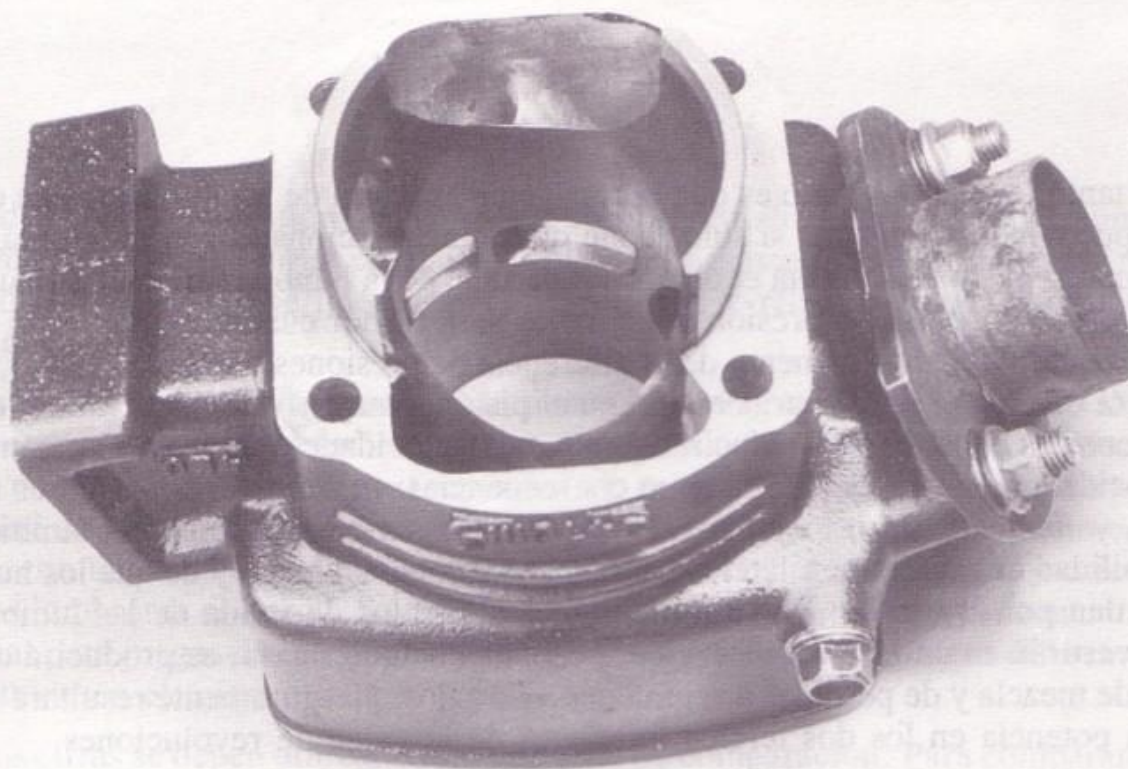


Fig. 27. Yamaha RD modificada. La lumbrera de carga es grande, y su salida se dirige a la parte superior del pistón.

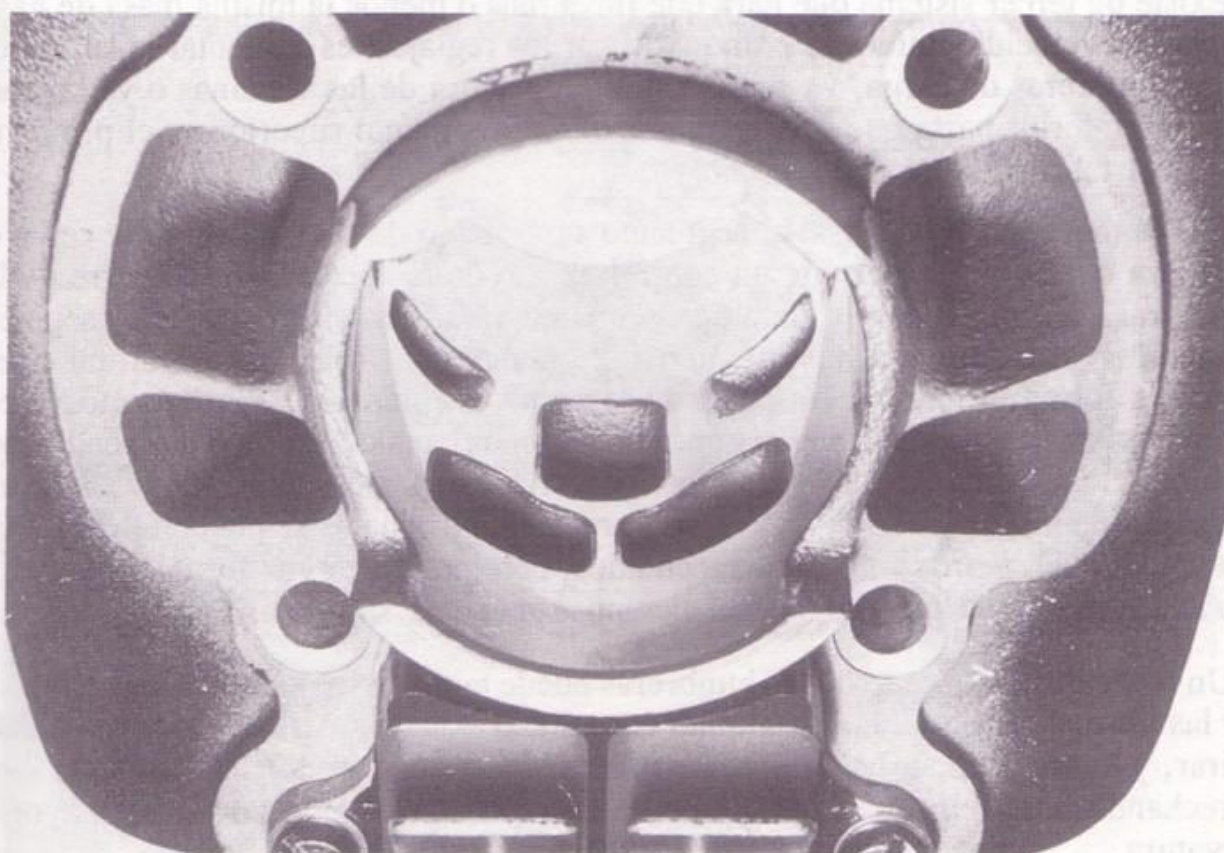


Fig. 28. Muchas lumbreras en este motor Armstrong. Las dos grandes son una lumbrera de admisión puenteada, la casi cuadrada es la "séptima lumbrera", las otras dos son lumbreras de carga secundarias.

Por tanto, el primer punto es que el reglaje de apertura de las lumbreras de carga no se puede considerar por sí solo, tiene que estar relacionado con el intervalo de precompresión. Si se aumenta el tiempo—superficie de la lumbrera de escape, aumentará la precompresión; la presión del cilindro será menor cuando se abran las lumbreras de carga. Cierta aumento de la diferencia de presiones puede ser bueno, porque hará que los gases de carga entren en el pistón a mayor velocidad. Como todos los intervalos de tiempo se reducirán a mayores velocidades de giro, el aumento de la velocidad de los gases tendrá como consecuencias: (a) transferir más gases al cilindro, y (b) realizar un mejor barrido de los gases viejos. Aumentará también la probabilidad de que se mezclen los gases nuevos con los viejos, y de que los nuevos se pierdan por el escape. Por este motivo, los ángulos de salida de las lumbreras se convertirán en un factor más crítico, pero, en cualquier caso, se producirá cierto grado de mezcla y de pérdidas a regímenes más bajos, y seguramente resultará afectada la potencia en los dos tercios inferiores de la gama de revoluciones.

Cuando los gases nuevos están en el cilindro, se puede hacer que pierdan parte de su velocidad apuntando las corrientes de gases unas contra otras; al chocar y hacerse frenar mutuamente, aumentará la presión de los gases. Otra forma de reducir su velocidad es abrir antes las lumbreras (o algunas de ellas) para hacer empezar el flujo de gases de carga, antes de que la diferencia de presiones aumente demasiado.

Existe un tercer sistema que hará que fluya más o menos la misma masa de gases pero a una velocidad inferior, y sin modificar los reglajes: es aumentar la superficie de las lumbreras de carga, ya aumentando la anchura de las ventanas o ya bajando su borde inferior hasta que estén en línea con el segmento superior en el p.m.i. (si es que el fabricante no lo ha hecho ya).

En los motores de carreras, el segmento superior (o de fuego) está muy cerca de la cabeza del pistón, y permite un control exacto de la apertura y del cierre de las lumbreras. Las motos de carretera tienen un intervalo mayor entre cabeza y segmento superior; esto aumenta la duración del segmento, pero hace que sea difícil determinar de forma exacta la cota en la que se abre la lumbrera. Algunos mecánicos eliminan parte de la cabeza del pistón, y dejan unos canales que están alineados con las lumbreras, para aumentar su tiempo—superficie y para permitir reglajes más precisos. Esto quitará vida al pistón, y los bordes de los canales se pueden llegar a calentar tanto que se produzcan autoencendidos, pero puede ser una forma útil de estudiar el efecto de un incremento del tiempo—superficie sin sacrificar un cilindro.

Un buen ajuste delicado de las lumbreras puede también mejorar el flujo de masas por las mismas. En concreto, cualquier cosa que pueda originar turbulencias se debe retirar, y se debe dar a las lumbreras una forma suave y redondeada que se vaya estrechando hasta el punto más estrecho, que debe ser aquél en que es mayor la curvatura.

Los gases de carga deben fluir en un bucle simétrico, subir por la pared posterior del cilindro y llenar el espacio de combustión. Si las lumbreras no son exactamente simétricas, el flujo estará desequilibrado, lo que originará un llenado deficiente del

cilindro y una combustión defectuosa. Quizás el remolino que forman las lumbreras de carga *pueda* mejorar la combustión, pero seguramente habría que gastar muchos cilindros haciendo experimentos para descubrir si se puede dar una aplicación práctica a esto.

Es posible calcular los valores de tiempo—superficie de las lumbreras de carga y de escape (véase el Apéndice), pero, por supuesto, las cifras no quieren decir gran cosa por sí solas. Los tiempos—superficie de escape se pueden relacionar con la velocidad de giro, pero las cifras para la carga se deben relacionar con la precompresión, con la banda de velocidades de giro del motor y con el número y orientación de las lumbreras de carga. Se obtendrían resultados muy diferentes en cuanto a potencia, para juegos de lumbreras que estuviesen orientados de forma diferente, aunque tuviesen el mismo tiempo—superficie.

Las cifras se deben utilizar como términos de comparación. Para comparar el motor consigo mismo, se puede comparar el tiempo—superficie de carga con el de escape, para conseguir una “relación de precompresión”. También se puede relacionar con el tiempo—superficie que se requiere a diferentes regímenes; es decir ¿cuánto tiempo—superficie necesitaríamos para conseguir a 9.000 r.p.m. el mismo valor que teníamos a 8.000 r.p.m.? ¿Cuánto se podría conseguir sin alterar la relación de precompresión? Por último, se puede comparar el tiempo—superficie con el de otro motor: con el de un motor al que usted quiera imitar con el suyo.

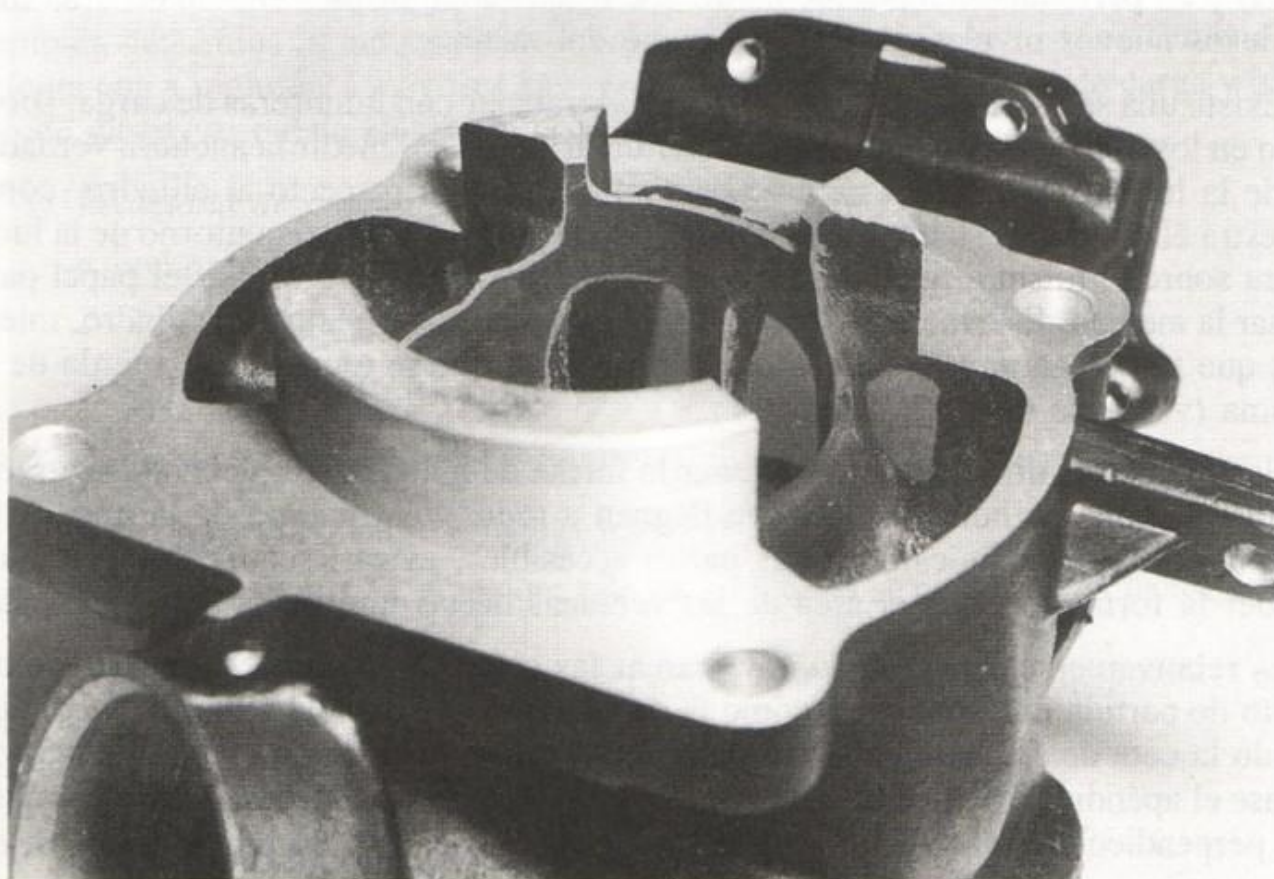


Fig. 29. Kawasaki dejó la cámara de la válvula de láminas conectada con las lumbreras de carga en algunos motores para moto—cross.

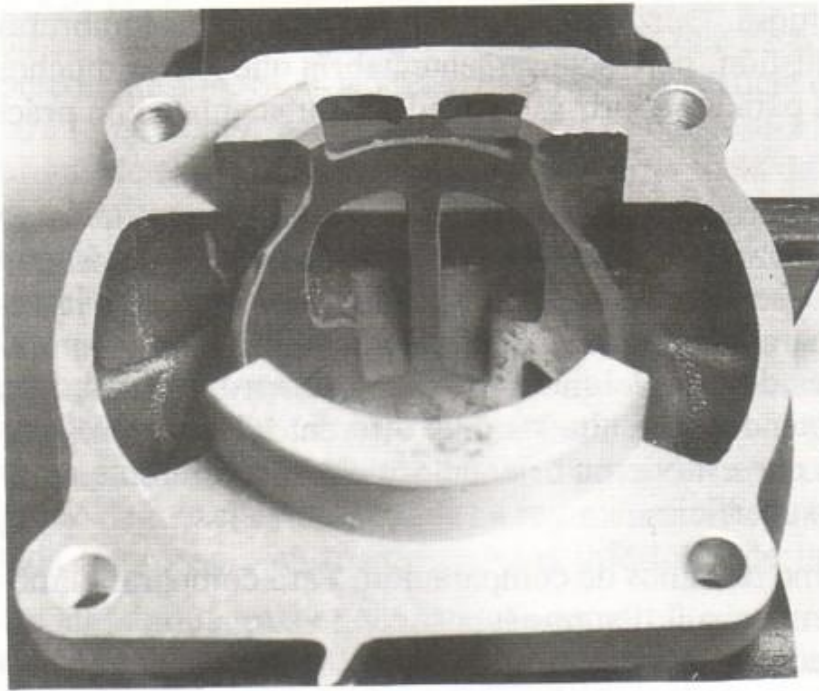


Fig. 30. El mismo motor Kawasaki de la fig. 29 tiene también una lumbrera de admisión agrandada, formando una "séptima lumbrera".

Estas cifras se deben tratar como si fuesen límites: se debe acercar uno a ellas por etapas, en parte porque así dispondrá de más datos para comparar entre sí (cuando sólo se dispone de dos puntos, el único gráfico que se puede trazar es una línea recta) y en parte también porque habrá que ir ajustando otros componentes del motor a los nuevos niveles de puesta a punto del mismo.

Existe una serie de dificultades prácticas al trabajar con lumbreras de carga, sobre todo en los cilindros pequeños. En primer lugar, es difícil medir la anchura verdadera de la lumbrera cuando está dispuesta en ángulo con respecto al cilindro, como muestra el dibujo. Si se introduce una hoja de papel y se calca el contorno de la lumbrera sobre el mismo, quedará exagerada la superficie al desenrollar el papel para tomar la medida. Este método le dará la medida sobre el perímetro del cilindro, mientras que la verdadera medida de la lumbrera es la que se toma por la cuerda de la misma (véase de nuevo la figura 31).

Es igualmente difícil fresar o rellenar la forma de la lumbrera; deberá asegurarse de que dispone de herramientas que lleguen a todos los rincones de la misma. Si se limita a trabajar únicamente las partes accesibles, es casi seguro que echaría a perder la forma, aunque el área de las ventanas de las lumbreras sea la deseada.

Es relativamente sencillo medir y marcar las cotas de apertura, utilizando como punto de partida una superficie como la de la parte superior del cilindro, y convirtiendo la cota de apertura en altura de la lumbrera a partir de este punto de partida (véase el apéndice). Se puede utilizar como guía un pistón, para que las marcas queden perpendiculares al cilindro y para asegurarse de que todas las lumbreras se abren a la vez.

Las lumbreras principales tendrán, seguramente, una duración de entre 115° y 130° , y estarán orientadas a 90° con respecto a la pared del cilindro, y dirigidas

a un punto un poco más atrás del centro de la culata. Si se apunta más atrás o más arriba, se mejorarán los resultados a regímenes medios, a costa de la potencia punta.

Las lumbreras auxiliares serán más pequeñas (los técnicos de Yamaha hablan de un 40% del tamaño de las lumbreras principales) y seguramente dirigirán hacia arriba la mezcla, a unos 40°. No existe una regla fija para esto; si es posible evitar la mezcla de gases nuevos y viejos y la pérdida de gases nuevos, las lumbreras pueden estar orientadas a cualquier ángulo. Toda la labor de desarrollo consistirá en descubrir la mejor combinación de ángulos.

Las lumbreras adicionales, en la parte trasera del cilindro, pueden tener tamaños parecidos a los de las lumbreras auxiliares (en el caso de motores con válvula de disco) o ser menores (la "séptima lumbrera" en los motores con válvula de láminas). En los casos en que estas lumbreras se abren al mismo tiempo que las otras, suelen estar orientadas hacia arriba, en ángulos muy agudos, para que el flujo de gases siga teniendo carácter de bucle, y para evitar que la corriente de gases frescos apunte a la lumbrera de escape abierta, que está directamente enfrente. Cuando se abre más tarde la lumbrera de sobrecarga, suele estar orientada directamente al escape, para dar un empujón adicional en aquella dirección y para evitar que los gases quemados no lleguen al escape y hagan el bucle sobre la cabeza del pistón.

En general, se deben organizar las lumbreras de carga de tal manera que se complementen unas a otras, y que se ajusten al reglaje de las lumbreras de escape. Dado que la cota de apertura de la lumbrera de carga determina su cota de cierre, esto también determina la inducción del cárter y el reglaje de la admisión. Teniendo en cuenta que a regímenes mayores hay menos tiempo disponible para la carga y barrido de gases, se puede elegir entre:

1) *Velocidad de chorro elevada*

- compresión elevada en el cárter
- ventanas pequeñas en las lumbreras
- reglaje retrasado (precompresión larga).

2) *Velocidad de chorro (más) baja*

- reglaje adelantado; ventanas mayores
- la orientación u orientaciones de las lumbreras se convierte en factor crítico.

Las características que producen una potencia punta, con banda de potencia estrecha, son:

- apertura repentina de las lumbreras
- todas las lumbreras se abren a la vez
- el chorro principal se dirige sobre la cabeza del pistón
- velocidad elevada de los gases.

Las características que producen una banda de potencia más ancha, con potencia punta menor, son:

- apertura progresiva de las lumbreras
- apertura escalonada de las lumbreras
- los chorros de gases se dirigen hacia atrás
- los chorros de gases se dirigen hacia arriba.

Por supuesto, es posible combinar algunos de estos factores para que las características de potencia del motor estén a nuestra medida. Lo más corriente es disponer las lumbreras principales buscando la potencia máxima, y mejorar las potencias a regímenes medios con una orientación cuidadosa de las lumbreras auxiliares. Todas las ventanas de las lumbreras deben tener los bordes achaflanados, y las esquinas redondeadas, como se indicó en el capítulo 2.

12) Cilindro y culata

Estudiaremos estos elementos con detalle en el capítulo 6, pero veremos ahora su relación con el flujo de los gases.

La relación entre carrera y calibre tiene un efecto significativo sobre la superficie disponible para lumbreras, y sobre la eficiencia del bucle de barrido de gases, como se indicó en el capítulo 3. Mientras que una carrera larga ofrece más superficie para las lumbreras a igualdad de reglajes, la superior altura e inferior calibre del cilindro no se prestan a un proceso de barrido de gases eficiente. Si se aumenta el calibre del cilindro, se obtiene una mayor superficie del pistón, y mayor potencia a igualdad de presión de los gases.

Las culatas que proporcionan una alta compresión aumentan la eficiencia del motor, tanto de bombeo como de extracción térmica; además, cuanto más violenta sea la puesta a punto, más receptivo será el motor a los efectos de las ondas de presión en la admisión y en el escape. Esto tiene las desventajas de que se acorta la banda de potencias y de que es más difícil silenciar el motor.

Otro elemento que se utiliza en las culatas es una zona de "squish" de bordes estrechos (véase el capítulo 6) que causa turbulencias antes de la combustión, y hace que dicho proceso sea más eficiente.

En algunos motores, se puede apreciar la violencia del movimiento de los gases observando los electrodos de las bujías. No es raro que un lado adquiera un color pardo claro mientras que el otro lado se pone oscuro, casi negro, lo que indica que la bujía está encendiendo una corriente de gases muy rápida. Esto nos indica a su vez que la forma de la culata, la situación de la bujía en la misma y el reglaje del encendido deben influir sobre la producción de potencia. A finales de los 70, los

fabricantes tendían a producir culatas en las que la cámara central estaba descentrada, y la bujía también estaba descentrada en la cámara. Los primeros modelos tenían zonas de “squish” muy anchas, y cámaras de combustión muy profundas; las llamaban culatas tipo “sombrero de copa”, por su sección. Ahora se ha vuelto a las culatas simétricas, con bujías centrales.

13) Lumbrera de escape

Es el factor más determinante de las características de potencia del motor. Si se aumenta o se reduce el tiempo—superficie de escape, el efecto sobre el motor será significativo, aunque no se toque nada más. Si el resto del motor tiene graves restricciones, los cambios sobre la lumbrera de escape tendrán, probablemente, efectos indeseables (como el de estrechar la banda de potencias), en vez de indeseables (como dar más potencia).

Para conseguir el efecto completo, todas las demás cosas deben estar conjugadas con las características que marque el reglaje del escape; por lo tanto, después de evaluar un motor y de eliminar las restricciones más evidentes, la lumbrera de escape suele ser el mejor lugar para empezar cualquier labor de desarrollo.

No tiene sentido abrir la lumbrera de escape mientras los gases tengan todavía una presión suficiente para realizar un trabajo útil sobre el pistón. De hecho, si lo que se pretende con la puesta a punto es aumentar la presión de los gases, entonces vale la pena plantearse no tocar el reglaje del escape, o incluso retrasarlo. Pero si se aumenta la velocidad del pistón, llegará un punto en que los gases no estén realizando un trabajo útil sobre el pistón y en el que la presión restante se podría aprovechar mejor para el inminente proceso de barrido de gases. Es en aquel momento (desde el punto de vista de las presiones) cuando se debe abrir la lumbrera; y esto implica que el reglaje de la apertura de la lumbrera de escape dependerá muy de cerca del régimen del motor; a mayores revoluciones, hará falta mayor avance del escape.

Cuando se abre la lumbrera, se origina una onda repentina de presión en la lumbrera de escape y en el colector del escape. Esta onda contiene una energía que resultará útil para barrer los gases del cilindro. La forma del borde superior de la ventana de la lumbrera afectará a la producción del impulso: una lumbrera que se abra de forma gradual producirá un impulso más débil, repartido en un tiempo más largo. Un borde superior con forma curva tendrá esta consecuencia, y lo mismo hará un pequeño orificio que se perfore sobre la ventana y que conecte con la lumbrera. El borde superior de forma curva también hará que el segmento entre de forma gradual en la zona de la ventana de la lumbrera, donde siempre tiende a asomar del pistón. Y, lo que es más importante, a la vuelta también volverá a ser empujado a su ranura de la misma forma progresiva.

Un borde superior recto y horizontal producirá la onda más fuerte posible, y cuanto antes se produzca, mayor será la fuerza de la misma. También causará grandes ten-

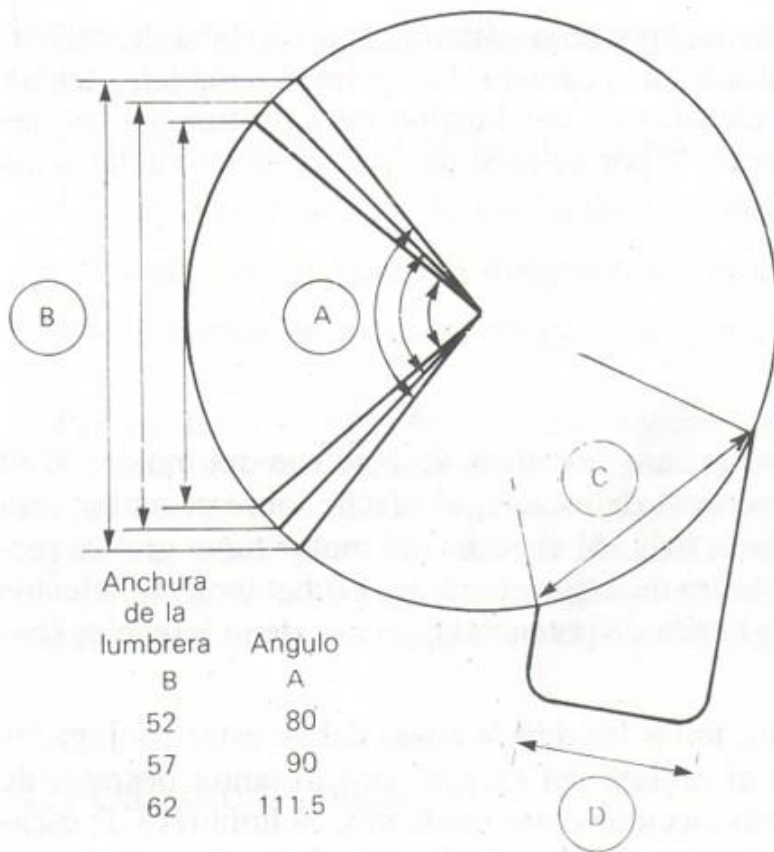


Fig. 31. Cuando se ensancha una lumbrera, se crea un arco cada vez más ancho que los segmentos deben salvar sin apoyo. Por encima de 90° , los inconvenientes superan a las ventajas, como muestra este diagrama. La verdadera anchura de una lumbrera (D) no siempre equivale a la anchura de la ventana en el pistón (C).

siones sobre los segmentos. Cuando la onda se pierde en los recovecos del sistema de escape, los gases propiamente dichos empiezan a salir por la lumbrera. El caudal de flujo depende de la diferencia de presiones, por lo que si puede existir una región de bajas presiones en el entorno de la lumbrera, como consecuencia de la onda anterior, el flujo de gases podría mejorar considerablemente.

En este período, el gas está saliendo del cilindro bajo su propia presión; todavía no se han abierto las lumbreras de carga. En este período de precompresión, la presión del cilindro se debe reducir hasta ser inferior a la del cárter, y a regímenes altos hay poco tiempo para hacer esto. La anchura de la lumbrera se convierte en factor importante para acelerar la precompresión, pero existen importantes limitaciones físicas que impiden hacer esto.

En primer lugar, los segmentos no tienen una vida suficiente cuando se agrandan demasiado las ventanas de las lumbreras, porque cuanto menos apoyo reciben, más sobresalen hacia fuera al pasar por delante de la lumbrera, y más golpean el borde superior de la misma al subir el pistón. Aunque esto no los estropee, el movimiento constante de salir y entrar en la ranura del pistón ocasiona rozamientos entre el pistón y el segmento, y entre el segmento y su clavija. Esto puede causar desgastes, que a su vez originarán vibraciones de los segmentos, o puede aflojar la clavija, que se puede llegar a caer; ambas cosas originarán una avería en poco tiempo.

Los avances constantes en la fabricación de segmentos y en los materiales de los mismos han permitido anchuras de lumbreras cada vez mayores (véase "segmen-

tos'', en el capítulo 6) y el límite práctico para los motores de carreras es de entre el 70 y el 80% del calibre del cilindro, para las lumbreras que no estén puenteadas. Si se pasa de este nivel, se acorta tanto la vida de los segmentos que no vale la pena. Ya a dicho nivel, que deja sin apoyo un sector de segmento de 90° , tampoco durarán mucho los segmentos. Hasta hace poco tiempo, los motores tenían que utilizar lumbreras de escape de forma elíptica para conseguir esta anchura, y que los segmentos durasen por lo menos toda una carrera. Ahora, la tecnología de los segmentos permite que se utilicen lumbreras rectangulares, de mayor superficie, aunque (como en el caso del borde superior) una pequeña curvatura de los lados sera buena para el segmento, así como un redondeado con radio generoso de la esquina de la ventana, donde se unen el borde superior al lateral.

Se puede puentear la lumbrera, para que el segmento se apoye sobre el puente y permitir así anchuras superiores, pero esta solución no es demasiado satisfactoria, porque el puente se calienta mucho y es probable que al dilatarse haga presión sobre la falda del pistón, y origine un agarrotamiento (gripado). Se suele dar forma a los puentes para que curven alejándose del pistón, pero sea como sea, sólo el fabricante puede hacerlo.

No es sólo la vida de los segmentos lo que determina la anchura de las lumbreras de escape. La segunda limitación la marca la proximidad de las lumbreras de carga. Cuanto más cerca estén los bordes de las lumbreras, más fácil es que se pierdan gases de carga por la lumbrera de escape, sobre todo a regímenes bajos cuando hay más tiempo de que sucedan esas cosas.

En algunos motores, la lumbrera de escape se extiende sobre la parte superior de las lumbreras de carga, con forma de T o de cuña, más ancha en su parte superior que en su parte inferior. Otra posibilidad es utilizar una lumbrera normal, de forma rectangular, con orificios a ambos lados, al nivel del borde superior, que conecten directamente con la lumbrera de escape. Lo que se pretende es acelerar el proceso de precompresión, de forma que se pueda retrasar el reglaje del escape para mantener una banda ancha de potencias.

La precompresión debe hacer que la presión del cilindro sea menor que la del cárter antes de que se puedan abrir las lumbreras de carga, de forma que, para conseguir unos resultados óptimos, se deben reglar con mucho cuidado el escape y la carga, de forma combinada.

Si se abren demasiado pronto las lumbreras de carga, no saldrán bien los gases frescos por las mismas; pueden mezclarse los gases frescos con los quemados; el cárter puede recibir presión por los gases quemados, lo que aumentará la presión bajo el pistón y elevará las pérdidas del motor por bombeo. Por lo tanto, se pueden producir una serie de pérdidas de potencia óptima si se abren demasiado pronto las lumbreras de carga; pero sólo en la banda de potencia. A regímenes menores, la presión del cilindro no será tan grande, y el proceso de carga y barrido de gases puede empezar antes. A esto se debe que un aumento de la duración de la carga pueda mejorar la potencia a regímenes medios.

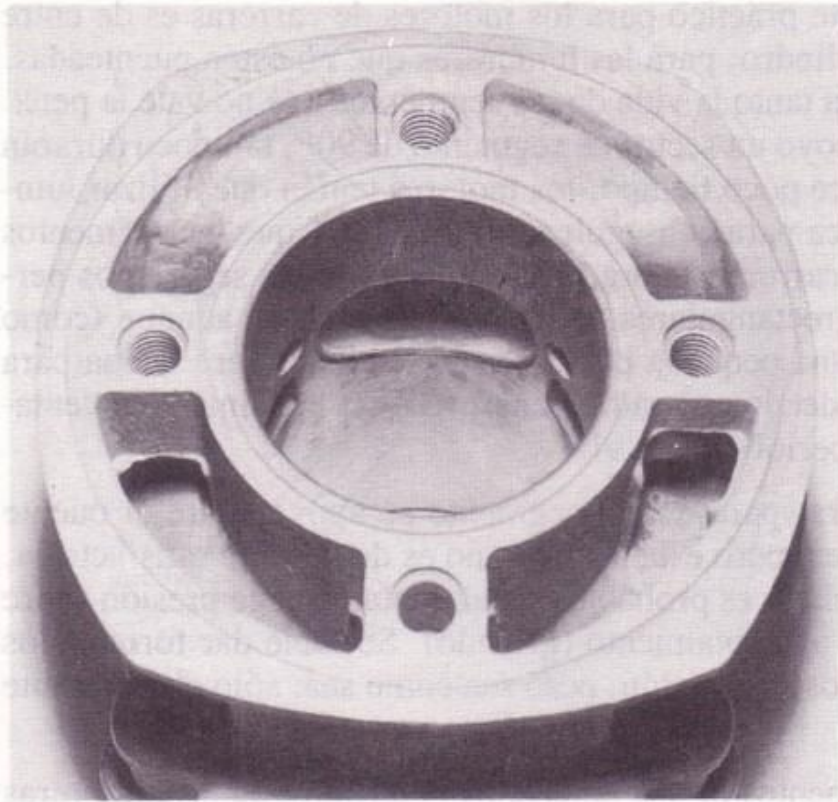


Fig. 32. Cagiva abrió dos orificios a cada lado de la ventana de la lumbrera de escape.

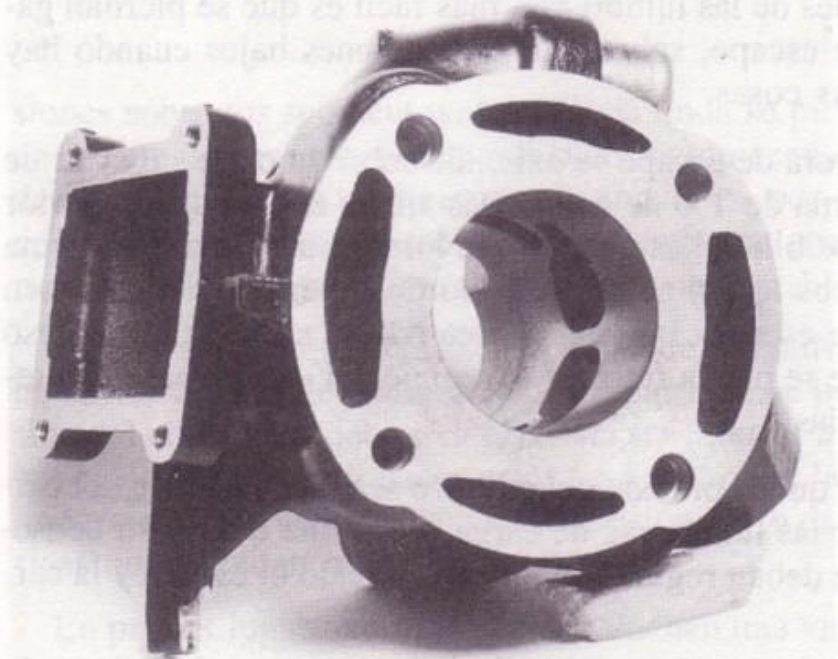


Fig. 33. El motor Kawasaki KX80 permite que la lumbrera de escape pase por encima de las de carga.

Tanto el reglaje de la carga como el del escape son básicamente simétricos con respecto al p.m.s., por lo que las cotas de apertura también determinan las cotas de cierre. (Algunos motores tienen pistones descentrados o cilindros descentrados, lo que tiene como consecuencia que la posición de las lumbreras sea muy ligeramente asimétrica con respecto al p.m.s.)

Lo ideal sería que se cerrase la lumbrera de carga cuando ya no puedan venir más gases del cárter. Si se abre antes la admisión, se puede alargar este período; la llegada de una onda de presión muy baja a la lumbrera de escape también puede mejorar el flujo desde el cárter, pero se corre el serio peligro de que los nuevos gases del cilindro salgan por el escape. Hay un período en que están cerradas las lumbreras de admisión y sigue abierta la de escape, mientras sube el cilindro en el tiempo de compresión.

Fig. 34. Relación entre duración del escape y velocidad de giro del cigüeñal a la que se produce la potencia máxima.

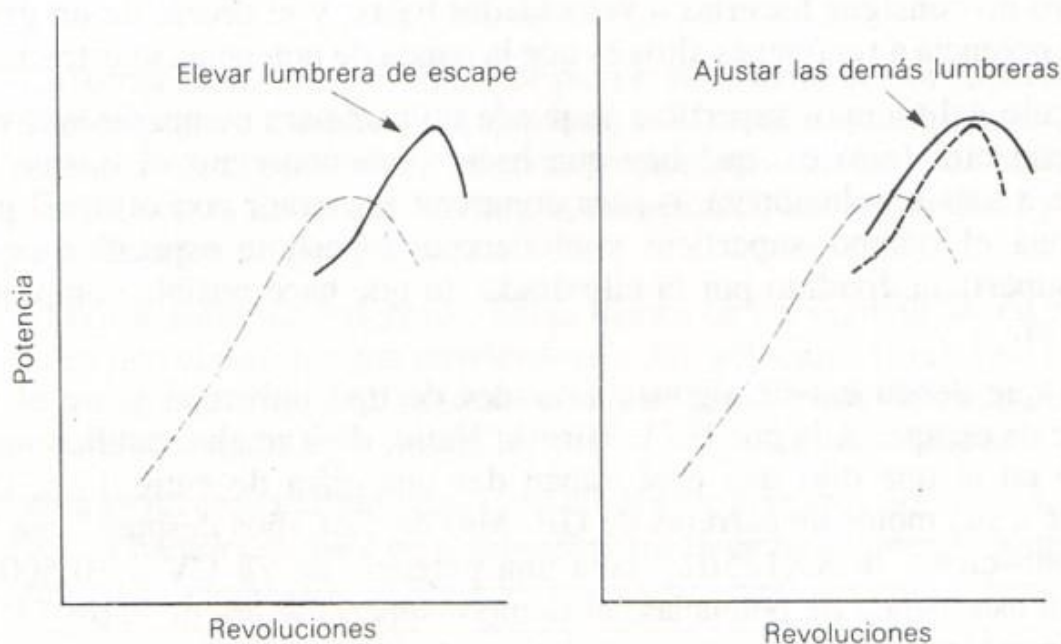
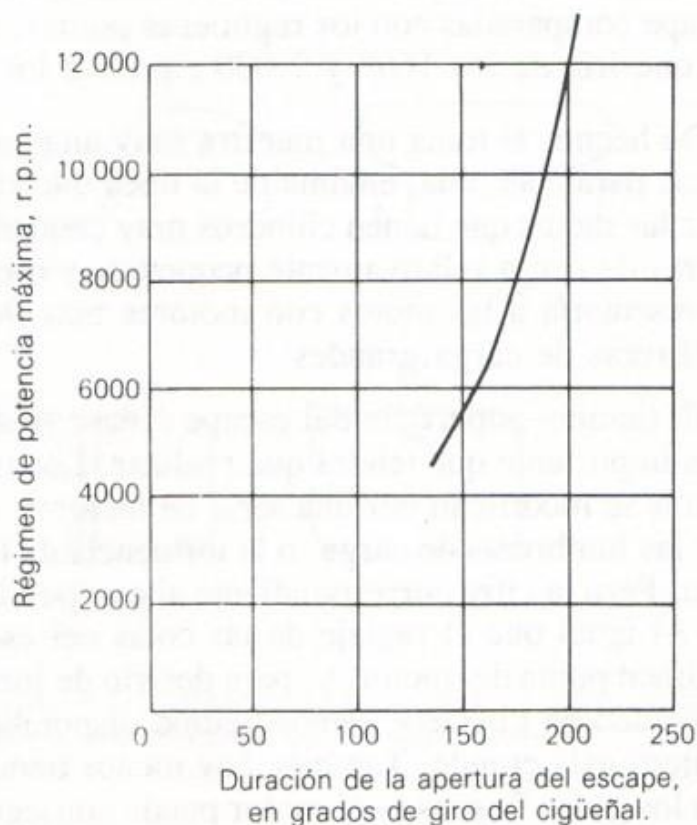


Fig. 35. Efecto general de elevar el borde superior de la lumbrera de escape, por sí sólo (*izquierda*) o conjuntado con otras modificaciones (*derecha*).

Durante dicho período, hay tiempo de perder nuevos gases o, si llega una onda de presión alta a la lumbrera de escape, de impedir la pérdida de gases frescos, o quizás incluso de persuadir a parte de los gases del escape a volver al cilindro. Es evidente que se deben equilibrar con exactitud la generación y el reflejo de las ondas en el sistema de escape con el momento de cierre de la lumbrera de escape.

El reglaje (o duración) del escape dependen en gran medida del régimen. Si toma una muestra al azar de motos de dos tiempos y traza un gráfico de duraciones del escape comparadas con los regímenes puntas, obtendría una línea más o menos recta, que iría de los 166° y 7.000 r.p.m. a los 200° y 12.000 r.p.m.

De hecho, si toma una muestra muy amplia, su gráfico acabaría mostrando tres líneas paralelas: una, encima de la línea que acabamos de mencionar, correspondería a las motos que tienen cilindros muy pequeños/bandas de potencia estrechas/lumbreras de carga relativamente pequeñas, y otra línea por debajo de la primera que representaría a las motos con motores más flexibles, mayores, y a las que tienen lumbreras de carga grandes.

El tiempo—superficie del escape (véase Apéndice) es, probablemente, el cálculo más importante que tendrá que realizar. Los tiempos—superficie de las demás lumbreras se modifican por una serie de factores, como la dirección del flujo que entra por las lumbreras de carga, o la influencia de las válvulas de láminas sobre la admisión. Pero la cifra correspondiente al escape marca las características de toda la moto. Al igual que el reglaje de las cotas del escape, depende muy directamente del régimen punta del motor, y, para decirlo de forma sencilla, quiere decir que a mayor velocidad de giro hay menos tiempo disponible, por lo que los gases necesitan un agujero más grande. También hay menos tiempo para que se contaminen o se pierdan los gases frescos, y el motor puede conseguir hacer cosas que parecen muy difíciles. Pero no consigue hacerlas a velocidades bajas, y el precio de un gran incremento de potencia a regímenes altos es que la banda de potencias se estrecha mucho.

El cálculo del tiempo—superficie se puede utilizar para comparar una velocidad de giro con otra (esto es, qué hay que hacer para conseguir el mismo tiempo—superficie a más revoluciones), o para comparar un motor con otro. El programa proporciona el tiempo—superficie y el tiempo—superficie específico, que es el tiempo—superficie dividido por la cilindrada, lo que hace posible comparar motores entre sí.

Parece que deben existir algunas verdades de tipo universal sobre el tiempo—superficie de escape. Allá por 1971, Hiroshi Naito, de Yamaha, publicó un artículo científico en el que dijo que procuraban dar una cifra de entre 14 y 15×10^{-3} s—mm²/cc a sus motos de carreras de GP. Más de diez años después, una Kawasaki de moto—cross, la KX125B2, daba una potencia de 28 CV a 10.500–10.700 r.p.m.; en esta banda de potencias, el tiempo—superficie era de entre 14.7 y 15.5×10^{-3} s—mm²/cc. Las proporciones relativas de los tiempos—superficies de admisión, carga y escape determinan las características de potencia del motor. Podríamos aspirar como objetivo razonable a unos valores de entre 17 y 21 para la admisión,

16 a 18 para el escape y 11 a 12 para la carga, acercándonos a los mismos a pequeños pasos y ajustando las proporciones para conseguir las características deseadas.

La figura 36 muestra diversas configuraciones de lumbreras de escape; en cada caso, se debe bajar el borde inferior de forma que coincida con la altura del pistón en el p.m.i.; a ser posible, que coincida con el borde superior del segmento superior, aunque esto hará que se recaliente más el intervalo entre la cabeza y el segmento superior. Todos los bordes deben estar achaflanados, como se dijo en el capítulo 2.

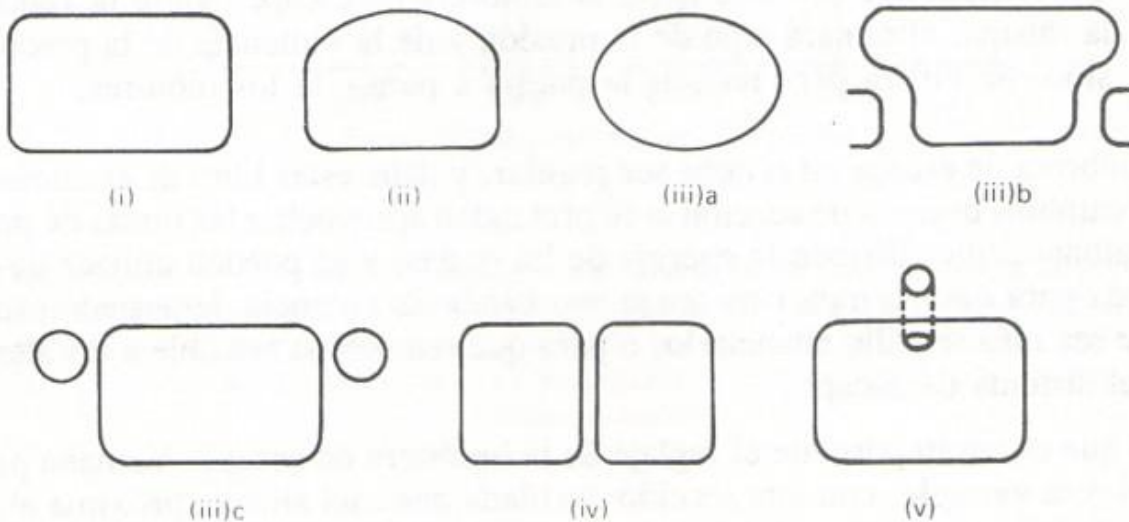


Fig. 36. Se utiliza toda una gama de formas en las ventanas de las lumbreras, para conseguir la máxima superficie con el mínimo desgaste de los segmentos.

- (i) La forma rectangular es la mejor para conseguir la mayor superficie y rendimiento, pero también es la que hace sufrir más a los segmentos. El borde superior recto genera las ondas de presión más fuertes. Los bordes redondeados son la única concesión a la duración de los segmentos, y deben tener un radio de por lo menos 4mm.
- (ii) El borde superior progresivo exige menos de los segmentos, en el momento en que el pistón sigue moviéndose a alta velocidad (lo que no sucede con el borde inferior), y no produce ondas de presión tan violentas. Esta forma puede repartir más la potencia, y será más fácil de silenciar.
- (iii)a. Este es un caso extremo de cómo conseguir la mayor abertura de lumbrera con el menor desgaste de segmentos. No tiene tanto tiempo—superficie como (i) ni como (ii).
- (iii)b. Combinando (i) y (iii)a, cuando las lumbreras de carga impiden que se abra más la lumbrera de escape, esta distribución acelera el período de precompresión.

- (iii)c. Incluso cuando la lumbrera tiene su anchura máxima, se puede conseguir una precompresión más rápida de esta manera. Los orificios (que *deben* tener forma elíptica cuando se pasan a una hoja de papel) se perforan directamente hacia la lumbrera de escape. Es posible que se caliente demasiado la camisa en la zona.
- (iv) Una lumbrera puenteada brinda apoyo al segmento, y permite una amplitud mucho mayor de la lumbrera, pero el puente se tiende a calentar demasiado y puede causar agarrotamientos.
- (v) Un orificio que conduce hasta la lumbrera de escape, sobre la ventana de la misma, eliminará algo de la presión y de la violencia de la precompresión. Se utiliza para reducir la puesta a punto de los motores.

La lumbrera de escape en sí debe ser regular, y debe estar libre de escalonamientos y de cambios bruscos de sección si se pretenden aprovechar las ondas de presión. Los escalonamientos disipan la energía de las ondas, y se pueden utilizar de forma deliberada para que un motor no tenga una banda de potencia demasiado estrecha, para que sea más sencillo silenciarlo, o para que sea menos sensible a las alteraciones en el sistema de escape.

Dado que es tan importante el reglaje de la lumbrera de escape, Yamaha preparó una lumbrera variable, con una sección perfilada que está situada próxima al borde superior de la ventana. Cuando gira el rotor, tiene el mismo efecto que si se elevara o se bajara el borde superior de la lumbrera. Este se controla por un pequeño motor, activado por un elemento detector de la velocidad de giro, que eleva la válvula a velocidades altas y la baja para disponer de flexibilidad en las bajas.

Las curvas de par motor de la figura 37(b) ponen de manifiesto con exactitud el efecto en cuestión tal como se midió en el motor Yamaha RD350F. Se aprecia un incremento notable del par motor por encima de 6.500 r.p.m. cuando se eleva la

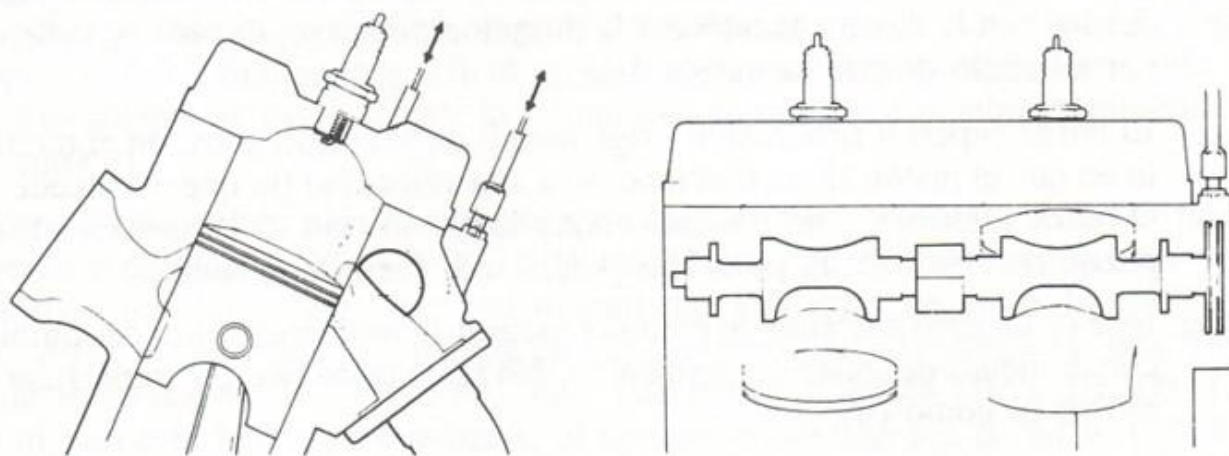


Fig. 37(a). La válvula de potencia de Yamaha. Es un mecanismo giratorio que eleva o baja el borde superior de la lumbrera de escape, en función de las revoluciones del motor.

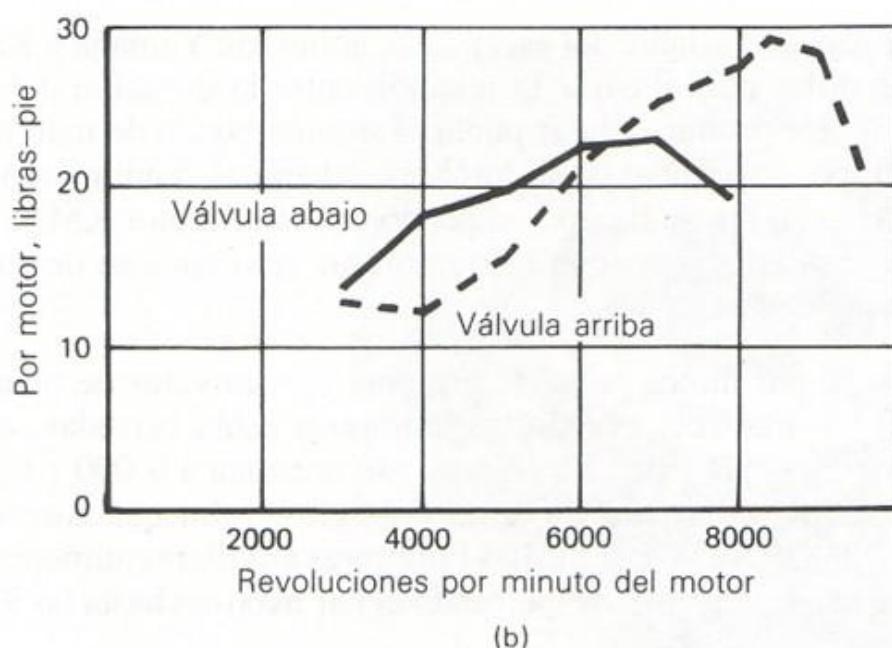


Fig 37(b). Curvas de par motor de un motor Yamaha RD350F, con la válvula de potencia fijada en la posición hacia abajo (línea continua) y en la posición hacia arriba (línea de puntos). Cuando la válvula actúa normalmente, su mecanismo la hace girar al llegar a la zona entre 6.000 y 6.500 r.p.m. Por debajo de 6.200, el par seguiría la línea continua; por encima, seguiría la línea de puntos.

válvula, acompañado de una pérdida de par motor por debajo de este régimen; se recupera al bajar la válvula.

Suzuki creó un mecanismo que separaba más la válvula del pistón, y hacía que diese a un compartimento cerrado que hacía de cámara de resonancia (véase la figura 39a). El sistema de escape sólo aporta ventajas en una banda muy estrecha de revoluciones; cuando se cierra el paso a la cámara, se permite que el escape apoye el par motor a altas revoluciones; cuando se abre el paso a la cámara se evita este efecto, y se evitan también los efectos que traerían consigo una caída del par motor a regímenes bajos; por ello, cuando se abre el paso a la cámara a regímenes bajos, se produce un útil incremento del par motor, tal como se ilustra en la figura 39(b).

En Kawasaki combinaron ambos mecanismos, tal como se muestra en las figuras 39(c) y 39(d). En este sistema existen dos lumbreras auxiliares de escape, que se abren antes que la principal. Estas dos lumbreras auxiliares están provistas de unas válvulas que giran por un mecanismo de piñones y cremallera controlado por un sencillo regulador centrífugo. A regímenes de giro elevados el mecanismo abre las lumbreras auxiliares, aumentando así el tiempo-superficie del escape y su duración. A regímenes bajos se cierra el paso de las lumbreras, y una de las válvulas abre paso al conducto principal de escape a un compartimento de resonancia cerrado.

Cuando se abren las lumbreras adicionales, se produce un incremento de par motor por encima de las 7.000 r.p.m.; cuando están cerradas, el incremento se produce por debajo de las 6.000 r.p.m.

Los sistemas de reglaje variable del escape que aplicaron Yamaha y Kawasaki nos sirven de modelos útiles para ilustrar la relación entre la duración del escape y el régimen al que el motor produce el par punta. También ponen de manifiesto la manera en que el tiempo—superficie de la lumbrera afecta al rendimiento del motor. La tabla 4.3 muestra valores de tiempo—superficie para el motor KMX125, además del par motor que se producía cuando las lumbreras auxiliares se dejaban fijas, en la posición abierta o en la cerrada.

En ambos casos, el par motor punta se presenta con un valor de tiempo—superficie de $18.5 \times 10^{-3} \text{ s—mm}^2/\text{cc}$; cuando las lumbreras están cerradas, este valor se presenta a 7.000 r.p.m.; cuando están abiertas, se presenta a 9.000 r.p.m. La lumbrera principal está abierta durante 176 grados de giro, valor que corresponde a un par máximo entre 7.000 y 8.000 r.p.m. Las lumbreras auxiliares aumentan esta apertura hasta unos 190 grados de giro, desplazando el par máximo hasta las 9.000 r.p.m.

Cuando los valores de tiempo—superficie caen por debajo de 14×10^{-3} , la potencia al freno cae mucho: el escape no está abierto el tiempo suficiente para que el motor funcione adecuadamente. Cuando el tiempo—superficie es demasiado elevado (valores muy por encima de 30×10^{-3}) la potencia también cae, porque ahora los gases frescos tienen mucho tiempo de perderse por el escape, o los gases del escape tienen tiempo de volver al cilindro. Entre estos extremos, el motor produce su banda de potencias normal, como muestran las curvas de par motor.

También se aprecia el efecto del sistema de escape. Existe algo, cabe suponer que el escape, que limita al motor en la zona de las 6.000 r.p.m.; funciona bien entre 4.000 y 5.000, y también en la zona entre 7.000 y 8.000 r.p.m. Cuando se cierran las válvulas, se abre la cámara de resonancia, y esto tenderá a neutralizar el efecto del escape, de tal manera que la curva de par motor que se obtenía con las válvulas cerradas no aprovecha los efectos beneficiosos de la zona entre 8.000 y 9.000 r.p.m. Sin el sistema de escape, el flujo de gases y el par motor se deben corresponder con el tiempo—superficie. Cuando el tiempo superficie es de 18.5×10^{-3} , el par motor es de 67.5 newtons—metro cuando las lumbreras auxiliares están cerradas. Cuando está abiertas, el mismo valor de tiempo—superficie se trasladó a un régimen mayor, de 9.000 r.p.m. Si a este régimen se hubiera producido el mismo flujo de gases, el par motor hubiera sido también de 67.5 newtons—metro (con mayor potencia, dada la mayor velocidad de giro del cigüeñal). Pero el par motor todavía aumenta más, hasta 79 newtons—metro, porque el motor está funcionando en la zona de resonancia del sistema de escape.

Es probable que la caída repentina de la potencia al freno por encima de las 9.000 r.p.m. esté diseñada de forma deliberada, para que no se haga funcionar el motor a un exceso de revoluciones; todavía queda tiempo—superficie para obtener más de 60 newtons—metro de par motor a 10.000 r.p.m. El hecho de que el motor esté produciendo mucho menos que esto indica que existe algo más que está produciendo una restricción bastante aguda; puede estar en la admisión, en el diseño del escape, en el reglaje del encendido o en una combinación de todos estos factores.

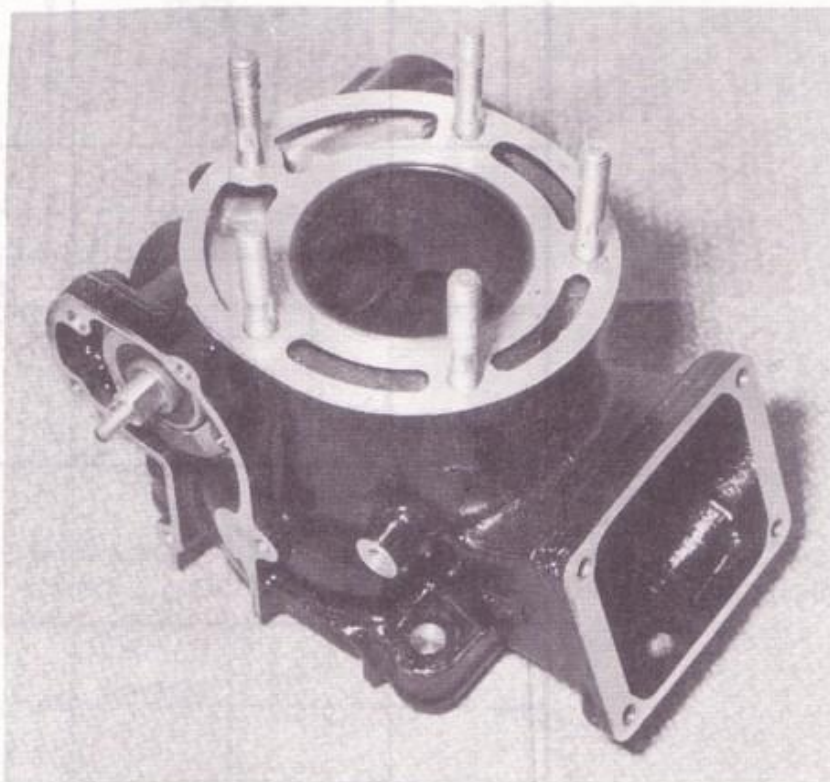


Fig. 38. La válvula de potencia de Yamaha.

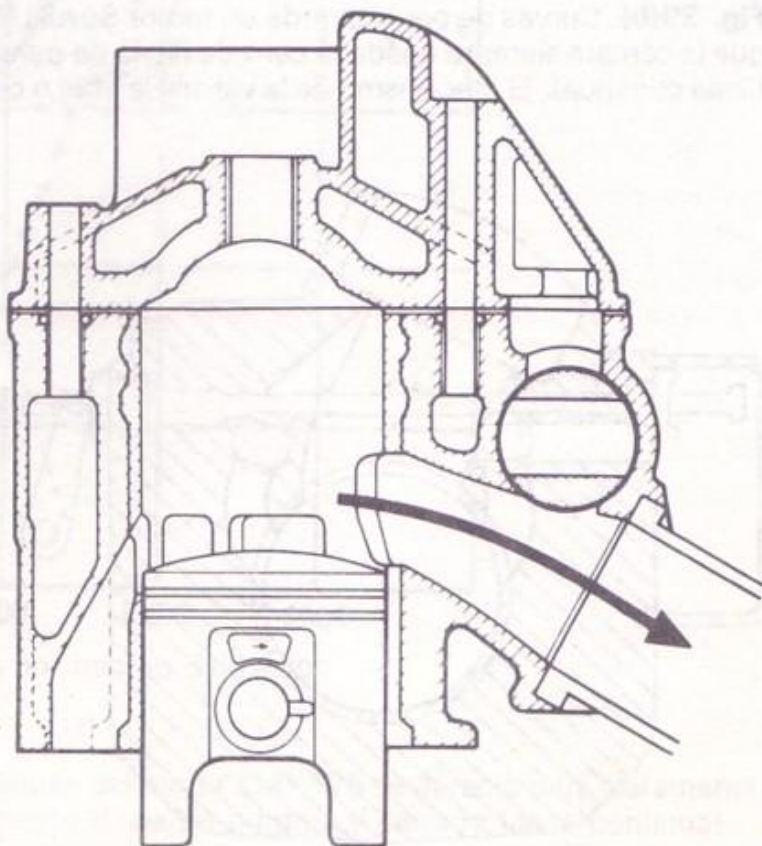


Fig. 39(a). La Suzuki utilizó un mecanismo giratorio para abrir una cámara de escape adicional.

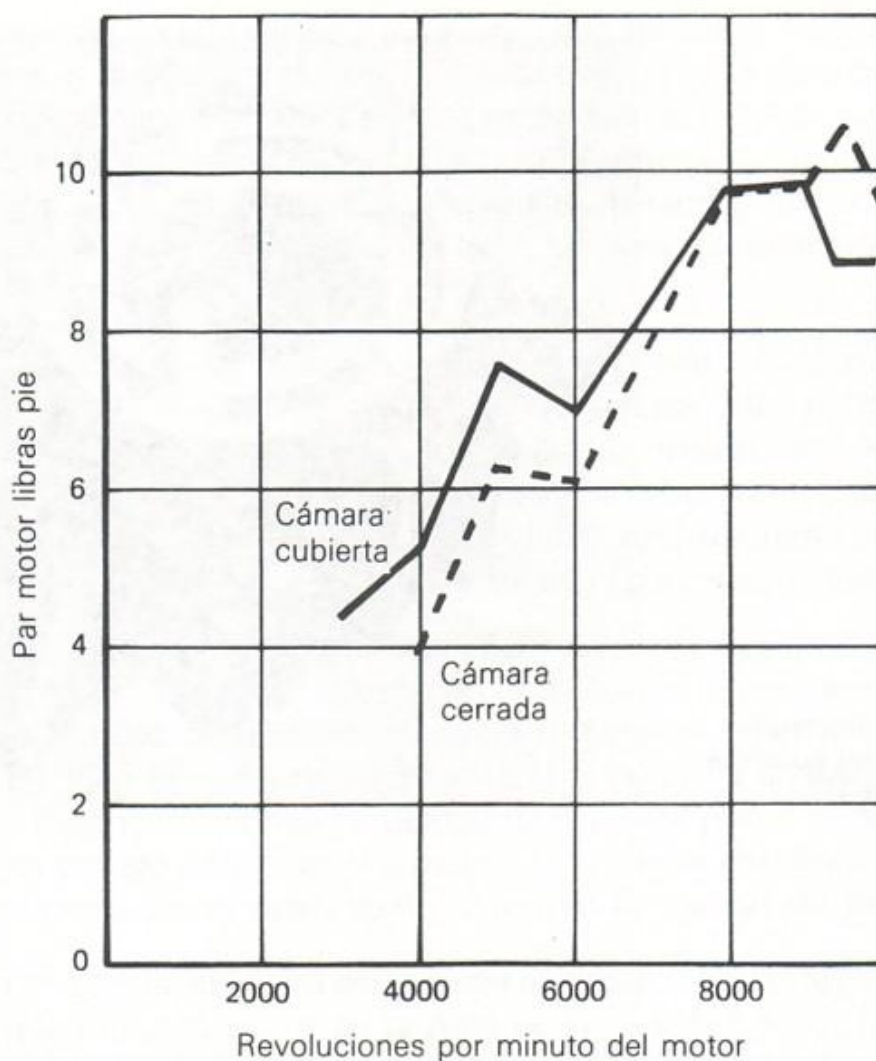


Fig. 39(b). Curvas de par motor de un motor Suzuki RG125, con la válvula fijada de tal manera que la cámara siempre quedaba cerrada (línea de puntos) o fijada con la cámara siempre abierta (línea continua). El mecanismo de la válvula la abre o cierra en la zona entre 8.000 y 8.500 r.p.m.

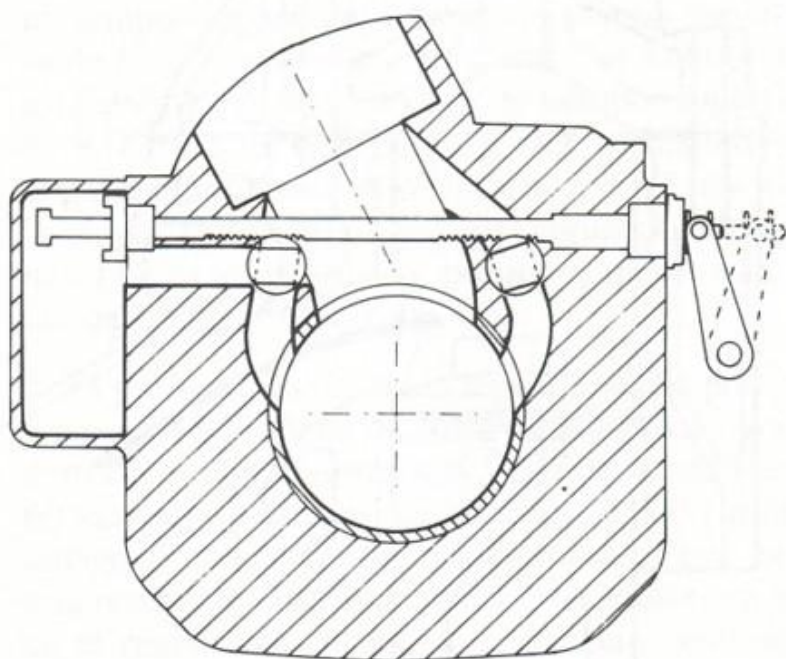


Fig. 39(c). En Kawasaki desarrollaron un sistema con dos lumbreras de escape auxiliares controladas por unas válvulas que se abrían con un sistema de piñón y cremallera que se accionaba por un regulador centrífugo cuando la velocidad de giro del motor alcanzaba un nivel dado. Además de afectar al tiempo-superficie de escape, una de las válvulas también daba paso a una cámara de resonancia de escape, para mejorar el par motor a regímenes bajos.

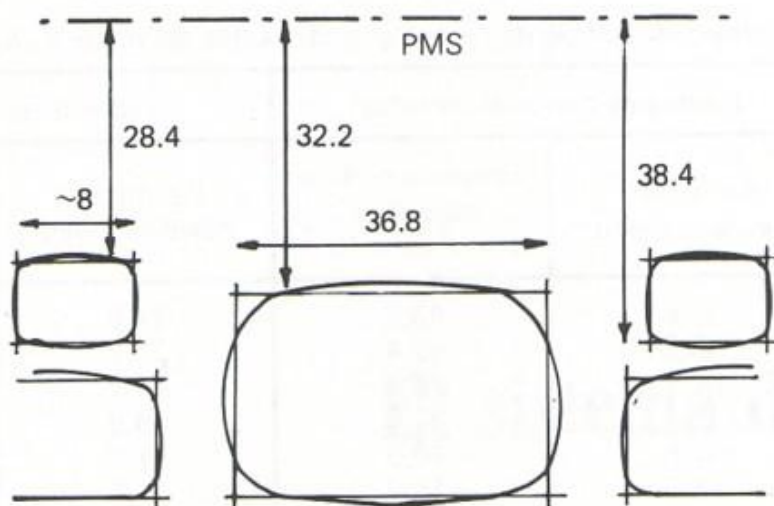
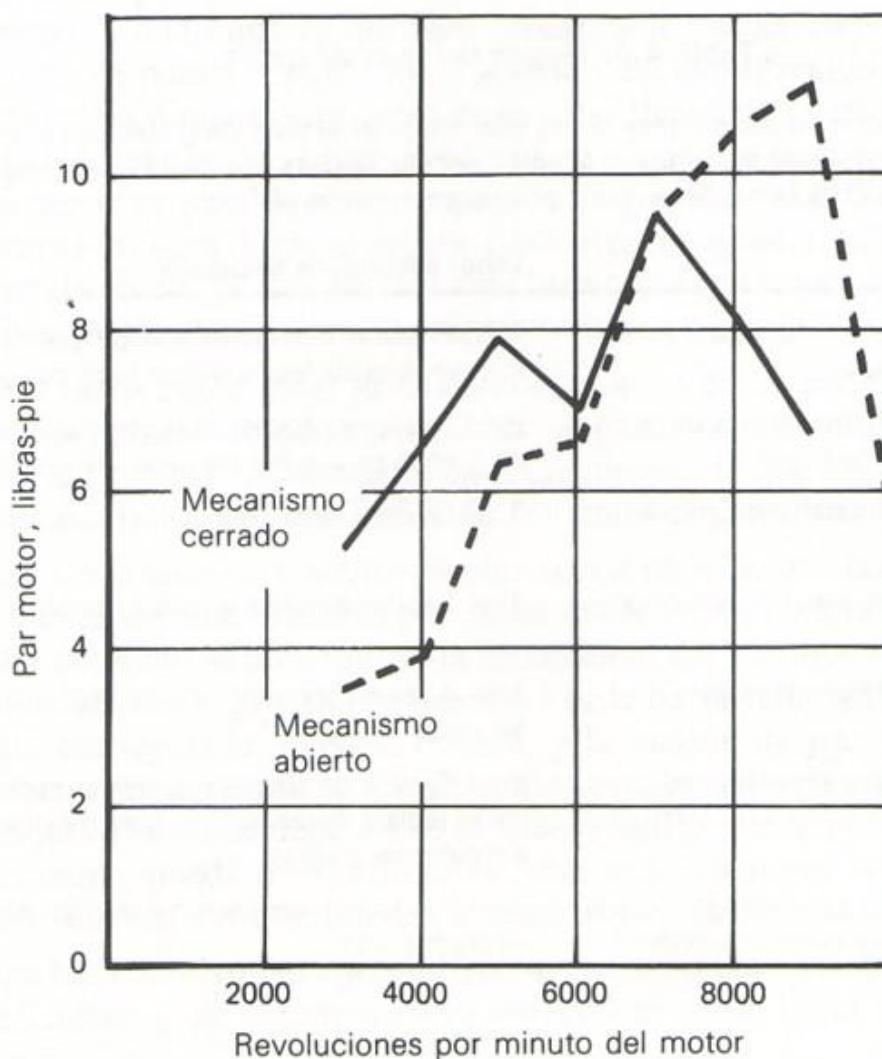


Fig. 39(d). Diagrama de las lumbreras de la Kawasaki KMX125, que pone de manifiesto cómo el escape principal está apoyado por dos lumbreras auxiliares, que no sólo añaden superficie sino que se abren antes.



(e)

Fig. 39(e). El efecto de las lumbreras auxiliares del motor KMX125 se aprecia muy claramente en estas pruebas con el mecanismo abierto (línea de puntos) y cerrado (línea continua)

Tabla 4.3. Tiempo–superficie de escape y rendimientos del motor Kawasaki KMX125

R.p.m.	Lumbreras auxiliares cerradas		Lumbreras auxiliares abiertas	
	Par motor, newtons-metro	Tiempo-superficie específico, s-mm ² /cc x 10 ⁻³	Par motor, newtons-metro	Tiempo-superficie específico s-mm ² /cc x 10 ⁻³
3000	37,6	43,2	24,9	52,2
4000	46,9	32,4	27,7	41,4
5000	56,1	26,0	44,7	33,1
6000	49,7	21,6	46,9	27,6
7000	67,5	18,5	67,5	23,7
8000	58,2	16,2	74,5	20,7
9000	47,6	14,4	78,8	18,4
10000	—	13,0	41,2	16,6

Tabla 4.4. Mejora del flujo de gases.

Esta tabla indica la serie de pasos necesarios para mejorar el flujo de gases por el motor, dentro de unos límites de revoluciones dados, y la labor necesaria para que cada paso tenga un resultado equilibrado (aproximadamente al principio, exactamente al final)

Paso principal	Labor secundaria necesaria
1) Determinar tiempo–superficie para el régimen/potencia establecido	1)(a) Preparar sistema de escape que se ajuste a las nuevas velocidades, o utilizar tubo corto neutral
2) Ajustar el juego de lumbreras de carga con el período de precompresión	2)(b) Puede ser necesario repetir los pasos 1 a 4 poco a poco para evitar un desequilibrio total
3) Comprobar que no existan restricciones en el escape	3)(a) Cambio de chiclés
4) Eliminar restricciones o aumentar tiempo–superficie de admisión	4)(a) Cambio de chiclés, quizás cambio de escape
5) Aumentar relación de compresión	5)(a) Ajustar encendido, utilizar bujía más dura o bobina más adecuada
6) Desarrollar plenamente el sistema de escape	6)(a) Cambio de chiclés, puede ser necesario modificar el reglaje del encendido para mejorar la potencia a regímenes medios
7) Reglaje final y preciso del encendido, de la carburación a todo gas y con aceleración parcial	7)(a) Puede ser necesario mejorar la lubricación, el embrague, etc.

El sistema de escape

Dado que el escape tiene un efecto tan pronunciado sobre la potencia de las motos de dos tiempos, y dado que es tan fácil modificarlo, se ha convertido por sí solo en un elemento de puesta a punto muy popular. Se han ofrecido muchas fórmulas para determinar las dimensiones, pero todas ellas tienen que partir de supuestos sobre la velocidad del sonido dentro del flujo de gases, de forma que para lo único que pueden servir es para determinar puntos de partida desde los cuales se deben hacer experimentos para llegar al escape final. Resulta igual de sencillo tomar como punto de partida un escape que ya funcione bien con el motor en cuestión o con otro similar, e irlo mejorando a base de experimentos.

En algunos casos puede estar justificado el empleo de un escape neutro (un tubo sencillo, que es demasiado corto para tener ningún efecto en ninguna velocidad de toda la gama del motor) simplemente para asegurarse de que los efectos del escape no estén enmascarando los resultados de las pruebas con otros factores.

Los ensayos con un escape neutro pueden servir para ilustrar las ventajas que puede darnos el escape (¡que brillarán por su ausencia!). Si se altera la longitud del tubo, en algún momento se conseguirá un incremento del par motor, pero sólo en una banda de velocidades de giro muy estrecha. Puede hacer falta volver a reglar el carburador para conseguir la potencia óptima, y la mezcla irá muy rica a la potencia punta. Es decir, utilizará mucho combustible, pero no advertiremos más indicaciones de su riqueza. Ello se debe a que el tubo sencillo puede mejorar el barrido de gases del cilindro: puede mejorarlo tanto, que se pierdan por el escape gran parte de los gases frescos, sin que lleguen a quedarse en la cámara de combustión.

Un escape bien desarrollado puede hacerlo mucho mejor: puede cargar el cilindro de forma eficiente, y de alguna manera volver a empujar hacia atrás los gases que se hubieran perdido.

Para explicar esto, debemos asumir que el escape puede producir tanto altas como bajas presiones cerca de la lumbrera de escape, y que puede hacerlo de forma sincronizada con el ciclo de barrido de gases.

Los requisitos son bastante sencillos:

- *Durante la precompresión...* presión baja en la lumbrera de escape.
- *Durante el barrido de gases...* presión baja en la lumbrera de escape.
- *Antes de cerrar la lumbrera de carga...* presión mínima en la lumbrera de escape.
- *Después de cerrar la lumbrera de carga...* presión alta en la lumbrera de escape.

Como las ondas de alta presión se producen en el motor cada vez que se abre la lumbrera de escape, estas se reflejarían en forma de ondas de baja presión en un tubo abierto; si la onda originaria de alta presión siguiese su camino hasta chocar con una pared, ésta reflejaría una onda de alta presión, algún tiempo después de la de baja presión.

La cámara de expansión tradicional hace precisamente esto, empieza por un tubo sencillo que desemboca en un difusor: un tubo cuyo diámetro va aumentando. A cierta distancia, el tubo se va estrechando para formar una boquilla, con una tobera estrecha; el efecto estrangulador de la boquilla se supone debe reducir la velocidad de los gases y elevar su presión, y a partir de este cuello de botella se refleja una onda de alta presión que vuelve hacia atrás por el tubo.

Además de acertar en las longitudes relativas, para que el efecto se produzca al régimen adecuado, la cámara debe ser también capaz de soportar el flujo físico de los gases. También existe un par de factores añadidos. El sistema debe ser tal que se pueda instalar en la moto; debe ser capaz de soportar la carbonilla y el aceite líquido sin atascarse; debe también estar silenciado. Estos requisitos no son tan difíciles de cumplir: el sistema, más un silencioso eficiente, se pueden comprimir en una longitud compacta, y a las ondas de presión parece que no les importan las curvas y los recovecos tanto como los escalonamientos o cambios de sección repentinos de los tubos. El silenciamiento es relativamente sencillo, porque el sistema necesita algo de presión de retorno para funcionar, y no parece que le importe si ésta se debe a la restricción de un silencioso o a un estrechamiento del tubo de escape. Pero la cantidad de presión de retorno puede llegar a ser crítica, porque incrementará la temperatura de combustión, y demasiada presión puede hacer que se funda la cabeza del pistón.

Al haberse ido desarrollando las cámaras de expansión, dejando aparte las fórmulas originales que se utilizaron para su construcción, han salido a la luz algunos hechos notables. Las directrices que se derivan de estos hechos son tan eficaces para formarnos un punto de partida como pueda serlo otro método cualquiera. De modo que, partiendo de la cámara de expansión tradicional, que se muestra en la figura 40, existe un tubo de entrada sencillo, un difusor, una sección paralela, una boquilla y un tubo de escape. En las dimensiones que se indican, L representa las longitudes

medidas desde el pistón, A representa el diámetro (supongamos de momento que todos los tubos son de sección circular) y x representa el ángulo de estrechamiento del cono.

Longitud

Si la longitud del tubo $L1$ aumenta progresivamente a partir de un valor muy reducido, existe una zona en la que aumentan los CV, y vuelven a caer al ir aumentando dicha longitud progresivamente, y los incrementos ulteriores de longitud no tienen prácticamente ningún efecto. En la zona en que se aumenta la potencia, cuanto más corto sea el tubo, el aumento de potencia se realizará a más revoluciones. Por lo tanto, para modificar un sistema y conseguir que dé mejores resultados a regímenes más elevados, habrá que acortar la primera sección del tubo.

A pesar de esto, la mayor parte de los experimentadores parecen estar de acuerdo en el hecho de que la dimensión más importante es $L4$ (hasta el punto en que se refleja la onda de alta presión). Algunos insisten en que este punto está en realidad a la mitad de camino de la parte que forma la boquilla; otros introducen el tubo de escape en la boquilla para aumentar el efecto. Pero, en todo caso, los cambios de esta longitud general son los que originan un resultado más notable en el motor. De nuevo, la longitud más corta corresponde a un régimen más elevado.

Se han expresado varias opiniones sobre el efecto del tubo de escape propiamente dicho (el último tramo) pero parece que mientras la presión de retorno sea suficiente para que funcione el sistema y no sea tan elevada que se fundan los pistones, el tubo de escape en realidad no tiene relevancia. Desde luego, si se alarga mucho se aumentará su efecto restrictivo, pero cuando todo el sistema trabaje al unísono con el motor, los cambios pequeños en el tubo de escape no causarán diferencias perceptibles. En todo caso, en la mayoría de los sistemas está incorporado al silencioso, y es éste el que produce la presión de retorno.

Volumen

Parece justificado afirmar que los motores mayores/más potentes necesitan una cámara de mayor volumen, posiblemente porque el gas necesita poder expandirse antes de que se emboquille en el último tramo. Se ha descubierto que la parte cónica delantera, $x1$, tiene una importancia crítica. Debe tener un ángulo de conicidad no demasiado abierto, de no más de 15 grados. Quizás esto se deba a la necesidad de evitar turbulencias en el flujo de gases, o (más probablemente) para evitar la disipación de la onda de altas presiones de retorno, que evidentemente se debe dirigir hacia el tubo de entrada. Si la conicidad es demasiado brusca en este punto, o si el ángulo es demasiado abierto, todo el sistema empieza a comportarse como si se tratase de un tubo sencillo, neutro.

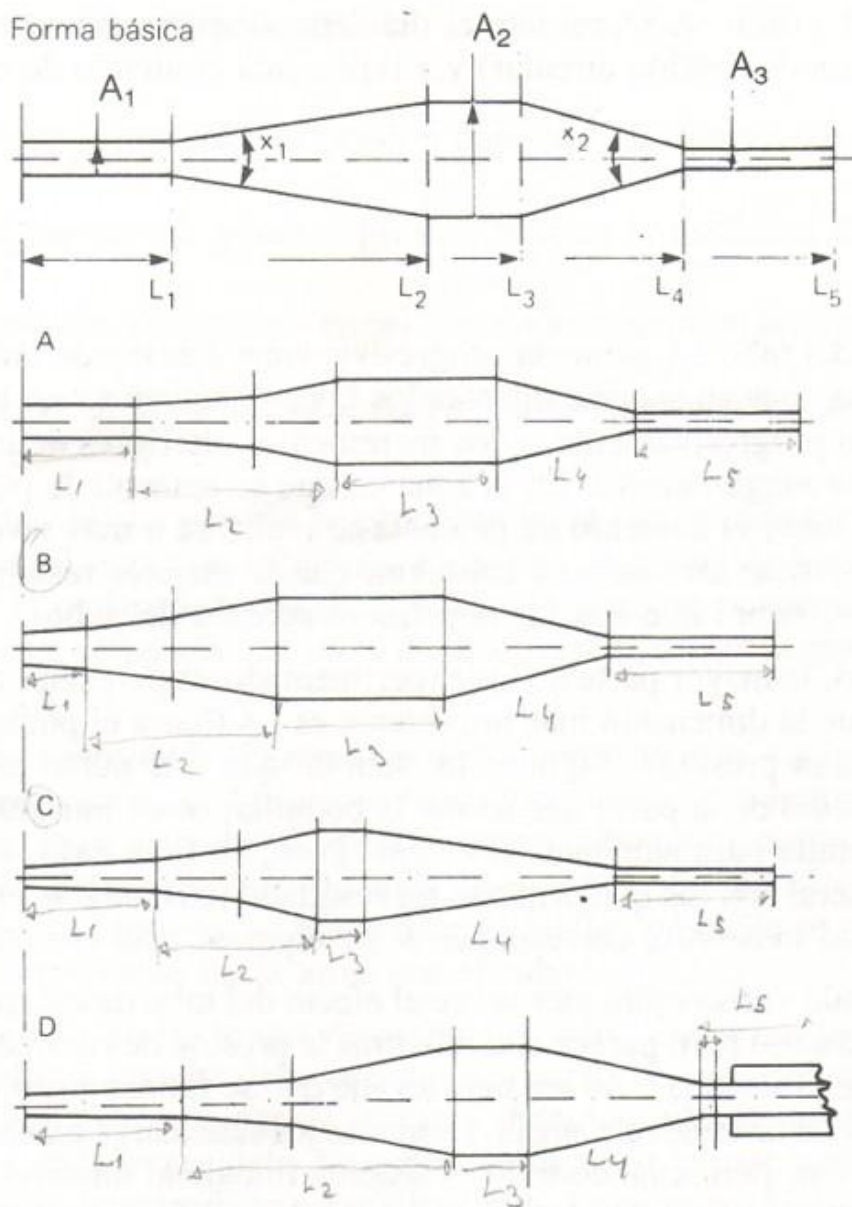


Fig. 40. Dimensiones básicas del sistema de escape con cámara de expansión, y variaciones posibles. El ángulo del difusor, X_1 , no debe ser demasiado abierto, porque de lo contrario la cámara empezaría a tener el mismo efecto de un tubo corriente. El sistema A utiliza dos ángulos diferentes en el difusor, lo que permite alcanzar el volumen adecuado con una longitud L_4 menor. El sistema B llega más lejos, y presenta una conicidad paulatina desde la misma lumbrera de escape: es más difícil de fabricar, pero en los motores muy puestos a punto es necesario. El sistema C tiene el mismo sistema de difusor cónico en toda su longitud, y además tiene un estrechamiento largo, de ángulo cerrado, para aumentar la banda de potencias. El sistema D sustituye el tubo de escape final por el primer elemento del silenciador; se puede hacer llegar el mismo hasta la zona de estrechamiento.

Si se utiliza un ángulo de conicidad cerrado y se pretende a la vez conseguir un gran volumen en la cámara, se puede acabar construyendo una cámara demasiado larga; por ello, algunos fabricantes han producido cámaras que tienen dos o incluso tres ángulos diferentes de conicidad. Mientras los cambios no sean demasiado brus-

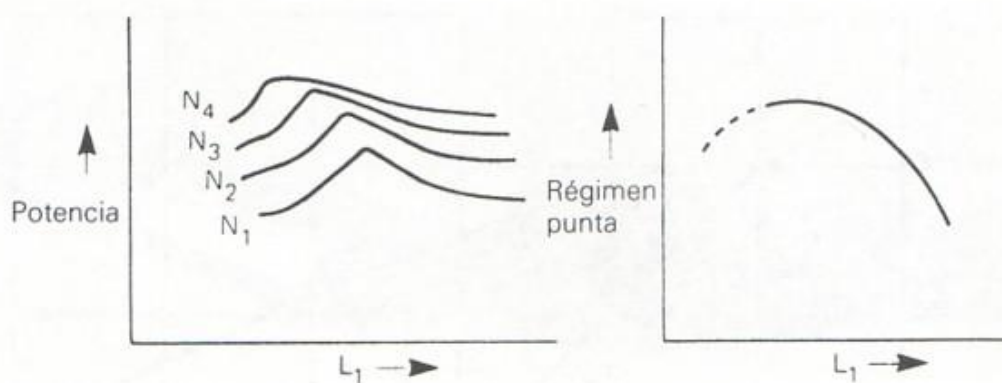


Fig. 41. Efectos de los cambios de longitud del tubo de entrada (A1). Izquierda: efecto sobre la potencia (N_1 = revoluciones bajas; N_4 = revoluciones altas). Derecha: efecto sobre el régimen al que se produce la potencia máxima. Algunos experimentos parecen indicar que un tubo de entrada muy corto y cónico en toda su longitud puede llegar a reducir el régimen punta (línea de puntos).

cos, esto parece que funciona, y consigue aportar el volumen necesario con una longitud mucho menor. Un volumen mayor tiende a desplazar el par motor punta hacia los regímenes menores.

El estrechamiento de la boquilla x_2 tiene un efecto bastante diferente al estrechamiento de la entrada x_1 . En el caso extremo, se convertiría en una chapa plana, es decir, que x_2 tendría 180° ; esto funcionaría si la longitud fuese la correcta, pero sólo en una banda de revoluciones estrechísima. Si se aplica un estrechamiento adecuado, se reduce su efecto sobre la potencia, pero se reparte mejor en una banda más ancha de revoluciones, hasta que si se convierte en un tubo de lados paralelos ($x_2 = 0$) entonces no tendría efecto alguno (pero lo tendría a *todos* los regímenes...)

Por tanto, un ángulo más abierto de emboquillamiento aumenta el efecto, pero lo aplica a una banda de revoluciones más estrecha. Esto puede hacer que la potencia caiga de forma más pronunciada después de llegar a su máximo, lo que se puede evitar a su vez con un ángulo más cerrado. En lo que se refiere a la sección paralela, es cuestión de adoptar la que sea más útil; cuando el difusor haya llegado a su volumen adecuado; lo único que hay que hacer es alargarlo para dar al emboquillamiento la longitud adecuada hasta la boquilla. Si se aumenta A_2 , dando un volumen mayor, se tiende a desplazar el par motor máximo hacia regímenes menores; un volumen más pequeño hace que se desplace hacia regímenes mayores. En las pruebas, estos cambios suelen ser muy pequeños: ya porque sean de suyo casi insignificantes (o incluso accidentales) o porque existe alguna otra característica del motor que desempeña un efecto más dominante. Es cierto que algunos motores responden mejor a dichos cambios que otros.

El desarrollo final, que es el más difícil de elaborar, consiste en reemplazar el tubo de entrada con un difusor que se vaya abriendo de forma regular en ángulo cerrado. Esto aumenta el efecto que el resto del sistema de escape tiene sobre el par motor máximo, y permite que se consigan los mismos resultados con un sistema un poco más corto.

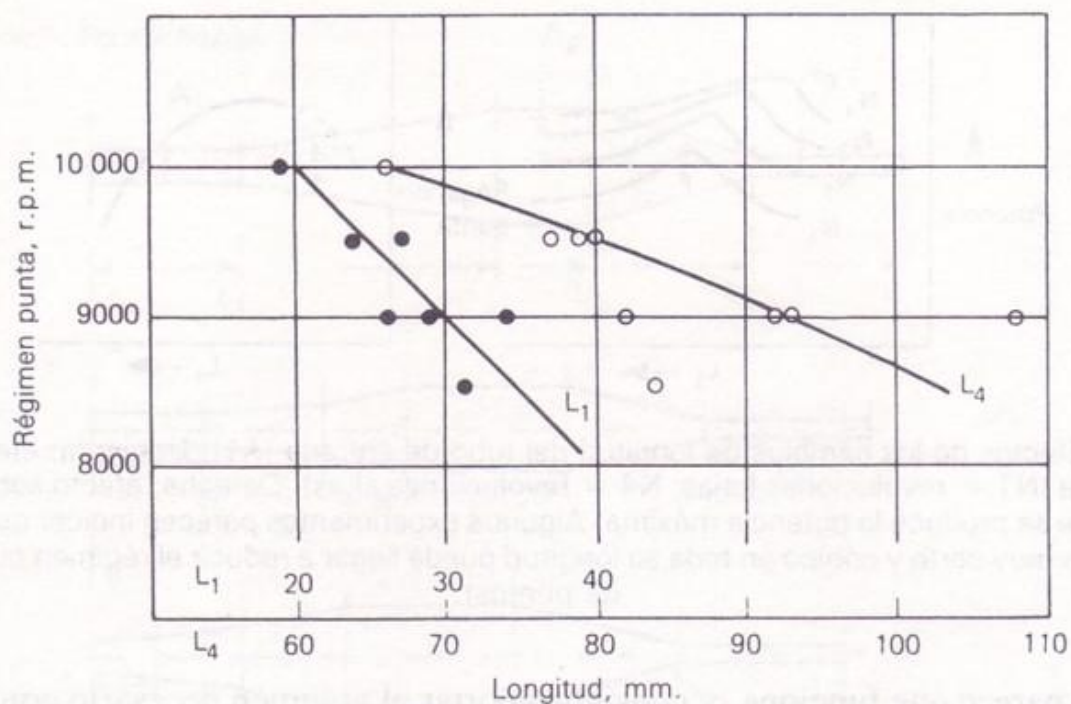


Fig. 42. Efecto de los cambios de las dimensiones L_1 y L_4 en experimentos prácticos sobre motores (ver Fig. 40). Los resultados presentan cierta dispersión, debida a (i) que los motores presentan diferentes niveles de puesta a punto, y (ii) que los cambios de longitud del sistema de escape pueden afectar a otras propiedades, por ejemplo, al volumen.

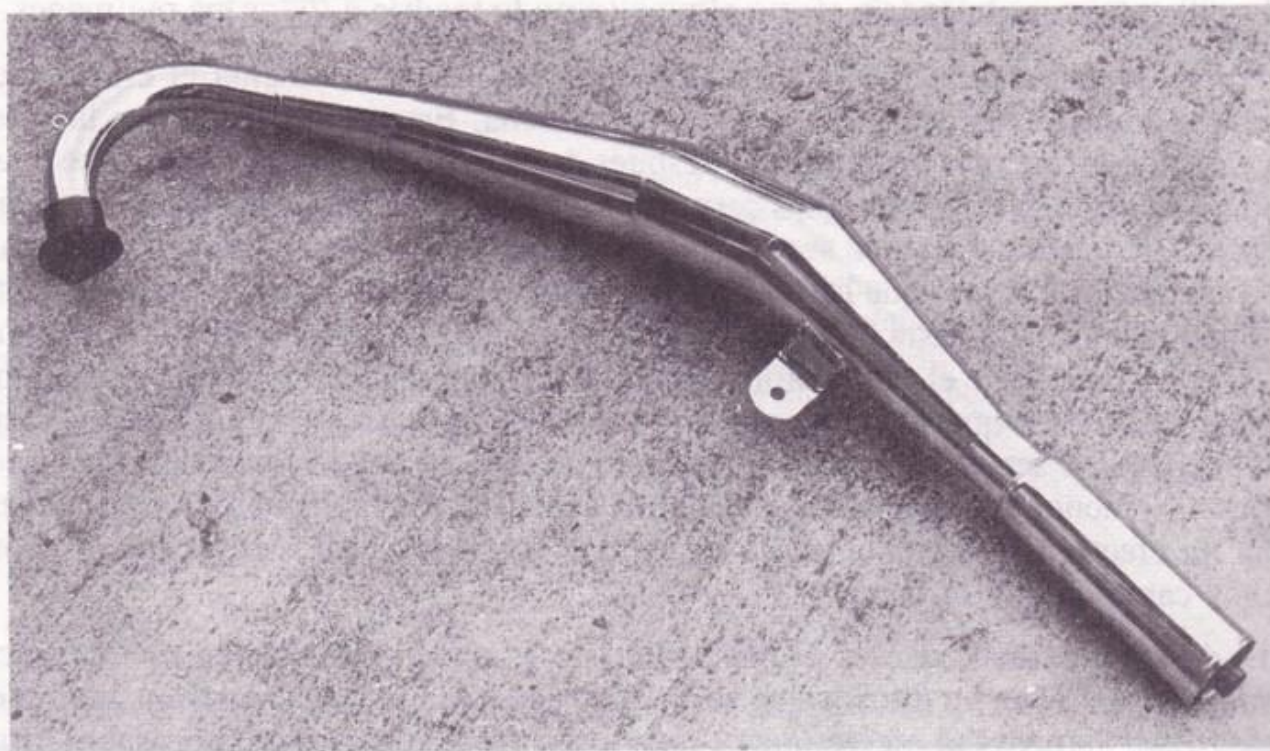


Fig. 43. Sistema de escape diseñado para una moto de carretera desarrollada.

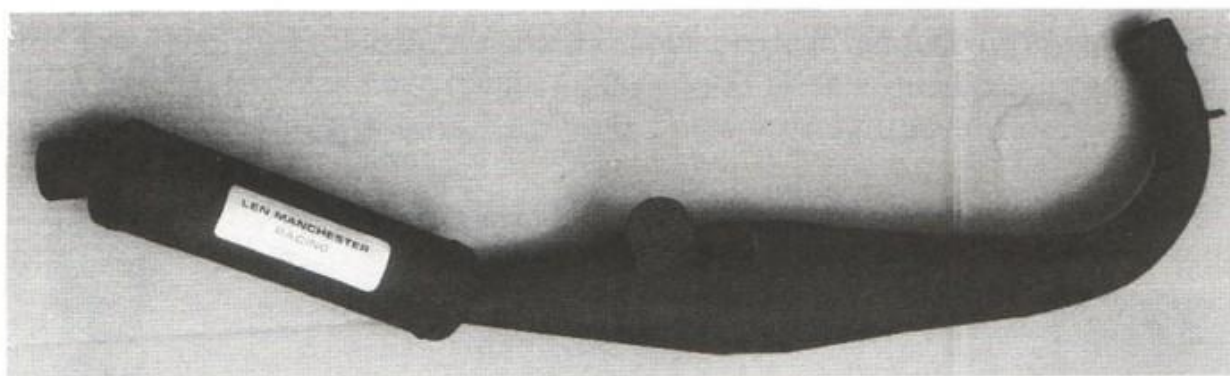


Fig. 44. Sistema de escape, diseñado para una moto de carreras de Fórmula 2.



Fig. 45. Moto del equipo Yamaha de las carreras de GP de 500 c.c. de 1985. Adviértase el sistema de escape de forma cónica en toda su longitud, y la forma complicada que se le tuvo que dar para poder instalarlo en la moto sin que se acercase demasiado al suelo y sin que aumentase la anchura total de la moto.

En cuanto se ha conseguido dar la longitud adecuada a un sistema de escape, se puede modificar con bastante éxito la cámara para conseguir que la curva de potencia esté a nuestra medida. A cambio de una ligera pérdida de potencia punta, el escape puede dar un empujón importante a la potencia a regímenes medios, o bien (y quizás sea su mayor utilidad) puede seguir produciendo potencia bastante después de haber llegado a la potencia punta de la máquina, en vez de permitir que la potencia caiga en picado. Esto puede ser útil porque hace que sea más sencillo el manejo de las marchas de la moto, y, en algunos circuitos, que sea más sencilla su conducción en general.

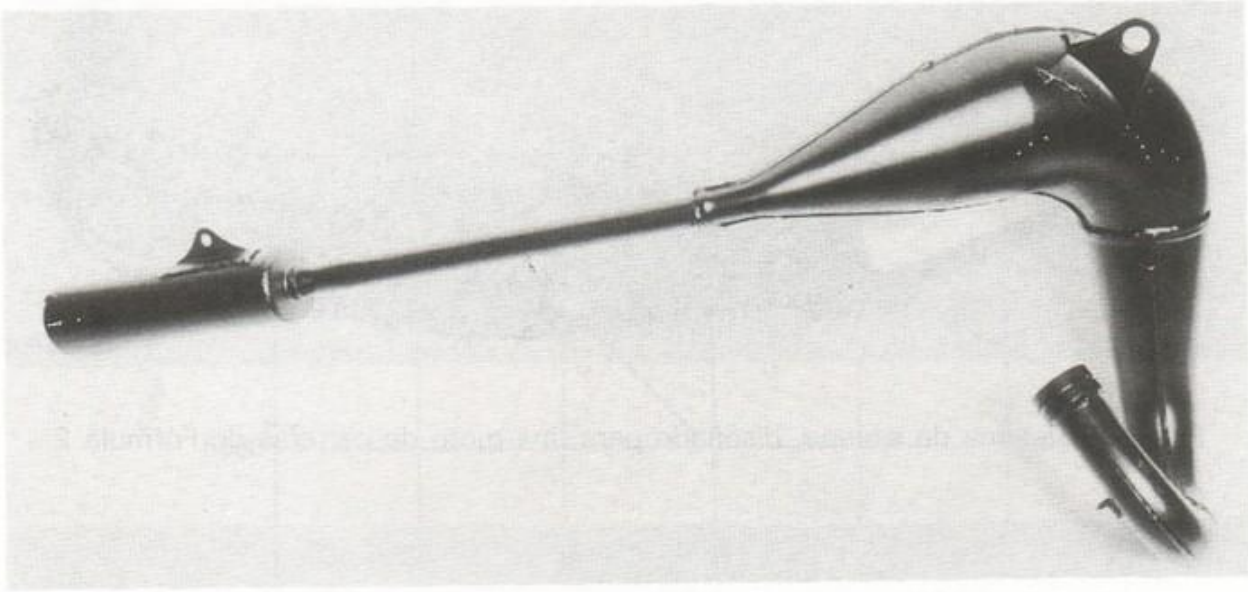


Fig. 46. Sistema de escape para motocross de Kawasaki; conicidad en toda su longitud, gran volumen, longitud total limitada, tubo de salida largo.

El silenciamiento

En competición, el silenciamiento sólo se aplica al tubo de escape, y quizás al pistón en algunas máquinas refrigeradas por aire, porque hasta ahora las pruebas de control de ruido de la FIM se llevan a cabo sin resistencia al avance, a una velocidad de giro del motor basada en la carrera del pistón, de forma que todos los motores se miden a la misma velocidad de pistón. Al hacer funcionar el motor sin resistencia al avance, el acelerador no se abre, y no existen ruidos de admisión notables. También son mínimos el flujo de gases y la energía que desprenden, por lo que basta y sobra con un sencillo silencioso en el tubo de escape.

Pero las motos destinadas a la circulación en vías públicas deben superar una prueba de ruidos con la moto en movimiento y el acelerador abierto a todo gas, lo que implica que precisan un silencioso eficiente en el escape, posiblemente también un silenciador de admisión y además algún otro sistema de reducir tanto el ruido mecánico como las reverberaciones de las aletas del cilindro. Si estos últimos funcionan bien, el silenciador de admisión no tendrá que esforzarse tanto para conseguir que el nivel de ruido no sobrepase el máximo autorizado. Los requisitos de la prueba de control de ruidos EEC 1015 ponen de manifiesto muchos de los aspectos del problema del silenciamiento. La prueba se lleva a cabo sobre una línea de 20 metros, con un micrófono de medida de ruidos a cada lado, a 7'5 metros de la línea, en el suelo y a la altura del centro de la misma. La moto se debe acercar a la línea en segunda o en tercera, según su tamaño, a una velocidad que la haga desarrollar entre un 50 y un 75% de sus revoluciones máximas. Al llegar a la línea, se abre el acelerador al máximo, y al final de la misma se cortan gases de forma repentina.

Evidentemente, el ruido dominante es el que procede del tubo de escape, pero también se producen ruidos importantes en las demás fuentes que hemos citado, además de en los neumáticos, en la cadena y en el resto de la transmisión.



Fig. 47. En las motos de motocross es necesario dar una forma complicada al sistema de escape, para que no se acerque demasiado al suelo.

Un motor de refrigeración líquida tiene gran ventaja en este sentido sobre otro refrigerado por aire, que tendrá que llevar tacos de goma entre las aletas para que no resuenen. Una caja de filtro corriente y su silenciador de admisión eliminarán prácticamente todos los ruidos de admisión, mientras que un carburador abierto a bajas revoluciones en una moto de dos tiempos puede hacer tanto ruido como el escape. La cámara misma puede hacer mucho ruido, y los fabricantes japoneses las hacen de acero prensado, con bordes soldados por los lados, o tubos de entrada de pared doble para amortiguar las vibraciones. Se conseguirá el mismo efecto envolviendo el tubo de entrada con cinta especial para tubos de escape, y se evitará que las vibraciones originen fisuras en el material del sistema de escape que está hecho de chapa fina. También se eliminará este problema, y mucho ruido, con un carenado, pero éste hace que el ruido salga hacia atrás, y el micrófono lo recoge al irse alejando la moto. Las cadenas flojas o secas también hacen bastante ruido mecánico.



Fig. 48. Silenciadores por absorción. El inferior se utilizó en un sistema de escape de uso legal en la vía pública. El superior es una versión modificada para carreras.

Por último, el ruido, en general, es proporcional a las revoluciones del motor y se puede modificar la curva de potencia para que en las condiciones de la prueba la respuesta del motor no sea tan activa como podría haber sido en otras circunstancias.

Por lo tanto, lo único que se necesitará será un buen silencioso de escape, que en una moto de dos tiempos debería permitir llegar al límite legal sin causar una gran diferencia en la producción de potencia. Los sistemas japoneses de serie son especialmente eficientes en este sentido, y si se necesita un punto de partida básico, el sistema de escape de fábrica de la moto sirve tan bien como cualquier otro.

Los silenciosos que podemos comprar como alternativa a los de fábrica pertenecen a dos grandes categorías: los de absorción, que consisten principalmente en un tubo perforado envuelto en lana mineral u otro material que absorba el ruido, metido en una lata pequeña, y los silenciosos con compartimentos. Los de absorción pueden causar una serie de problemas. Cuando ya se han utilizado unas cuantas veces y la lana mineral está algo impregnada de aceite, pierde casi todos sus efectos. Puede que entonces haga aumentar la presión de retorno. Los silenciosos de absorción, como su nombre indica, tienen el mismo efecto sobre todas las frecuencias de sonido: les quitan algo de fuerza a todas por igual. El problema es que el ruido del escape es muy rico en ciertas frecuencias determinadas, y aunque se les quite algo de fuerza, todavía queda mucho ruido en las mismas.

El otro tipo de silencioso, del que existen algunas variedades, se basa en tubos de longitudes ajustadas y en pequeñas cámaras cuyos volúmenes también están regulados cuidadosamente para que cada una apague una frecuencia determinada. Son

muy eficientes: pueden generar una presión de retorno hacia el sistema de escape como para que éste sirva de cámara de expansión, toleran los humos de escape cargados de aceite de los motores de dos tiempos, y son compactos.

Elaboración de sistemas de escape

Se debe considerar como punto de partida el sistema de serie y los recambios y kits de serie. Algunos experimentos rápidos pondrán de manifiesto cómo afectan a las características de potencia los sistemas diferentes, y siempre será posible elegir algo que se acerque a la dirección general de nuestra labor de desarrollo del resto del motor. También puede valer la pena comparar los volúmenes con los de las cámaras de expansión de competición.

A partir de ahí, se hace inevitable meterse en muchos cortes y soldaduras de chapa. Es posible comprar secciones de tubo de diámetros diversos, y conseguirlas también dobladas de varias formas; también las pueden doblar en algún taller de chapa, e incluso podrán prepararle las partes cónicas con las dimensiones que usted encargue, lo que le resultará mucho más sencillo que intentar hacerlas usted. La forma tradicional de doblar un tubo de escape es cortar una muesca en forma de V, calentar el punto y hacer fuerza hasta que se empieza a cerrar la muesca, y luego soldar los bordes de la muesca. Para realizar un doblado más cerrado, deberá cortar varias muescas (mejor que una sola muesca muy grande). Advierta que, con esto, se reduce algo la longitud del tubo cada vez, y la superficie interior del tubo puede quedar irregular, lo que es malo para la propagación de las ondas de presión. Por la misma razón, todas las juntas entre los diferentes sectores de la cámara deben hacerse de la forma más regular posible por el interior, y se deben soldar por puntos provisionalmente antes de la soldadura final.

Una de las ventajas de las pruebas sobre banco de prueba de potencia es que los sistemas experimentales no tienen por qué poderse montar sobre la moto en marcha; se pueden acoplar al motor aunque sobresalgan por cualquier lado, hasta que se hayan determinado las dimensiones correctas, lo que simplifica el proceso de elaboración.

El pistón, el cilindro y la culata

1) El pistón

De todos los elementos del motor, el pistón es el más importante, por ser la pieza clave de los procesos de bombeo y de extracción térmica. Como tal, es la parte sujeta a más tensiones y la que puede estropearse con más facilidad. Hubo una época en que se retrasó el avance técnico porque las cargas térmicas eran superiores a lo que podía soportar el material de los pistones, y la única forma de hacer pistones con una resistencia suficiente era hacerlos tan pesados que se limitaba la velocidad de giro del motor. Las técnicas de fundición y de trabajado de aleaciones con alto contenido en silicio han resuelto este problema, porque este tipo de aleaciones tiene baja dilatación y buenas propiedades anti-gripaje, además de su ligereza.

Los japoneses tienen una habilidad especial para la fundición, y sus pistones de serie para las motos de carretera suelen ser mejores que los que se venden como kits de competición.

a) Huelgo del pistón

La holgura o huelgo es uno de los factores más críticos, tanto para el rendimiento del motor como para su fiabilidad. Una holgura demasiado pequeña ocasionará rozamientos, mayor calor, problemas con la lubricación (que ya es poca de por sí) y, por último, agarrotamientos. Aunque la lubricación sea capaz de contrarrestar el aumento de fricción, se absorberán grandes cantidades de energía (no son raras las cifras de entre un 10 y un 15%)

Una holgura exagerada reducirá la transferencia térmica del pistón al cilindro, y puede hacer que se distorsione el cilindro, con peligro de agarrotamiento. Puede

umentar también el desgaste de los segmentos y permitir el cabeceo del pistón que puede hacer daño a la superficie lateral del mismo.

La forma del pistón no simplifica en nada la búsqueda de una solución de compromiso, ya que éste suele tener forma cónica, estrechándose hacia la cabeza, y además su circunferencia tendrá forma oval, no redonda. Esto se debe a que el pistón debe encajar en el calibre del cilindro cuando esté caliente, y no se calienta de forma uniforme. La cabeza se calienta más que la falda; el lado del escape está mucho más caliente que el lado que está refrigerado por los gases de carga y de admisión. Para que sea cilíndrico a su temperatura de funcionamiento, debe tener forma irregular cuando esté frío.

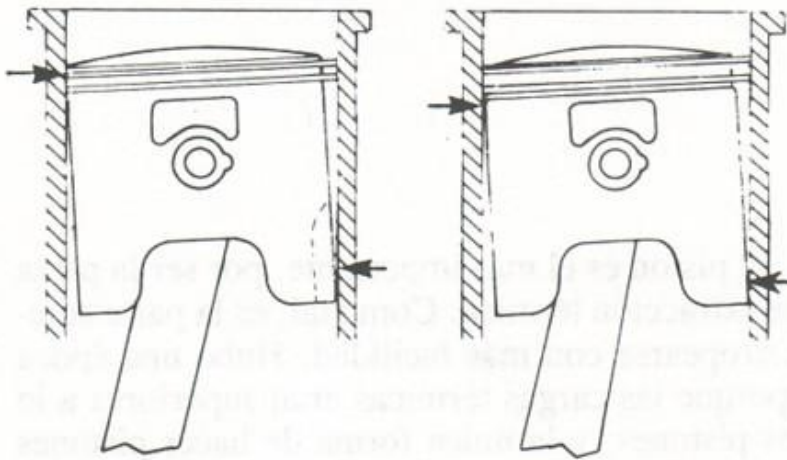


Fig. 49. Bamboleo del pistón, debido a un huelgo excesivo o a que se ha retirado parte de la falda del pistón. Izquierda: si el empuje lo sufren los bordes de los segmentos, se producirán averías muy pronto. Derecha: si se rebaja el borde de los segmentos, se conseguirá que el empuje lo sufra la falda del pistón.



Fig. 50. Ventanas grandes en la falda del pistón. En algunos motores para carreras, se retira toda la falda, lo que reduce mucho la superficie de empuje.

Fig. 51. Este rebaje de la parte trasera de la falda puede servir para aliviar la zona en que se suelen producir los agarrotamientos.

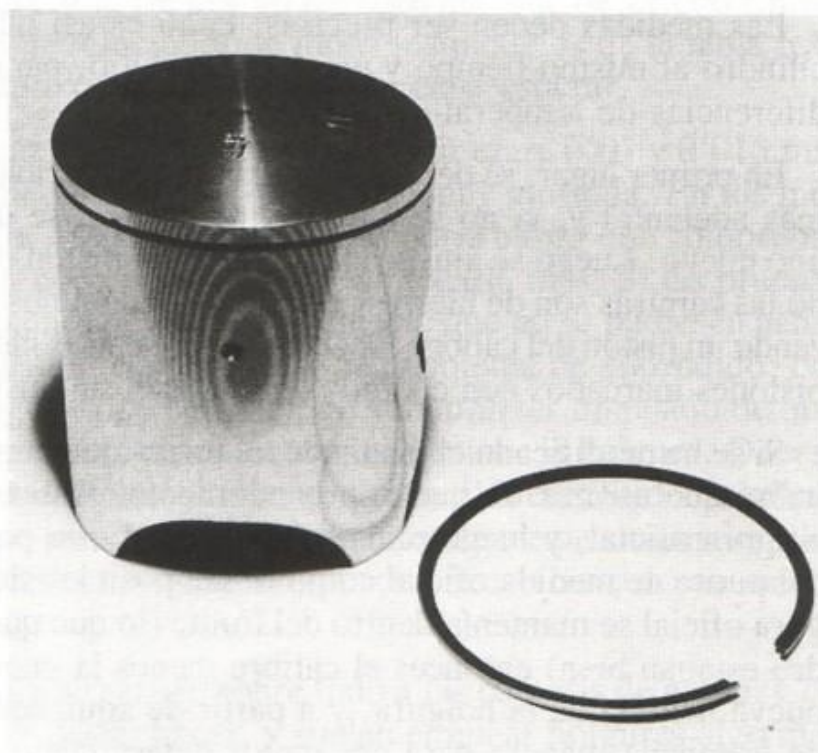
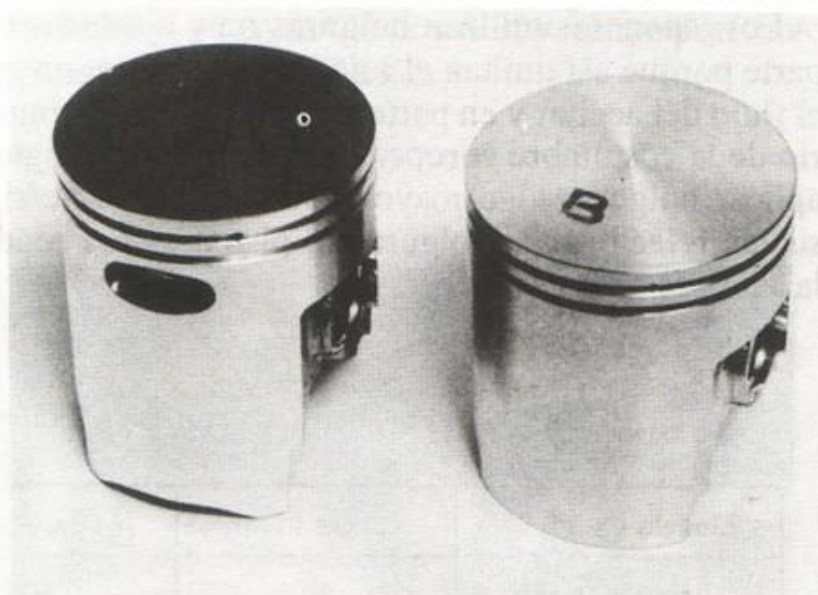


Fig. 52. Kawasaki cambió el sistema de lumbreras de la KX80. La versión E-1 tenía un pistón liso; el pistón de la E-2 tenía una ventana que comunicaba con una lumbrera de sobrecarga, y el pistón era más sólido y tenía la cabeza recubierta. Paradójicamente, el E-2 era más "puntiagudo" (banda de potencias estrecha), y tenía mayor tendencia al agarrotamiento.



La medida de la holgura, cuando esté frío, debe ser un sistema formalizado, por lo que es esencial que se emplee el mismo sistema cada vez que se mide un pistón. El diámetro oficial del pistón se suele medir a 90° del bulón, inmediatamente por debajo del mismo. Los fabricantes japoneses suelen especificar que se mide en un punto a 15mm por encima de la base de la falda del pistón. De igual modo, el calibre se mide en el sentido longitudinal, a 15mm de la parte superior del cilindro (compruebe la situación exacta en el manual del motor). La holgura oficial es la diferencia equivalente al calibre del cilindro menos el diámetro del pistón; es evidente que esta no es una holgura verdadera, porque aquella parte del pistón nunca llegará hasta aquella parte del cilindro; o, si llega, la holgura de la falda ya no tendrá importancia.

Las medidas deben ser precisas; tanto es así que se deben medir el pistón y el cilindro al mismo tiempo y en el mismo sitio, para evitar errores causados por las diferencias de temperaturas.

En primer lugar, se debe comprobar la ovalización y la conicidad del cilindro (véase más adelante) y, si no se ajusta a los límites, se debe rectificar o se debe utilizar uno nuevo. Luego se ajusta a la holgura del pistón en la máquina de rectificar (cuando las camisas son de hierro y en el caso de algunos pistones niquelados) o bien utilizando un pistón del calibre adecuado (con camisas niqueladas). Los fabricantes ofrecen pistones marcados con códigos que indican su ajuste a los calibres de los cilindros.

Si se ha modificado el pistón de tal forma que no se puede tomar la medida oficial, habrá que utilizar un nuevo procedimiento. Antes de modificar el pistón, mida su holgura oficial, y luego mida la holgura en otra parte del pistón que esté tan cerca del punto de medida oficial como le sea posible, siempre a 90° del bulón. Si la holgura oficial se mantenía dentro del límite (lo que quería decir que el pistón y el cilindro estaban bien) entonces el calibre menos la nueva medida del pistón nos dará la nueva medida de la holgura, y a partir de aquí, tome todas las medidas de holgura de la misma manera para ese motor determinado.

Los japoneses utilizan holguras muy ajustadas en sus máquinas de carretera, en parte porque así limitan el ruido y el desgaste, en parte porque así se controla mejor el flujo del aceite, y en parte porque pueden permitirse el lujo de hacerlo. Al contrario de la costumbre europea de relacionar la holgura del pistón con el calibre, y de aplicar holguras algo mayores a los motores refrigerados por agua, los japoneses suelen relacionar la holgura del pistón con el rendimiento del motor, como indica la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Huelgos de pistón para algunos motores Yamaha

Modelo y año	calibre (mm)	huelgo (mm)	refrigeración
DT250MX (80)	70	0.035–0.040	aire
DT175MX (82)	66	0.040–0.045	aire
RD400 (79)	64	0.035–0.040	aire
RD350LC (82)	64	0.050–0.055	agua
RD350LC (83)	64	0.060–0.065	agua
RD500LC (84)	56.4	0.060–0.065	agua
RD125LC (83)	56	0.050–0.055	agua
DT125MX (82)	56	0.035–0.040	aire
YZ125 (K)	56	0.070–0.075	agua
RD250 (79)	54	0.035–0.040	aire
RD250LC (82)	54	0.050–0.055	agua

En general, un incremento de las revoluciones y de la potencia al freno exigirá un ligero incremento de la holgura del pistón, en función de la holgura original. La

YZ125, con un rendimiento de 25 CV al freno y un régimen máximo de 12.000 r.p.m. es la que tiene mayor potencia y revoluciones de todos los modelos de la tabla 6.1, y su holgura de pistón indica aproximadamente lo que cabe esperar.

Es corriente tener que rectificar el cilindro para conseguir entre 0'01 y 0'015 mm más de holgura, sobre todo cuando la holgura original es muy ajustada. En los modelos en que ya se aplica una cifra superior a 0'05 mm, podría bastar con comprobar que se cumple dicha holgura, un poco por exceso, y no tocarla más. Si las pruebas ulteriores diesen como resultado unas pérdidas de potencia que no se pudiesen achacar a las temperaturas de combustión elevadas ni a un problema de encendido, entonces se podría aplicar una holgura algo superior. Si va a utilizar un pistón de otra marca, ajústese a las indicaciones del fabricante para determinar la holgura. Dependerá del tipo de aleación que lleve el pistón; los que tienen alto contenido de silicio (entre ellos, la mayoría de los que presentan los fabricantes de piezas originales) tienen un coeficiente de expansión reducido; por ello, pueden instalarse con una menor holgura en frío.

Lo que hemos dicho hasta ahora se refiere sobre todo a las camisas de acero. Con las cromadas y revestidas poco se puede hacer, y suelen emplear holguras algo más estrechas. Kawasaki aplicó un revestimiento de electrofusión a algunas de sus camisas, y la holgura del pistón de su KX125 es de entre 0'049 y 0'059 mm, en un motor con potencia y revoluciones similares al Yamaha YZ125.

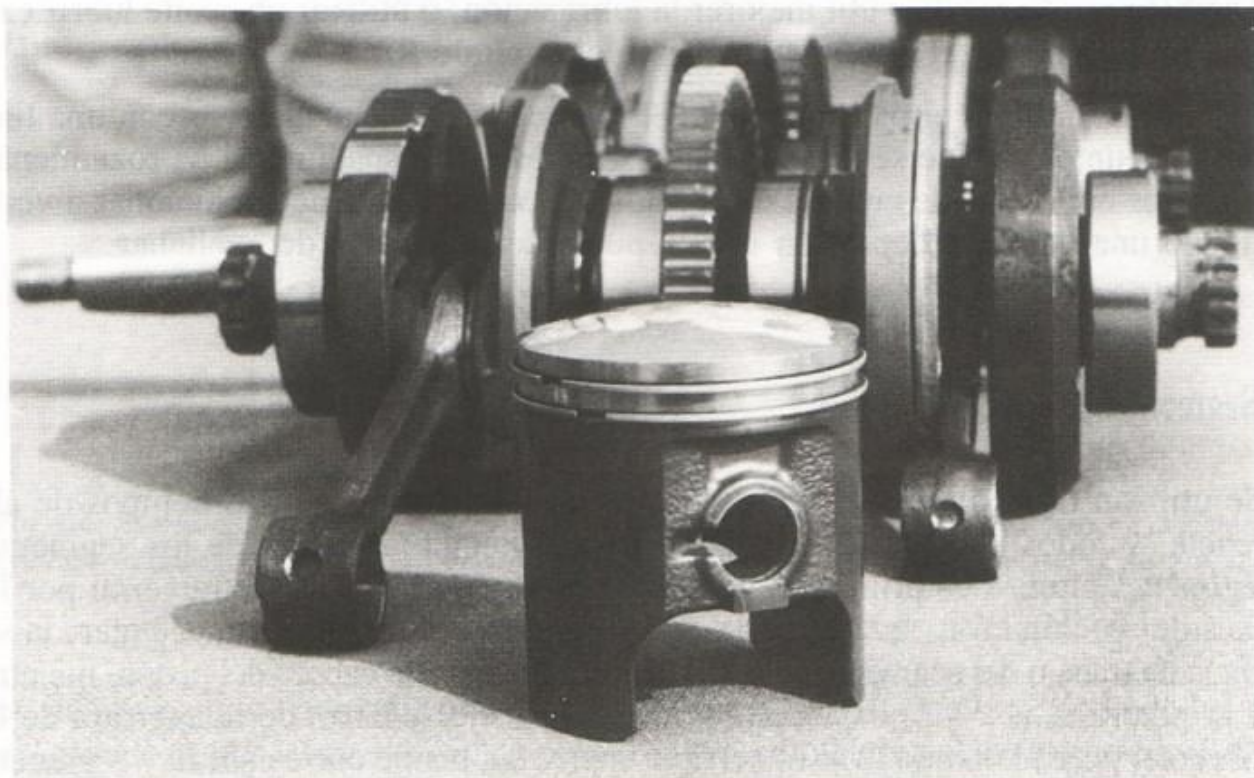


Fig. 53. Suzuki revistió las faldas de algunos de sus pistones.

Los motores Kawasaki más pequeños para motocross, como el KX80 E-1, que llegaba a las 13.000 r.p.m., tenían una holgura incluso más ajustada, de entre 0'035 y 0'045 mm, y este motor tenía fama de ser fiable. Al año siguiente, el modelo E-2 tenía un pistón con la cabeza recubierta, y con una falda más larga, y la lumbrera de admisión no tenía puente (lo que tendía a aumentar el cabeceo del pistón). Se aumentó la holgura del pistón a 0'040–0'060 mm, y el motor tendía a griparse con mayor frecuencia.

Cuando hay peligro de que la superficie lateral de la cabeza del cilindro inmediata a los segmentos se desgaste o sufra daños, lo que puede hacer que se agarroten los segmentos (esto puede deberse a una holgura excesiva en la falda del cilindro, que permite el bamboleo del cilindro y que éste sufra el empuje sobre la superficie lateral de la cabeza), en este caso puede ser necesario rebajar dicha superficie en una proporción mínima, digamos de entre 0'02 y 0'04 mm. Aunque el pistón tiene forma oval, los problemas de holgura sólo se producirán en el eje de empuje, a 90° del eje del bulón, que es donde es mayor el diámetro del pistón. En consecuencia, se puede meter el pistón en el torno (¡con cuidado!).

Hay otras señales que indican recalentamiento o distorsión del cilindro, que pueden causar desgastes, y se pueden solucionar enriqueciendo la mezcla y haciendo que el calor latente del combustible refrigere el pistón. La Yamaha realizó una serie de pruebas que demostraron que aunque una mezcla más rica daba algo menos de potencia al principio, la pérdida de potencia se reducía a la mitad cuando el motor llevaba en marcha algunos minutos. Los motores con refrigeración por agua aprovechan la misma ventaja, que no tienen los refrigerados por aire.

También puede resultar útil mejorar la lubricación, o utilizar un aceite lubricante que proteja mejor el rozamiento (véase el capítulo 9).

Se debe desmontar el motor durante el rodaje, y se deben suavizar con una lima suave los puntos en que se aprecie más rozamiento o raspaduras. Los rozamientos más graves en la cara de empuje de la falda del pistón se pueden solucionar a veces haciendo una pequeña depresión con la punta de una broca de avellanar.

b) Segmentos

Se utilizan tipos diferentes de segmentos en los motores de dos tiempos de alta potencia, y todos ellos se han diseñado para evitar la vibración de los segmentos a regímenes altos. Los primeros segmentos lisos, de acero, se sustituyeron por los Dykes de sección en L, que ofrecían una serie de ventajas. En primer lugar, la superficie de trabajo del segmento se podía acercar mucho a la cabeza del pistón, mientras que la ranura estaba más baja. Esto permite un mejor control de la apertura de las lumbreras, pero al disminuir la superficie lateral del pistón entre cabeza y segmento, ésta se tiende a calentar, y puede causar averías, por lo que resulta ventajoso poder bajar la ranura del segmento (también llamada garganta). En segundo lugar, este ti-

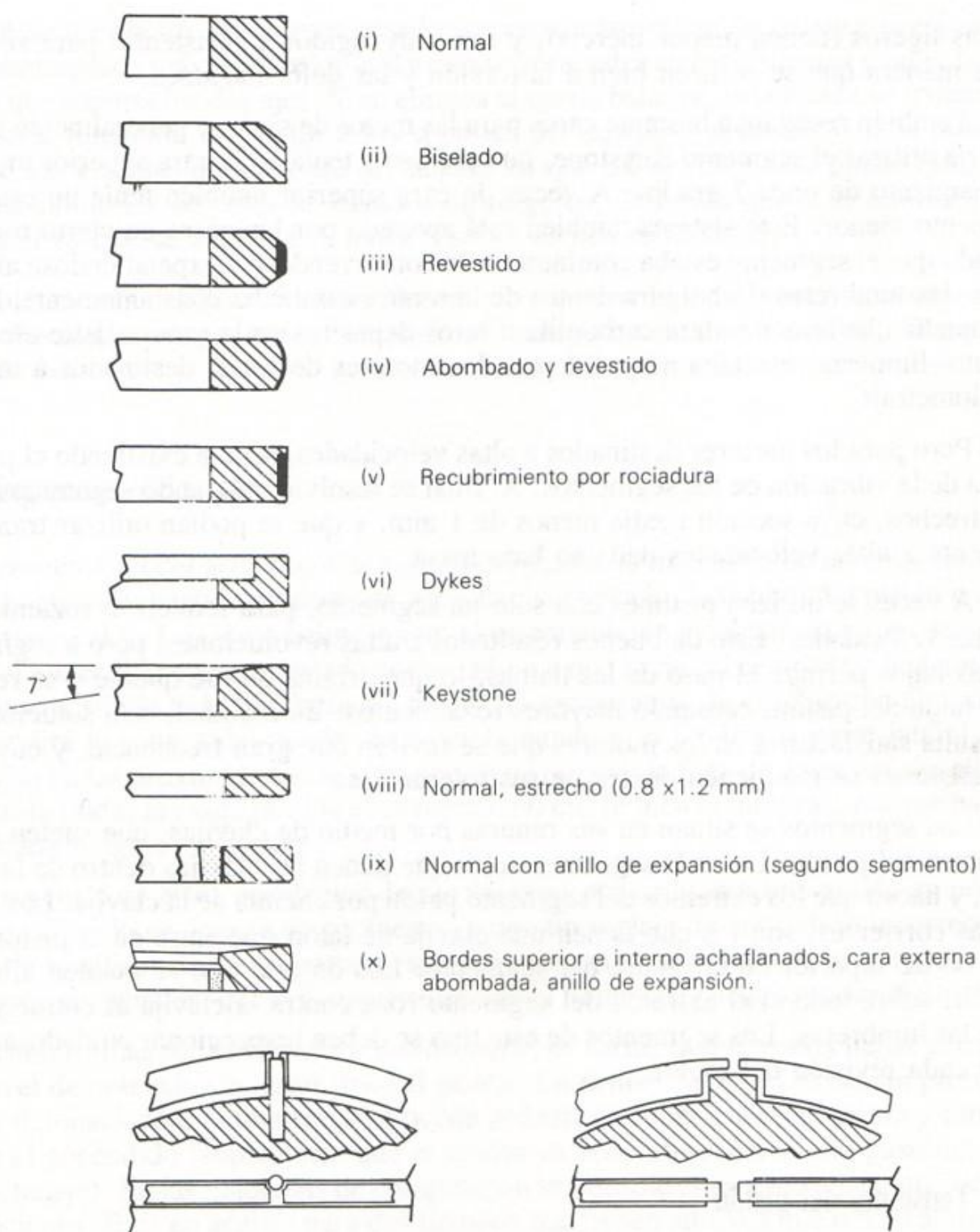


Fig. 54. Secciones de diferentes tipos de segmentos que se utilizan en motores de dos tiempos. El fiador del segmento puede consistir en una clavija que entra en el pistón, o en un saliente del mismo pistón.

po de segmentos están apoyados por los gases, es decir, que la presión de los gases del cilindro actúa entre el pistón y el segmento, empujando al segmento hacia el borde inferior de la ranura (así se evita su posible vibración), y hacia la pared del cilindro, haciendo que cierre mejor el contacto. En tercer lugar, estos segmentos son

más ligeros (tienen menor inercia), y son muy rígidos y resistentes para su peso, de manera que se resisten bien a la torsión y las deformaciones.

También resultaban bastante caros para las motos de serie, y generalmente se prefería utilizar el segmento Keystone, que era liso y tenía en la cara superior un estrechamiento de unos 7 grados. A veces, la cara superior también tenía un estrechamiento menor. Este sistema también está apoyado por los gases en cierto modo, y dado que el segmento estaba continuamente contrayéndose y expandiéndose al pasar por las lumbreras, la holgura dentro de la ranura cambiaba constantemente, lo que impedía que se acumulara carbonilla u otros depósitos en la ranura. Este efecto de auto-limpieza resultaba muy útil para los motores de serie, destinados a un gran kilometraje.

Pero para los motores destinados a altas velocidades, seguía existiendo el problema de la vibración de los segmentos. Al final se resolvió utilizando segmentos lisos, estrechos, cuya sección medía menos de 1 mm, y que se podían utilizar tranquilamente a altas velocidades dada su baja masa.

A veces se utilizan pistones con sólo un segmento, para reducir el rozamiento a altas velocidades. Esto da buenos resultados a altas revoluciones, pero a regímenes más bajos permite el paso de las llamas, lo que origina que se queme y se recubra la falda del pistón, causando mayores rozamientos. En realidad, esta solución sólo resulta satisfactoria en los motores que se revisan con gran frecuencia, y cuyas dimensiones se mantienen dentro de sus tolerancias.

Los segmentos se sitúan en sus ranuras por medio de clavijas, que suelen entrar dentro del pistón. Los más seguros son los que tienen las clavijas dentro de la ranura, y hacen que los extremos del segmento pasen por encima de la clavija. Los otros, más corrientes, son los que tienen una clavija de latón que entra en el pistón, por el borde superior de la ranura del segmento. Los de este tipo se pueden aflojar y salir, sobre todo si el extremo del segmento roza contra la clavija al entrar y salir de las lumbreras. Los segmentos de este tipo se deben inspeccionar cuidadosamente en cada revisión del motor.

c) Tensiones del pistón

El pistón alcanza unas aceleraciones enormes cuando el motor gira a altas revoluciones (véanse en el Apéndice los cálculos de velocidad y aceleraciones del pistón), y la inercia genera sobre el mismo unas fuerzas igualmente enormes. La fuerza de la inercia es proporcional al cuadrado de la velocidad de giro del motor (de forma que al duplicarse ésta, la fuerza de la inercia se cuadruplica), y es ésto lo que marca el límite de revoluciones prudencial de la máquina. Esta misma fuerza es la que origina la vibración del motor, por lo que un incremento de revoluciones en un motor de un solo cilindro aumentará mucho la fuerza vibracional, a no ser que el motor tenga eje de balance. Si es así, éste compensará las resistencias de la inercia (a no

ser que se acople un pistón más pesado, en cuyo caso el eje de balance precificaría unos contrapesos más pesados) y la tensión se contendrá en los cojinetes y en la fundición que soporta los dos ejes. Si se elimina el eje de balance, esta fuerza se transmitirá por la fundición del motor a los soportes del mismo y al bastidor de la moto. Una de las ventajas de tener eje de balance es que así el fabricante puede utilizar bloques motores y soportes de bastidor más ligeros, de forma que si se elimina, lo más fácil es que se aumente la tensión sobre dichos elementos.

La biela y sus cojinetes también tienen que soportar la tensión que se produce a altas velocidades, y quizás sea necesario utilizar piezas de mejor calidad. Véase el capítulo 10.

d) Refrigeración del pistón

La combustión del aceite bajo la cabeza del pistón es indicativa de la temperatura que ésta alcanza; cuando presenta un aspecto chamuscado, la cabeza del pistón recibe bastante calor. Los otros peligros son: el calentamiento local bajo la bujía, debido a que el encendido está demasiado adelantado o a que la mezcla es pobre; la detonación, que acribilla toda la cabeza del pistón; la temperatura de combustión elevada, que fundirá la cabeza del pistón, haciéndola pandear, o fundirá la parte lateral de la misma en las proximidades de la lumbrera de escape; la fuga de gases, que pueden quemar la falda, causada porque el segmento no cierre bien la junta o porque haya demasiada holgura de pistón.

La mayoría de estos problemas de recalentamiento originará una avería en poco tiempo. Cuando se detecta un problema, como un reglaje de encendido incorrecto, se puede rectificar de forma bastante sencilla, pero al ir mejorando el motor, se puede llegar a un punto en que la carga térmica esté al límite que puede soportar el mismo.

Existen formas de desviar el exceso de calor, de forma que se pueda llegar al mismo nivel de potencia sin hacer daño al pistón. En primer lugar, si existe un problema de detonaciones, la tendencia se puede reducir enriqueciendo la mezcla y retrasando el encendido (suponemos que el motor ya está funcionando con gasolina de alto octanaje). En las máquinas de competición se permite el uso de Avgas, que tiene más octanos. Existen aceites para dos tiempos que tienen aditivos que o bien aumentan el octanaje del combustible o lo estabilizan, de tal manera que al mezclarlo con el aceite el combustible no pierde resistencia a la detonación. Con estos aceites (como el Castrol A747, los Silkolene Pro-2 y Comp-2 y el Motul 300) se aprecia que la combustión es más regular. Los departamentos de competición de las compañías petrolíferas suelen ser muy serviciales cuando se les pide información actualizada sobre combustibles y lubricantes.

La forma en que se transmite el calor del pistón a la pared del cilindro depende de la holgura de la falda del pistón y del número de segmentos, así como de la lubricación. Una holgura excesiva hará que la cabeza se caliente más, y producirá tam-

bién las fugas de compresión por las paredes del cilindro, que puede quemar la falda del pistón. Es posible que haya que utilizar un lubricante de grado más apropiado (véase el capítulo 9).

Las dos alternativas restantes son refrigerar el pistón (mejorando la riqueza de la mezcla o aumentando el flujo de gases bajo la cabeza del pistón, véase el capítulo 4), o refrigerar el cilindro para que acepte una transferencia térmica superior.

Asegúrese de que no está obstaculizado el flujo del aire alrededor de los motores refrigerados por aire. Puede ser útil dirigir la corriente de aire, y si se refrigera la culata se puede reducir así la tendencia a la detonación del combustible. Suele ser difícil mejorar más los motores refrigerados por agua, siempre que no esté bloqueado ninguno de los conductos. Algunos regulan el flujo por medio de orificios restrictivos en la junta de culata.

2) Cilindro

El avance de los motores de dos tiempos ha tenido que esforzarse para seguir el ritmo de avance en cuanto a materiales de pistones y de cilindros. Los primitivos cilindros de fundición tenían un coeficiente de dilatación diferente al de los pistones de aleación, lo que limitaba su utilidad. Las cosas mejoraron mucho cuando se empezaron a utilizar camisas de fundición dentro de bloques de cilindro de aleaciones ligeras, pero seguía existiendo el problema de la transferencia térmica de la fundición a la aleación. Por muy bien encajada que estuviera la camisa, la frontera entre los dos metales suponía una barrera.

Los japoneses perfeccionaron el proceso de unión de la aleación a la camisa de fundición, y consiguieron buenas uniones térmicas, lo que permitió dar un nuevo paso adelante en los niveles de rendimiento, además del empleo de aleaciones con alto contenido en silicio para la fabricación de los pistones. El último paso ha sido eliminar totalmente la fundición, y se han hecho muchos intentos de utilizar cilindros totalmente hechos de aleaciones ligeras, normalmente "blindados" con revestimiento duro, ya fuese cromado, Nikasil, Galnikal o revestimientos de electrofusión, que se aplican a la superficie haciendo pasar una corriente eléctrica potente por un cable que pasa por el centro del cilindro.

Estos métodos proporcionan ventajas en cuanto a los resultados térmicos del motor, pero también tienen desventajas prácticas. El cilindro no se puede rectificar para compensar el desgaste o los daños debidos al agarrotamiento del pistón; en algunos casos se puede pulir; en otros, tiene que sustituirse el pistón para adaptar alguno que tenga la holgura adecuada. También es difícil o imposible modificar la forma de las ventanas de las lumbreras, ya que se echará a perder el revestimiento protector. En algunos casos se puede hacer y arreglar luego los daños si son pequeños, volviendo a aplicar el revestimiento. El cromado no da tan buenos resultados (y no se deben utilizar segmentos cromados). El mejor proceso es seguramente el Nikasil.

La empresa Mahle, de Alemania, ofrece un proceso de reacondicionamiento y ofrece también segmentos revestidos especialmente para ser utilizados con dicho reacondicionamiento de la pared del cilindro. La ventaja es su peso ligero, su mejor transferencia térmica y los menores problemas que da la dilatación del cilindro y del pistón.

Desgaste

Los cilindros se pueden rectificar para dar una holgura de pistón adecuada, pero también se debe comprobar su desgaste, según las especificaciones del fabricante. Esto supone normalmente un límite de calibre, así como límites de conicidad y de ovalización. La conicidad del cilindro se debe medir con un tornillo micrométrico para medidas interiores, o con un verificador de calibres (véase el capítulo 2) en seis u ocho posiciones diferentes: a 90° del eje del bulón del pistón y sobre dicho eje; cerca de la parte superior del cilindro, en el centro y cerca de la parte inferior. Si el tamaño total está dentro del límite, entonces no se deben registrar diferencias de más de 0'05 mm entre dos de dichas medidas, o lo que indique el fabricante. Las camisas de fundición se pueden rectificar para que vuelvan a satisfacer las especificaciones, pero asegúrese de que el mecánico que lo haga sepa cómo seguir el eje del cilindro, y no se limita a seguir el orificio ya existente. Pídale que se detenga a 0'03 ó 0'04 mm del tamaño final, para que se pueda dar un pulido para dejarlo a sus dimensiones exactas, lo que da un buen acabado a la camisa a la vez que deja las dimensiones precisas. El acabado mejor es el que se consigue con una contratalla a 60° del eje del cilindro, y con un borde plano ancho.

Existen dos posibilidades fundamentales. Una es dejar un borde plano pequeño, que produce presiones locales elevadas pero que retiene bien el aceite. Requerirá un periodo de rodaje cuidadoso, y seguramente es la mejor manera de dar una larga vida a los segmentos y al cilindro. Pero en la mayor parte de los motores de dos tiempos puestos a punto ya se cuenta con que los segmentos van a durar poco tiempo, y lo más corriente es dar al cilindro un acabado con borde plano mayor, al que se le puede dar un periodo de rodaje menor a base de hacer girar el motor relativamente deprisa durante periodos breves. Si hay puntos sobresalientes que puedan estropear la aleación de la falda del pistón, habrá que rebajarlos con una lima suave.

3) Culata

Los requisitos fundamentales de una cámara de combustión son que exista un volumen compacto de gases, equidistante de la bujía, y en el que se forme una turbulencia suficiente para que se produzca la combustión, pero no tanta que se pierda calor por las superficies metálicas.

Una esfera que tuviese los electrodos de la bujía en el centro satisfaría casi todos esos requisitos, sobre todo por el hecho de que la esfera es la forma geométrica que tiene menor superficie en relación al volumen que contiene, y las pérdidas de calor son proporcionales a la superficie.

Teniendo esto en cuenta, no es raro encontrarse que uno de los primeros avances a partir de la culata sencilla con cámara de combustión en forma de casquete esférico y cabeza de pistón plana, fue la culata con una cámara central profunda. Este tipo primitivo tenía una zona de "squish" ancha, que acababa en una depresión profunda del volumen necesario para mantener la relación de compresión necesaria para que no se produjesen detonaciones. Lo llamaban "sombbrero de copa" por su sección muy marcada.

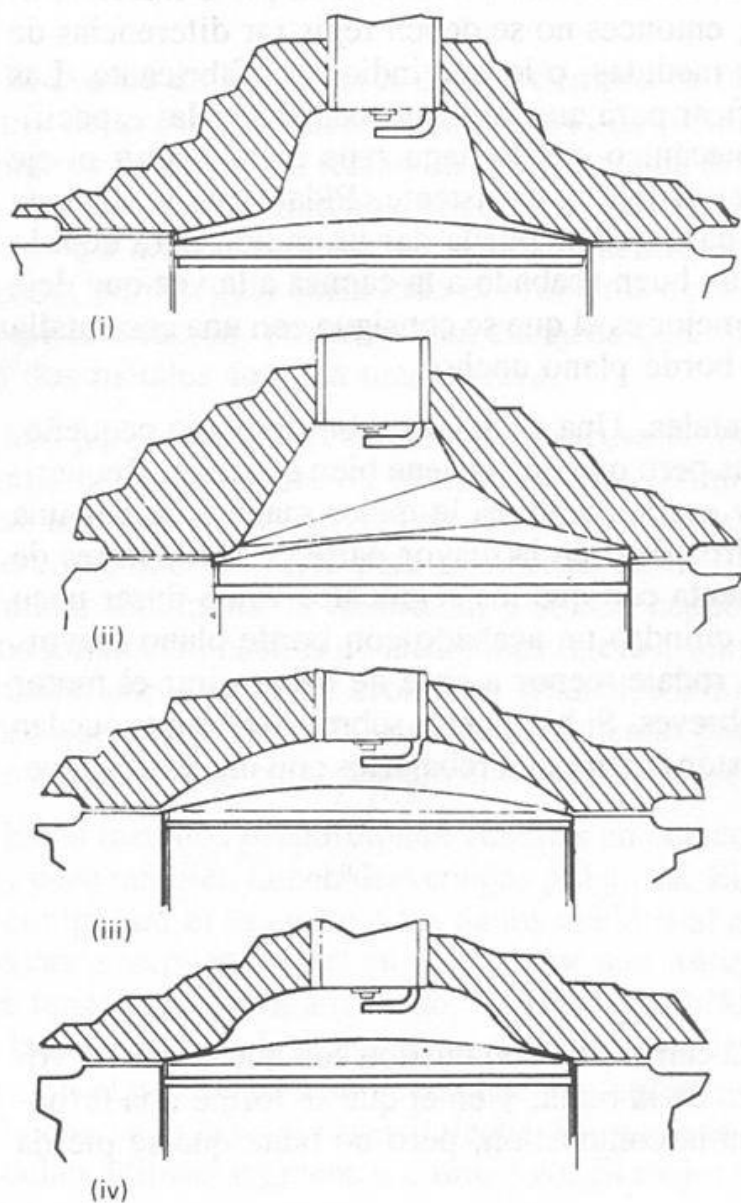


Fig. 55. Tipos de culata. (i) Sección en sombrero de copa, con banda de squish ancha y cámara de combustión profunda. (ii) Cámara de combustión descentrada, para aprovechar las turbulencias de las corrientes de carga de gases. (iii) Esférica. (iv) Squish. Banda de squish ajustada con cuidado, cámara de combustión de forma aproximadamente esférica, para presentar una superficie mínima.

Fig. 56. Cámara de combustión lisa, bujía descentrada (Kawasaki).

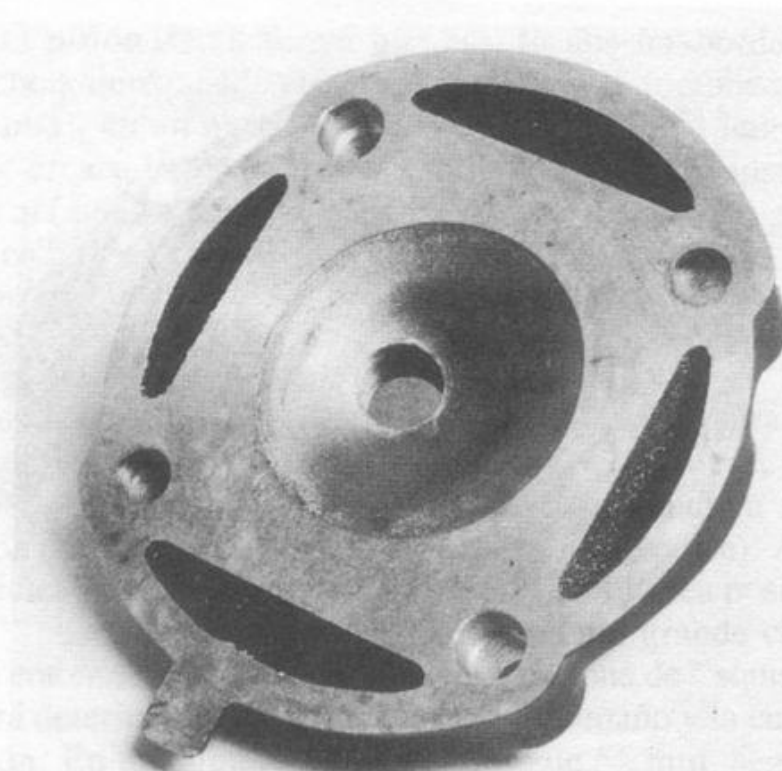


Fig. 57. Banda de squish ancha (Yamaha de carreras).



Otros tipos posteriores tenían cámaras de combustión descentradas, pero los experimentadores volvieron por fin a la culata simétrica con bujía central, aunque con un "squish" más estrecho, cámara de combustión menos profunda y curvas menos pronunciadas. Y menor superficie. El diseño de los pistones ha cambiado poco, y se ha mantenido la superficie ligeramente abombada de la cabeza, que sigue una curva catenaria.

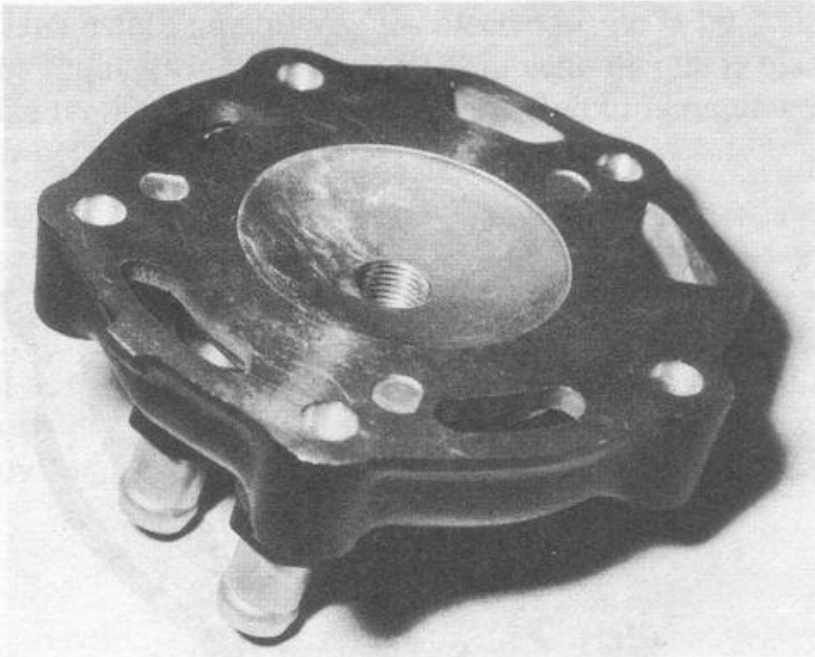


Fig. 58. Cámara de combustión lisa, bujía central (Honda).

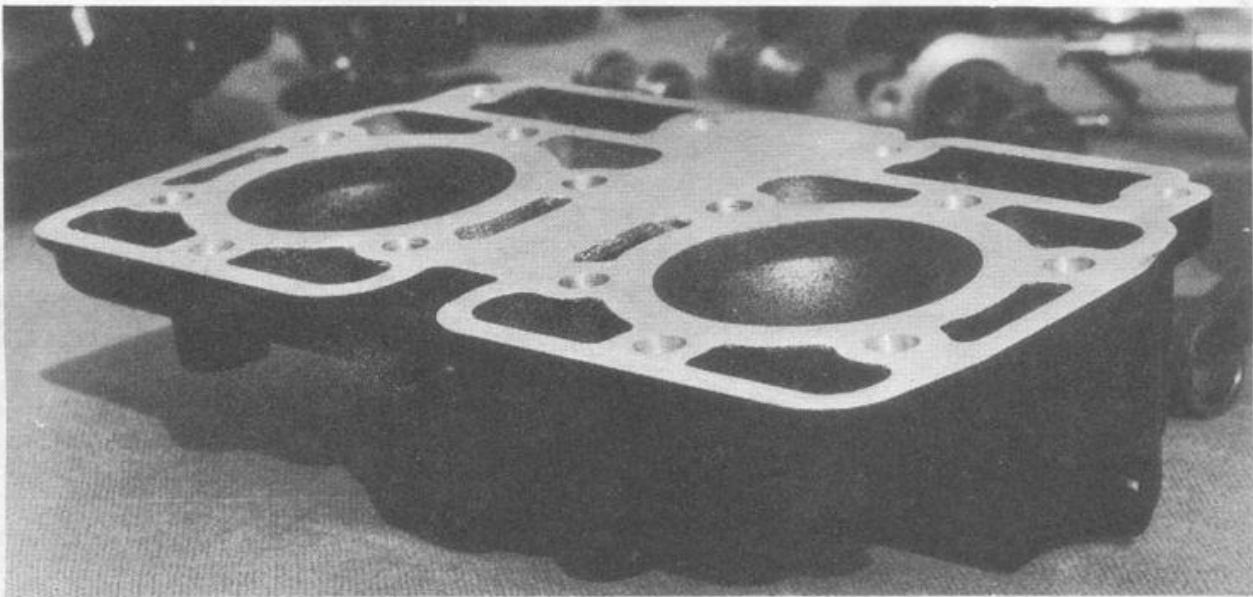


Fig. 59. Squish, y cámara de combustión esférica (Suzuki).

Lo que sí descubrieron los experimentadores fue que la holgura alrededor del borde de la cabeza del pistón era fundamental para los rendimientos. En casi todos los motores de dos tiempos es fácil subir la compresión tanto que se presenten problemas de detonación, de forma que las ventajas teóricas del mejor rendimiento térmico, etcétera, no se pueden llegar a aprovechar. Pero sí se podían conseguir mejoras en la combustión: hacerla más rápida para que más calor se dedicase a la expansión, y menos a aumentar la temperatura del motor.

Cuando se hacía funcionar el pistón de tal forma que casi tocaba los bordes de la culata, ocasionaba “turbulencia de squish” en los bordes, lo que forzaba a los gases a acercarse a la bujía central, en un momento en que el frente de la llama se expandía hacia los bordes. Esto creaba la turbulencia necesaria en el último instante para acelerar la combustión, y así se eliminaban los “gases residuales” — los gases que se hubieran quedado por los bordes, a los que no hubiera llegado la llama sino mucho después de haber quemado el resto de los gases, y que en todo caso no se habrían quemado nada bien, porque estaban rodeados de metal relativamente frío.

Lo único que quedaba era descubrir las dimensiones óptimas de la cámara. La parte central de la cámara se puede diseñar partiendo de la base de una esfera, para reducir al mínimo la superficie, y evidentemente debe contener un volumen suficiente para producir una relación de compresión razonable (véase el Apéndice). Además, la curvatura de las superficies debe tener un radio tan grande como sea posible, para que el efecto de “squish” pueda promover una turbulencia tan grande como se necesite. Lo único que queda entonces es calcular el tamaño de la zona de “squish”. La anchura de sus lados quedará determinada más o menos por el tamaño y la curvatura de la cámara de combustión. En un cilindro con un calibre de 56 mm, seguramente tendrá una anchura de unos 8 mm por lo menos, lo que sorprendentemente supone un poco más de un 50% de la superficie del pistón.

La medida más crítica es la holgura del “squish”, el intervalo entre la culata y el pistón en el p.m.s. La culata debe tener una sección que le permita por lo menos estar paralela al pistón, y quizás separarse del mismo ligeramente, hacia el centro. La holgura mínima que puede ser eficiente es de aproximadamente 0'065 mm; algunos mecánicos de puesta a punto ajustan la culata de tal forma que queden algunas señales que indiquen que el pistón toca la culata ligeramente a revoluciones punta. La holgura de “squish” se suele medir introduciendo estaño de soldar blando entre el pistón y la culata mientras se hace pasar el motor por el p.m.s. y luego midiendo el grosor del estaño.

Se puede aumentar una zona de “squish” rebajando la superficie de la culata que se apoya en la junta, y variando la sección de la superficie de combustión para conseguir una holgura adecuada y para ajustar la relación de compresión. También se puede rellenar la culata con aleación, y volver a darle forma en una fresadora, o en un torno si se puede sujetar bien la pieza. Luego habrá que aplanar la superficie que corresponde a la junta.

Es difícil ver cómo se puede mejorar más la zona de “squish”. Una posible mejora es reducir toda su sección y utilizar un pistón que tenga la cabeza cóncava, en vez de tener la forma convexa habitual. Sería útil poder introducir los electrodos de la bujía más hacia el centro de la cámara de combustión, si aparecen materiales que tengan la resistencia necesaria.

Es corriente, en el proceso de puesta a punto, aumentar la relación de compresión hasta que casi se presenten problemas de detonación del combustible. En los motores de dos tiempos, es cuestión de jugar en el reglaje del encendido y con la riqueza

6

de la mezcla hasta llegar a la mejor solución de compromiso, que optimice la potencia, la forma de la curva de potencia y que no produzca detonaciones. La diferencia entre los circuitos de carreras difíciles y llenos de curvas y los que tienen largas rectas es tan importante que vale la pena utilizar reglajes diferentes para cada uno.

✧ Mientras que un incremento de la relación de compresión parece que supone un aumento de los rendimientos, y que por lo tanto los mejora a todas las revoluciones, en la práctica lo único que hace es que los motores con banda de potencia estrecha la tengan más estrecha todavía. Esto se debe a que la diferencia entre estar dentro de la banda de potencias y estar fuera es tan importante, en términos de flujo de gases, que cuando se está fuera de la misma apenas hay gases que comprimir. En lo que se refiere a la culata, es como ir a medio gas. Si se aumenta la compresión, también se aumentará la potencia, pero un 10% de cero sigue siendo cero. Mientras tanto, se pueden hacer muchas cosas con la curva de potencia, y la potencia seguirá aumentando. El resultado es que a bajas revoluciones no se producirá una diferencia que se pueda advertir, pero en cuanto el motor llegue a la banda de potencias, existe un diez por ciento más, y al piloto le parece que existe un 10% más de “pico” en la potencia.

Existen diferentes tipos de juntas de culata. Algunos motores de un solo cilindro no las necesitan, mientras el cilindro y la culata estén solapados, o solapados sobre superficies planas. Se pueden utilizar las delgadas, de metal: éstas son útiles para subir la culata y ajustar así la compresión. Los más exóticos son los anillos llenos de gas y las juntas de sección en V que aprovechan la presión del gas para hacer más presión sobre las superficies y asegurar así un cierre más hermético. Los motores de dos tiempos refrigerados por agua suelen necesitar una junta compuesta, con un anillo metálico central que sella la culata y con material de junta que sella el canal del agua. Asegúrese de que no esté obstruido el paso del agua por la junta y de que la culata esté bien montada, con un par de apriete de los tornillos regular que asegure un buen cierre.

Encendido

En los motores de dos tiempos existen tres sistemas de encendido fundamentales: por ruptor —ya sea con batería y bobina (delco), o con magneto autogeneradora—, por descarga inductiva sin ruptor, o por descarga capacitiva sin ruptor. Existen diversos sistemas de hacer saltar la chispa: por ruptor, por disparador de efecto Hall, por disparador sensible a la luz, por disparador magnético y por bobina de impulsos, pero la diferencia fundamental es la forma en que se produce el alto voltaje.

Los sistemas por ruptor, ya estén activados por magneto o por batería, están limitados por la velocidad de giro del ruptor (éste, y su excéntrico, pueden llegar a tener velocidades límites bastante moderadas a partir de las cuales no pueden generar chispas con fiabilidad). Llegará un momento en que no dará tiempo de que la corriente suba hasta un nivel suficiente que permita producir los kV suficientes para que salte la chispa de la bujía; el voltaje en la bujía tenderá a caer precisamente cuando es más importante que suba. Esto dicho, hay que reconocer que muchos motores con ruptor llegan a velocidades de más de 10.000 r.p.m. A veces es posible mejorar el funcionamiento a velocidades elevadas modificando la leva excéntrica del ruptor de forma que éste esté cerrado más tiempo, para aumentar el tiempo de subida del voltaje.

Los otros dos tipos, controlados de forma electrónica, no sufren de esta limitación. Sus variaciones son de intensidad de la chispa. Ambos sistemas dan altos voltajes; en principio, el voltaje aumentará en la bobina hasta que supere la resistencia de la chispa (o de otro punto que encuentre). Pero sólo se dispone de una cantidad limitada de energía, por lo que a mayor voltaje menor corriente, o en el caso de la descarga capacitiva (por condensador), a mayor voltaje menos tiempo de descarga.

La bujía necesita un voltaje mínimo determinado para producir la chispa, que depende de las condiciones de funcionamiento. La chispa también necesita un cierto tiempo para producir la combustión del gas, por lo que es importante tener en cuenta el concepto de duración de la chispa. La mayoría de los sistemas de encendido de serie funcionan perfectamente con los motores de serie, pero lo normal es que no

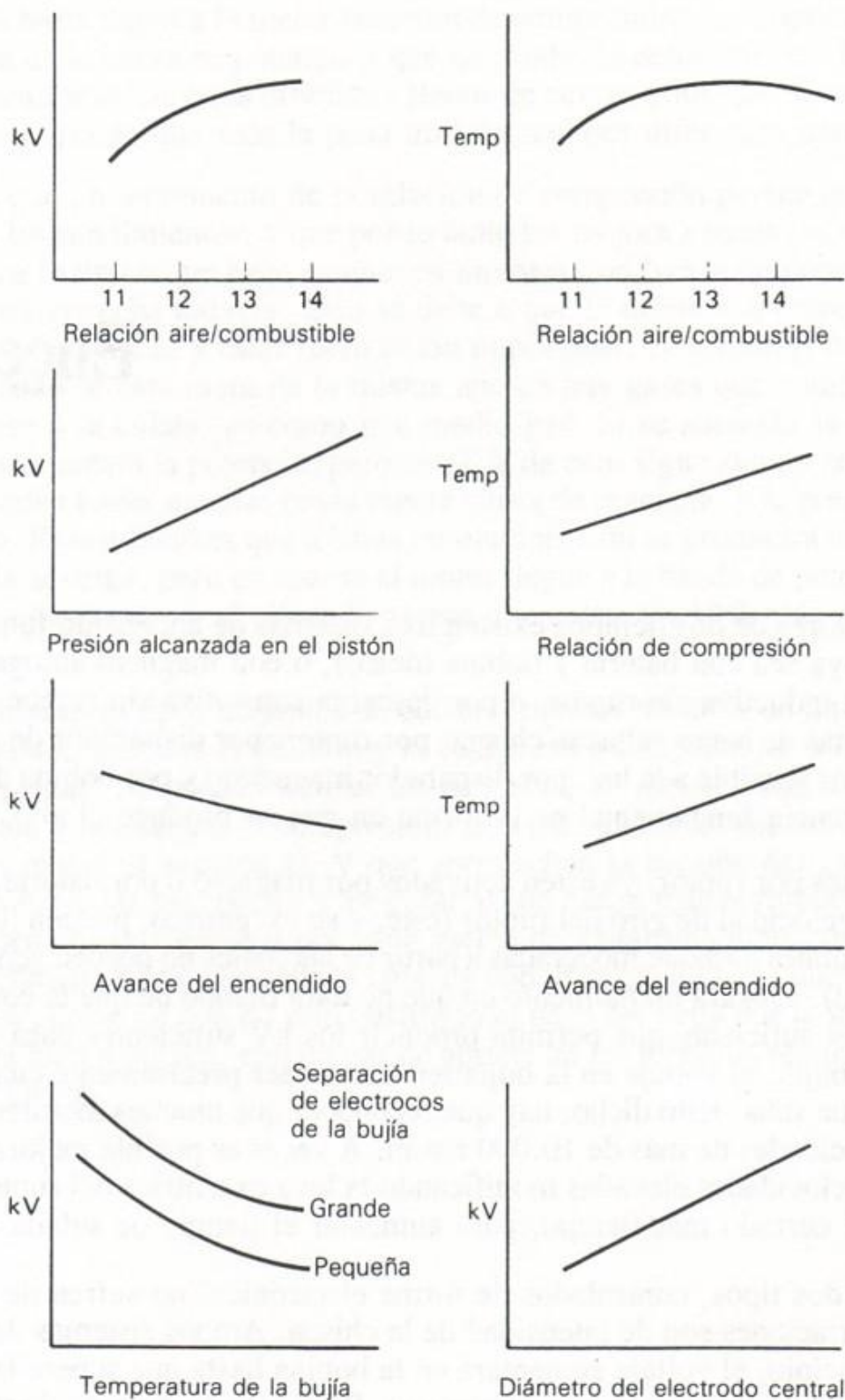


Fig. 60. Requisites de las bujías: variaciones del voltaje de la chispa y de la temperatura de las bujías y su relación con otras condiciones de funcionamiento.

se les pueda pedir mucho más, y si se les pide más, no dan abasto. El resultado, a veces, es un notable petardeo; es corriente, no obstante, que no se advierta de forma tan clara, y que lo único que se note es falta de potencia. Como se produce a revoluciones muy altas, muchas veces parece simplemente que el motor ha superado

su potencia máxima, y así quedan las cosas. A veces, cuando se traza un gráfico de la curva de potencia, su máximo tiene un pico muy pronunciado, como así es en la realidad.

Cuando el sistema de encendido alcanza su límite, se salta aproximadamente una chispa de cada varios centenares. Si se le fuerza más, se saltará dos chispas de cada varios centenares, o producirá chispas que no tienen la energía suficiente para producir el encendido de los gases. Es un proceso gradual, que no tiene el mismo aspecto que un petardeo, pero pronto empieza a quitar rendimientos de potencia. También impide que el motor responda a otros cambios.

Cuando se instala un sistema más potente, o quizás simplemente una bobina mejor, se recuperan las características normales de potencia. Se puede elegir entre utilizar una bobina mejor (de alto rendimiento, o de las que se emplean en los automóviles de carreras), utilizar un sistema de encendido de los punteros en el mercado, o instalar una magneto de carreras. Otro problema que puede presentarse con los sistemas de encendido de serie es que suelen retardar el encendido de forma drástica a un régimen ligeramente superior al de la potencia máxima, o bien llevan un limitador de revoluciones. Si es así, y si usted quiere aumentar la velocidad de giro del motor, no le quedará más opción que utilizar otro sistema de encendido.

Algunos sistemas tienen una curva automática de avance al encendido, que puede no servir para nada si se han modificado de forma drástica las características del motor. Aquí lo que se puede hacer es reglar el encendido de forma que sea óptimo en la potencia máxima, y aguantarse con lo que nos brinde para los otros regímenes, o bien utilizar un sistema que dé un avance fijo.

El reglaje mejor es el que hace que la bujía produzca la chispa antes del p.m.s. con tiempo suficiente de que se queme la mezcla y produzca la presión máxima en toda la carrera de bajada del pistón. Evidentemente, si la chispa se retrasa demasiado, la producción de potencia sufrirá las consecuencias, y si se avanza, se acumulará la presión sobre la cabeza del pistón antes de que éste llegue al p.m.s. y se producirá bastante ruido en la culata.

Por desgracia, las cosas no son tan sencillas porque hay muchas posiciones intermedias entre ambos extremos. Si pudiese hacer funcionar el motor a velocidad constante y avanzar lentamente el encendido, vería también cómo iba aumentando la potencia. También vería que aumentaría la temperatura hasta que, por último, se produciría un serio peligro de detonación o de avería del pistón. El secreto es renunciar a este pequeño incremento de potencia y retrasar el encendido hasta un poco antes de que la potencia empiece a caer de verdad.

La bujía desempeña cierto papel en todo esto, porque tanto el estado de sus electrodos como su coeficiente de pérdida de calor afectarán tanto a sus requisitos de voltaje como a la temperatura que alcancen sus electrodos. Esta ya puede ser suficiente para originar el autoencendido.

Según NGK, existen muchos factores que determinan los requisitos de voltaje de una bujía, y la mayoría de los mismos se verán alterados al modificarse el motor.

El voltaje debe ser mayor cuando la mezcla de gases sea correcta químicamente, pero disminuye cuando se enriquece la mezcla; la temperatura de la bujía también disminuye en este caso.

El voltaje aumenta en función directa de la presión interior del cilindro, y lo mismo sucede con la temperatura de la bujía. El voltaje necesario para el encendido llegará a su nivel máximo con el par motor máximo. El sistema de encendido no se puede comprobar simplemente apoyando la rosca de la bujía en la culata, haciendo girar el motor y comprobando si saltan chispas; recuerde que a mayor presión será necesario mayor voltaje. Dicho sistema sólo nos dice que el circuito está en buenas condiciones, y que la bujía no está sucia ni sufre un cortocircuito. A la presión atmosférica, la chispa debe ser capaz de saltar una distancia entre electrodos de unos 6 mm, medidos en un probador de chispas; depende también del sistema de encendido. La única forma de probar una bujía es en un probador de presión, que indica la presión a la que se produce el fallo de encendido.

Avanzar la chispa hará, de hecho, que el voltaje que necesita la bujía sea menor, por la sencilla razón de que cuanto más lejos estemos del p.m.s. habrá menos compresión. La chispa avanzada también eleva la temperatura de combustión, lo que a su vez hará que la bujía esté más caliente —y un incremento de la temperatura de los electrodos también hace que se precise un voltaje menor.

Las dimensiones de los electrodos también tienen su importancia sobre el voltaje requerido. Los electrodos de forma cuadrada, con bordes afilados, necesitan voltajes menores; el voltaje también es proporcional al diámetro del electrodo central, por lo que los electrodos de alambre delgado necesitan voltajes menores. Al estar compuestos de menos material, se desgastarían antes, por lo que se han desarrollado aleaciones especiales para superar este problema; en algunas bujías con electrodo delgado se utiliza el oro-paladio. NGK presentó una versión de competición, con un electrodo de alambre delgado pero de materiales menos exóticos; tiene la ventaja del voltaje, pero es verdad que se desgasta antes que las de oro-paladio, aunque esto no importa en una moto de carreras, y la bujía es bastante más barata.

Tabla 7.1. Pares de apriete de las bujías.

Tipo de bujía	Diámetro de rosca (mm)	Par de apriete (Kg-m)
Asiento plano, con arandela	18	3.5 a 4.0
	14	2.5 a 3.0
	12	1.5 a 2.0
	10	1.0 a 1.2
Asiento cónico, sin arandela	18	2.0 a 3.0
	14	1.5 a 2.0

Al incrementarse la distancia entre los electrodos de la bujía, aumenta el voltaje necesario para la chispa, mientras que al aumentar la temperatura de los electrodos se necesita un voltaje inferior.

Por último, la temperatura de los electrodos aumentará en función de la resistencia al avance y de la velocidad de giro, y también depende en cierto grado del par de apriete de la bujía (además del contacto entre la bujía y la culata, que dependerá a su vez de la suciedad y del estado de la arandela de la bujía). NGK recomienda los pares de apriete de bujías para las culatas de aluminio que se indican en la Tabla 7.1.

Tipos de bujías

El tamaño general de las bujías viene marcado por el diámetro de la rosca y por su longitud. Los tamaños más corrientes son de 10, 12, 14 y 18 mm de diámetro, con longitudes de roscas de 11'2 mm, 12'7 mm (12'5) y 19 mm (18). Las cifras entre paréntesis se refieren a las bujías para carreras; existen otras longitudes, pero éstas son las más corrientes para los motores de motocicleta.

Las bujías en sí tienen diversas características físicas, como la variedad de tamaños de la rosca hexagonal, diversas longitudes totales, superficies de apoyo planas o cónicas, y otras diferencias de construcción interna.

El factor más importante es el grado térmico de la bujía. Se llama así a la capacidad de eliminar el calor de los electrodos; una bujía que disperse menos el calor, hará que sus electrodos se calienten más que los de otra bujía que lo disperse mejor en las mismas condiciones. La dispersión del calor depende de los materiales utilizados y de la longitud del aislador central. Todos los factores que hemos citado afectan a la temperatura de la bujía, y el grado térmico tiene que estar determinado a la medida, para que los electrodos alcancen una temperatura óptima estable.

Esta será la temperatura a la que los electrodos puedan limpiarse a sí mismos, quemando los depósitos de combustible y de aceite, y a la que sea más eficiente el rendimiento de la bujía en cuanto a voltaje requerido para la chispa y en cuanto a desgaste. A temperaturas más bajas, los electrodos estarán demasiado fríos, se acumularán depósitos, se necesitará mayor voltaje, y la bujía acabará engrasándose o perlándose. A temperaturas más elevadas los electrodos se desgastarán muy deprisa (si la temperatura aumenta demasiado, se fundirán) y pueden calentarse tanto que provoquen autoencendidos.

Existe una región intermedia en la que la bujía se puede autolimpiarse al mismo ritmo en que se acumulan los depósitos. Esto depende de la temperatura y de la riqueza de la mezcla; una mezcla pobre no originará tantos depósitos, y la bujía podrá funcionar a temperaturas más bajas; una mezcla rica exigirá temperaturas mayores, porque, si no, se ensuciará la bujía. El acumulamiento de depósitos en los electrodos aumenta también el voltaje necesario para producir la chispa, hasta que cuando el sistema de encendido no lo puede ofrecer, se producen fallos de encendido.

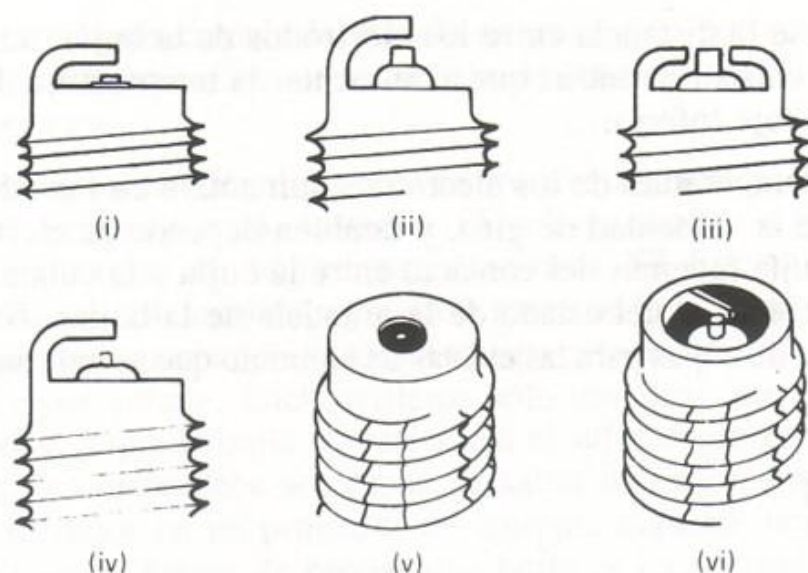


Fig. 61. Tipos de bujías. (i) Normal. (ii) Electrodo adelantados. (iii) Electrodo de masa doble. (iv) Electrodo delgado. (v) Descarga superficial. (vi) De carreras.

En la región intermedia, se dan unas condiciones en las que si se emplea gasolina con plomo se puede ensuciar la bujía por el plomo. A temperatura ambiente, estos depósitos tienen el aspecto de un barniz amarillo y brillante sobre el aislante central, lo que no afecta al rendimiento de la bujía. Pero en la zona de los 400°C , esto se convierte en un material fundido que conduce la electricidad y que puede producir encendidos en falso.

El grado térmico de la bujía viene indicado por su código de clasificación. Por ejemplo, NGK utiliza números: a menor número, más caliente será la bujía; si se utiliza una bujía con número mayor, quiere decir que a igualdad de condiciones estará más fría.

Además del grado térmico, existen otras diferencias de materiales y de diseño que hacen que las bujías sean más adecuadas para ciertas aplicaciones. Entre ellas se cuentan las siguientes:

Cabeza larga

Es igual en su construcción a una bujía corriente, pero el electrodo central y su aislador sobresalen más. Esto permite que la punta del electrodo responda con rapidez a los cambios de temperatura del motor, y que se pueda calentar rápidamente cuando el motor arranque en frío, y mantener la temperatura cuando el motor marcha al ralentí. Esto impide que se ensucie a regímenes bajos y al arrancar en frío, mientras que, al entrar más en los gases, los electrodos se refrigeran cuando el motor sufre una resistencia mayor, de forma que el grado térmico se incrementa en la práctica. Esta bujía no puede superar bien el problema de la acumulación progresiva de depósitos, requisito de las bujías para carreras.

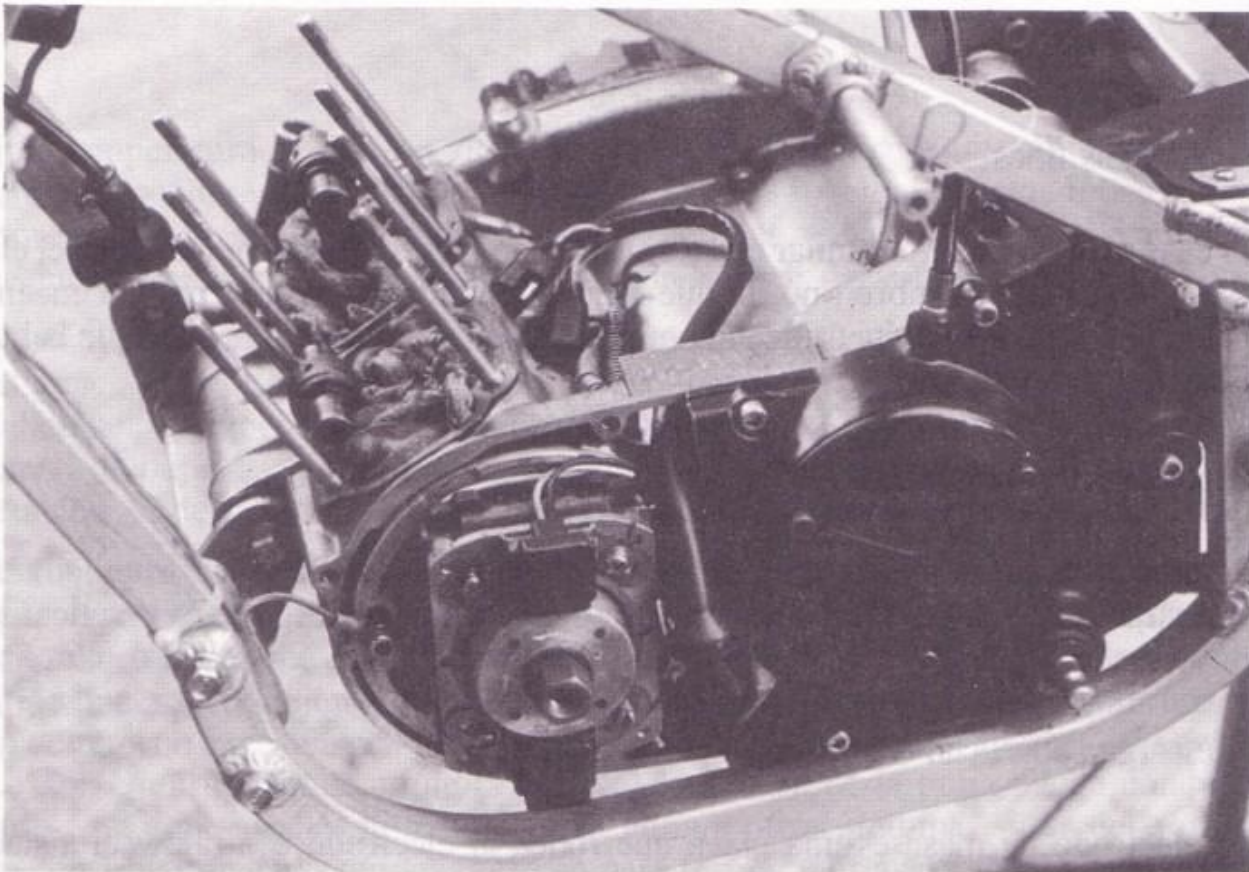


Fig. 62. Elementos captadores del encendido en una RD350LC preparada para carreras.

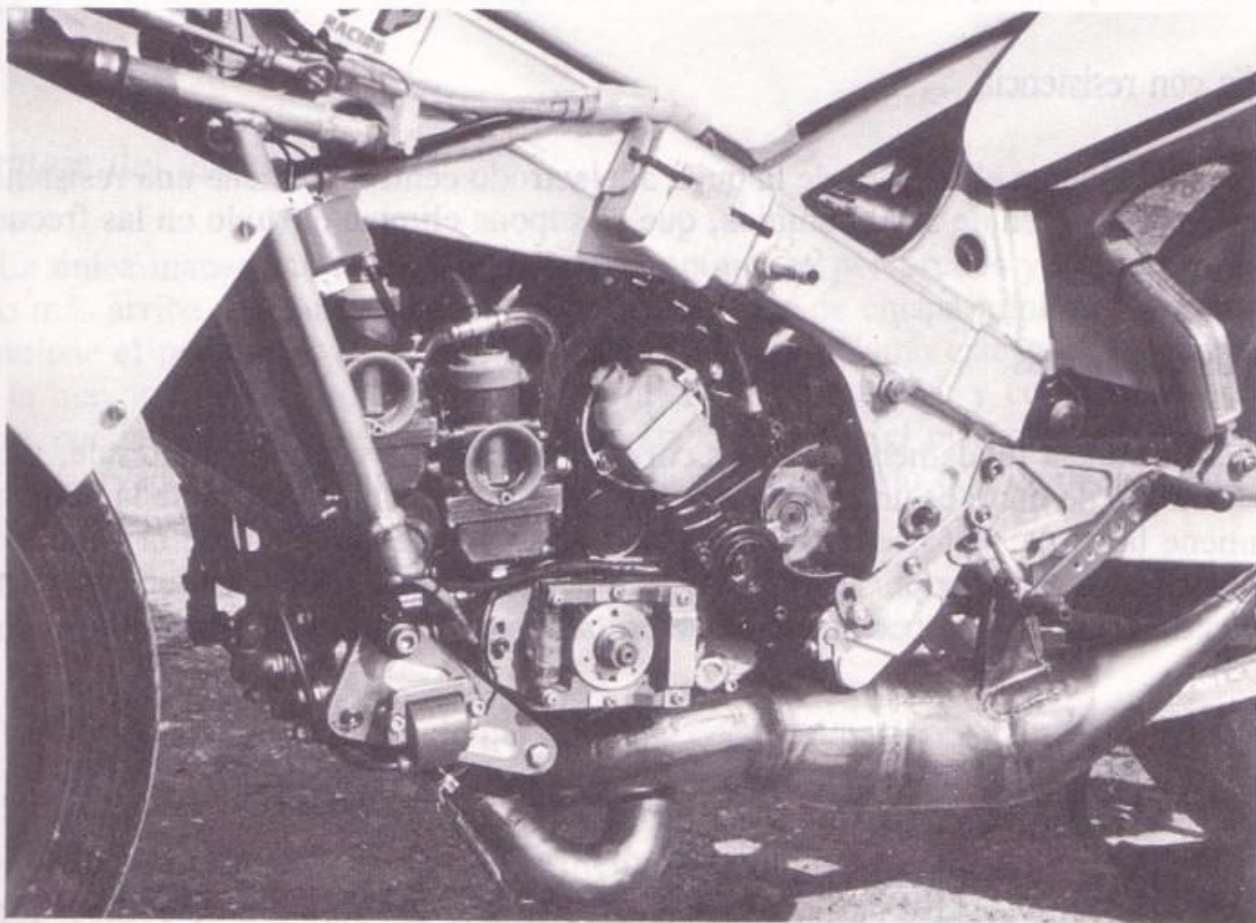


Fig. 63. Esta RD500, preparada para Fórmula 1, tiene una magneto de carreras. Advértase también el recorrido del escape. Para conseguir dar esa forma a los tubos hechos a medida, se utilizan sistemas de presión hidráulica.

De electrodos finos

(Véase más arriba). Es similar en su construcción a la bujía corriente, pero el electrodo central es de alambre fino, lo que reduce el voltaje necesario para el encendido. El alto desgaste se evita utilizando materiales especiales, lo que hace que la bujía sea cara.

De doble electrodo de masa

Se creó para su empleo a altas temperaturas que causan altos desgastes; al tener dos separaciones para el salto de la chispa, su resistencia al desgaste es prácticamente doble.

De descarga superficial

El electrodo de masa es una placa que rodea al electrodo central, y el aislador tiene muy poca superficie. En consecuencia, es una bujía muy fría que se debe utilizar con un sistema de encendido potente por descarga capacitiva, que puede provocar una chispa aunque se haya ensuciado la bujía.

Bujía con resistencia

La conexión en el interior de la bujía al electrodo central contiene una resistencia elevada, del orden de 5.000 ohmios, que se supone elimina el ruido en las frecuencias de radio.

Bujías de carreras

La diferencia fundamental con las corrientes es que la punta no sobresale, y que el electrodo de masa es un apéndice corto y recto que sale del borde de la parte que contiene la rosca. Esto se hace para evitar el sobrecalentamiento de la bujía y los daños que pueda sufrir por los golpes mecánicos. Los electrodos pueden estar fabricados de aleaciones especiales (se suelen utilizar el níquel y el platino).

“Leer” las bujías

Dada la gran variedad de factores que afectan a la temperatura de combustión y al funcionamiento de la bujía, y dada la gran diversidad de bujías que existe, es fácil comprender que la “lectura” de las bujías le servirá de poco. En términos absolutos, se entiende. El color de los electrodos y del aislador variará en función de la

última temperatura que hayan alcanzado, y el nivel de depósitos sobre los mismos también dependerá de una serie de condiciones de funcionamiento. Existen tantos factores que pueden llegar a alterar esas condiciones, entre ellos el tipo de bujía mismo, que es imposible llegar a una conclusión a partir del estudio de una sola bujía.

Pero puede servir de algo más si se utiliza como término de comparación, con inteligencia. En primer lugar, la bujía debe tener el grado térmico adecuado a las condiciones de funcionamiento; en segundo lugar, se debe conocer el aspecto que presenta la bujía cuando el motor funciona de forma normal; a partir de ahí, toda alteración se debe asociar a un cambio de las condiciones de funcionamiento.

Un incremento de temperatura, que da a la bujía un color más claro, hasta que llega a ponerse totalmente blanca, se puede deber a los cambios en la riqueza de la mezcla, o al avance del encendido. Cuando se producen cambios que actúan en sentido opuesto (por ejemplo, un incremento en la temperatura causado por una presión de retorno excesiva en el escape, y que se compensa por el retraso del encendido o por el enriquecimiento de la mezcla) la lectura de la bujía puede conducir a errores. Se debe asociar la lectura de la bujía a otros síntomas, y se debe utilizar para confirmar nuestras teorías, pero no para formar teorías nuevas. A veces resulta útil levantar la culata y observar el color y nivel de depósitos sobre la misma, y sobre el pistón. Cuando los depósitos son oscuros, quiere decir que la temperatura es menor.

Reglaje del encendido

La única manera de descubrir el reglaje óptimo es por prueba y error, como se dijo más arriba, de forma que se aplique un avance de chispa mínimo mientras se mantiene el par motor para cada régimen del motor. Como este reglaje es crítico en la mayoría de los motores de dos tiempos bien ajustados, y como un pequeño error puede hacer que se perfore en seguida la cabeza del pistón, más vale pecar de conservadores (retrasar la chispa) y reglar el encendido con cuidado de forma que físicamente esté en la posición exacta deseada.

Lo mejor es encontrar la cota del motor con un disco graduado, utilizarlo para marcar el volante del cigüeñal y confirmar el reglaje con el motor en marcha, con un estroboscopio.

1) Si la culata tiene el orificio para la bujía en su centro, y éste es recto, entonces se puede acoplar un calibre sonda con un accesorio adaptador para el mismo que se enrosca como la bujía. Si ésto no se puede conseguir, entonces el calibre sonda sólo se podrá utilizar a través del orificio de la bujía para localizar el p.m.s., ya que toda medida directa no será exacta. En este caso, retire la culata y sujete el aparato de medida con una abrazadera que lo mantenga de forma vertical sobre el centro de la cabeza del pistón. No olvide mantener atornillado el bloque del cilindro al cuerpo del motor (prepare un calzo que vaya debajo de las tuercas de la culata,

si es necesario) porque esto (a) impedirá que el pistón eleve el cilindro accidentalmente cuando se haga girar el motor a mano y (b) evitará que la presión del cárter atraviese la junta entre el cilindro y el cuerpo, lo que también lo desplazaría.

2) Localice el p.m.s. Esto, y todo el reglaje de encendido, se puede conseguir con un disco graduado *si y sólo si* éste se puede fijar de forma rígida y concéntrica al eje del cigüeñal. Para utilizar el disco, prepare un tapón que se pueda enroscar al orificio de la bujía o colocar de otra manera de forma que detenga al pistón aproximadamente a la mitad de su carrera de subida. Haga girar el motor hasta que llegue a dicho tope, marque el disco en un punto de referencia, y haga girar el motor en el otro sentido hasta que vuelva a llegar al tope. El p.m.s. y el p.m.i. estarán a mitad de camino entre ambos puntos de referencia del disco.

3) Coloque el motor en la cota indicada por el fabricante para el encendido o en la que quiera usted aplicar. Si existe alguna posibilidad de falta de exactitud por holgura en la toma del ruptor/generador de impulsos, haga girar el motor hasta muy atrás y aváncelo hacia delante en la dirección normal hasta el punto de sincronización.

Para utilizar el disco graduado, se debe colocar a cero la marca indicadora cuando el motor esté en el p.m.s. Entonces, el disco nos indicará los grados antes o después del p.m.s.; se debe prestar gran cuidado de alinear el indicador y de mantenerlo próximo al disco para que la lectura no sufra error de paralaje, que se produce cuando usted no mira el disco directamente de frente.

Para utilizar un calibre sonda con dial, coloque el pistón en el p.m.s, haciendo oscilar el motor en la zona en que la aguja cambia de dirección. Haga girar la escala graduada de forma que la aguja marque el cero, y entonces el instrumento indicará los milímetros de distancia de la cabeza del pistón al p.m.s. Haga girar el motor hacia atrás, pasada la cota de encendido, y vuelva a hacerlo girar hacia adelante hasta situarlo en dicha cota.

4) Con el motor en la posición de encendido (si existe avance automático, el motor debe estar en la posición de máximo avance de chispa), marque el volante del cigüeñal en una posición adecuada, de forma que coincida con otra marca sobre la carcasa del cárter (puede que ya existan marcas; este proceso le servirá para comprobar su exactitud). Estas marcas se deben utilizar en conjunción con el estroboscopio, con el motor en marcha. Se debe ajustar el encendido de forma que salte la chispa en esa cota:

- (a) Los contactos del ruptor (platinos), que se deben ajustar para que su apertura sea la indicada, deben dejar de hacer contacto en esa cota. La mejor forma de comprobarlo es conectar a los platinos un ohmiómetro (medidor de resistencia eléctrica), o una batería y una bombilla, o una batería y una chicharra eléctrica, de forma que se pueda ver u oír el contacto eléctrico de forma exacta.
- (b) En los sistemas sin ruptor, existen algunos sistemas de disparador cuyo funcionamiento se aprecia a simple vista y se puede reglar en consecuencia; con otros, tendrá que fiarse de las marcas de registro colocadas por el fabricante,

o de la medida de una abertura entre las piezas móviles. Esta abertura se debe reglar y luego comprobar su funcionamiento por medio del estroboscopio.

5) Cuando esté montado el motor, conecte el estroboscopio a la toma de la bujía y, si es necesario, a una toma externa de energía eléctrica, ponga en marcha el motor y arroje la luz del estroboscopio sobre el volante del cigüeñal. La marca del volante indicará en qué posición está saltando la chispa de la bujía en relación a la marca del volante, y esto se puede comprobar a todos los regímenes. Si aparecen diferencias, marque la carcasa en la posición de la marca del volante a la luz del estroboscopio, y vuelva a reglar el encendido para compensar esta diferencia. Vuelva a repetir el proceso hasta que la sincronización sea perfecta.

Carburadores

Un motor necesita, teóricamente, una mezcla de aire y combustible en una proporción aproximada de 14:1 (peso del aire:peso del combustible). La mayoría de los motores dan sus resultados óptimos cuando se aumenta ligeramente la proporción de combustible por encima del óptimo químico; los motores de dos tiempos bien reglados van más allá y exigen una mezcla notablemente más rica. Esto se debe en parte a que el calor latente del exceso de combustible ayuda a refrigerar el pistón, y en parte a que el flujo de gases sufre alteraciones tan radicales que es la única manera de asegurarse de que exista suficiente combustible en la cámara de combustión en el momento adecuado.

La teoría supone que la mezcla de aire y combustible es homogénea, que el combustible se divide en partículas lo más pequeñas posibles, y que éstas se reparten de forma homogénea por el gas. Por desgracia, en la práctica no es así, y la persona que tenga que trabajar con carburadores para motores de dos tiempos se dará cuenta en seguida de que además de la situación teórica ideal, existen otras tres situaciones de la mezcla: rica, pobre y húmeda.

Sin tener en cuenta cuánto combustible alcanza el chorro de aire, si todo se concentra en un goterón líquido, será imposible provocar su explosión. Esto es lo que llamamos mezcla "húmeda", y puede provocar el desagradable efecto de que una mezcla rica parezca pobre. Esta situación es inevitable en un motor de dos tiempos, en el que se mueven ondas de presión violentas por el flujo de gases, y existen también bloqueos físicos, como las válvulas de láminas o los cigüeñales, que interrumpen el paso del vapor de gases a alta velocidad. Gran parte del combustible de la nube de gases se condensa, y luego se vuelve a evaporar y vuelve a la nube de gases, y el motor sólo encontrará un punto de equilibrio cuando la evaporación iguale a la condensación.

El mecánico de puesta a punto no puede ver ni controlar esto. Lo único que puede hacer es medir el flujo de entrada de combustible en el motor por un lado, y la producción de potencia en el otro, y esperar que los dos valores estén relacionados de alguna manera.

La prueba de evaporación más corriente supone hacer funcionar el motor a régimen constante mientras se varían el flujo de combustible y la resistencia al avance. Con la mezcla en su máxima riqueza, el motor empezará a fallar, a marchar a cuatro tiempos y a producir humo; al ir empobreciendo la mezcla, aumentará la potencia al freno, y luego volverá a caer y el motor empezará a petardear cuando la mezcla se empobrezca del todo. El resultado de esta prueba se llama bucle de mezclas, por la forma que tiene cuando se representa como gráfico del caudal de combustible contra la potencia al freno. Un punto del bucle indicará la potencia al freno máxima, y se suele reglar el carburador no a este nivel sino al inmediatamente superior, más rico. Esto parece bastante sencillo y directo, pero descubrirá que el calibre del surtidor que daba la mayor potencia al freno a 6.000 r.p.m. no tiene nada que ver con el que hace falta para dar la máxima a 9.000 r.p.m. Ahora, lo que se precisa es conseguir algo que nos dé una potencia al freno, máxima a toda una serie de regímenes, y este requisito es lo que se llama la curva de combustible, que sería la línea que se hallaría uniendo todos los puntos óptimos de los diferentes bucles de mezclas para cada régimen. Para comprender por qué un solo surtidor no puede cubrir todas las necesidades a los diferentes regímenes, tendremos que revisar un poco la teoría de cómo funcionan los carburadores.

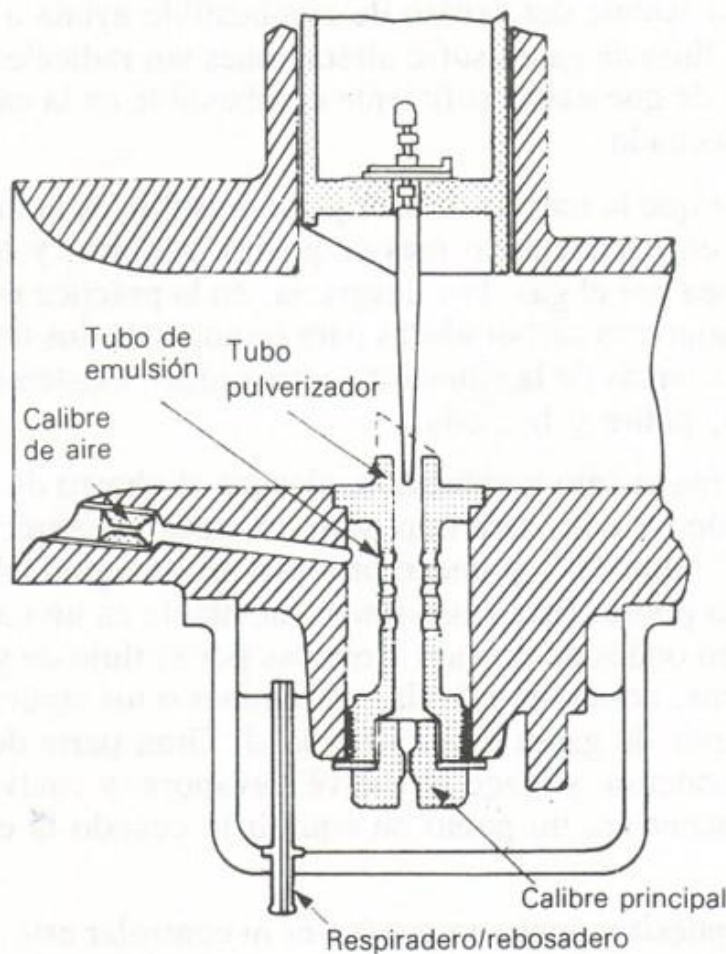


Fig. 64. Componentes fundamentales de un carburador con entrada secundaria de aire.

Fig. 65. Tubo pulverizador con "estrechamiento primario", lo que supone una alternativa al tubo de emulsión. La altura y la forma del estrechamiento primario desempeñan un papel importante en el nivel de alimentación de combustible.

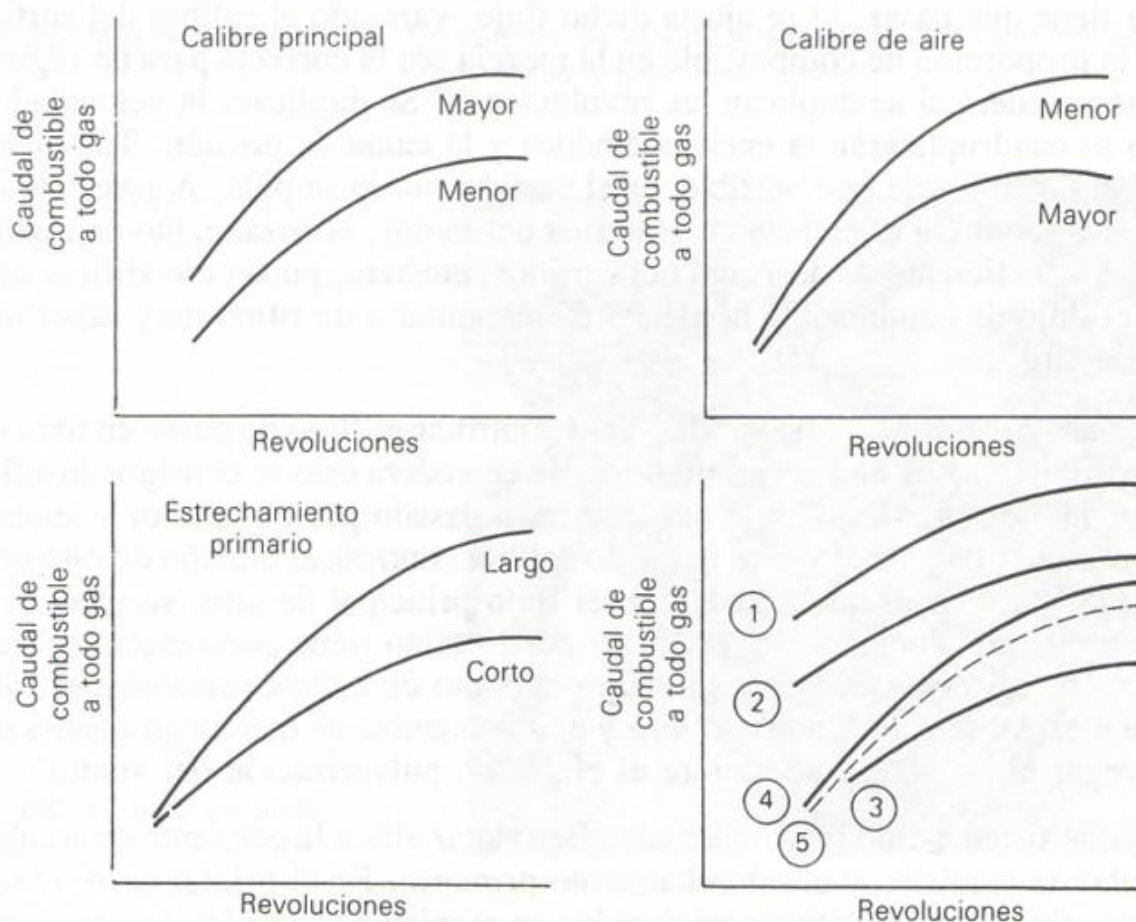
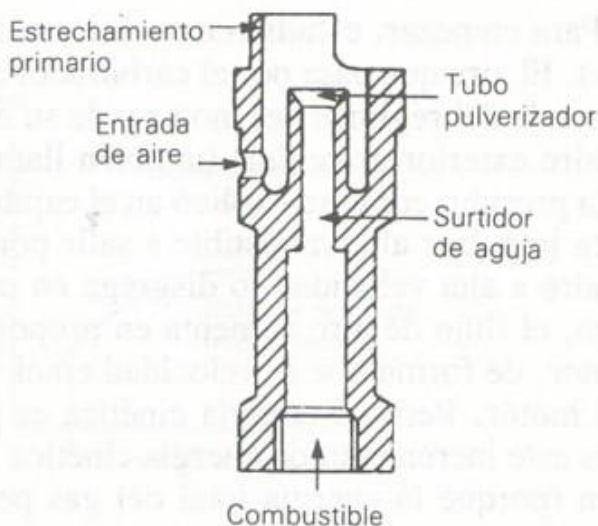


Fig. 66. Efecto de los cambios de calibre principal, de calibre de aire y de estrechamiento primario sobre el caudal de combustible a diferentes regímenes. Abajo, derecha: secuencia típica de trabajo en el reglaje. La línea de puntos (5) representa la entrega de combustible que permite una carburación óptima a todos los regímenes. La línea (1) representa un primer experimento con un calibre principal de 115 y uno de aire de 0.8. Esto produjo una mezcla demasiado rica a todos los regímenes. La línea (2) es el resultado de reducir el calibre principal a 110: mezcla casi correcta a altas revoluciones, demasiado rica a bajas. La línea (3) es el resultado de reducir el principal a 105: correcto a regímenes bajos, demasiado débil a altos. Con el mismo calibre principal de 105 pero con un calibre de aire menor (0.5) se consiguió la situación (4), bastante próxima a la ideal.

Para empezar, estudiaremos únicamente el carburador totalmente abierto (a todo gas). El aire que pasa por el carburador alcanza una velocidad bastante elevada, que depende del régimen del motor y de su eficiencia volumétrica. En comparación con el aire exterior al venturi (también llamado difusor) el aire a alta velocidad está a baja presión, como se explicó en el capítulo 4. Esta diferencia de presiones se utiliza para impulsar al combustible a salir por los diferentes surtidores al venturi, donde el aire a alta velocidad lo disgrega en partículas finas y lo lleva hacia el motor. Y bien, el flujo de aire aumenta en proporción directa (más o menos) al régimen del motor, de forma que la velocidad en el venturi también es proporcional al régimen del motor. Pero su energía cinética es proporcional al *cuadrado* de su velocidad, y es este incremento de energía cinética lo que origina la *pérdida* de energía de presión (porque la energía total del gas permanece constante).

El flujo de combustible dependerá de la caída de presión, y del calibre del surtidor por el que tiene que pasar. Si se ajusta dicho flujo, variando el calibre del surtidor hasta que la proporción de combustible en la mezcla sea la correcta para un régimen dado, ¿qué sucederá si se duplican las revoluciones? Se duplicará la velocidad del aire, pero se cuadruplicarán la energía cinética y la caída de presión. También se cuadruplicará el flujo de combustible, si el surtidor no lo impide. A pesar de que otros factores, como la eficiencia volumétrica del motor, el rozamiento en algunos conductos, el coeficiente de descarga del surtidor, etcétera, puedan modificar estos cálculos, el flujo de combustible no dejará de aumentar a un ritmo muy superior al del flujo de aire.

Es evidente que habrá que hacer algo para controlar el flujo de gases en toda una gama de revoluciones, y en los carburadores de corredera esto se consigue insuflando aire al combustible, después de que éste haya pasado por el surtidor y antes de que salga a la corriente de aire. Un pequeño calibre controla el tamaño de este orificio de purga, y, al igual que sucede con el flujo principal de aire, su efectividad aumenta con las revoluciones del motor, y por lo tanto tiene poco efecto sobre el combustible a regímenes bajos, y su efecto máximo es a altas revoluciones. Otra ventaja de mezclar por adelantado el aire y el combustible es que luego resulta más fácil disgregar el líquido, y se mejora el efecto de pulverización del venturi.

Existen dos sistemas fundamentales para introducir aire a la corriente de combustible: el tubo de emulsión y el estrechamiento primario. En el primer caso, el tubo pulverizador tiene varios orificios perforados en el mismo (llamados a veces sopladores) y pasa por una cámara o pozo, que se conecta con el paso principal de aire por un canal pequeño. El aire que entra en la cámara se mezcla con el combustible, y así lo que sale por el pulverizador es un líquido espumoso. Esto tiene la ventaja de que cuando se cortan gases y se vuelven a abrir, el líquido espumoso no cae por el tubo tan deprisa como lo haría un líquido limpio. Y cuando el motor está al ralentí y pasa muy poco o ningún aire por el paso principal, el pozo se llena de combustible, y sirve de reserva de mezcla rica (arbitraria) cuando se abre el carburador de golpe. Esto tiene el mismo efecto que una bomba de aceleración, y permite una aceleración repentina y regular.

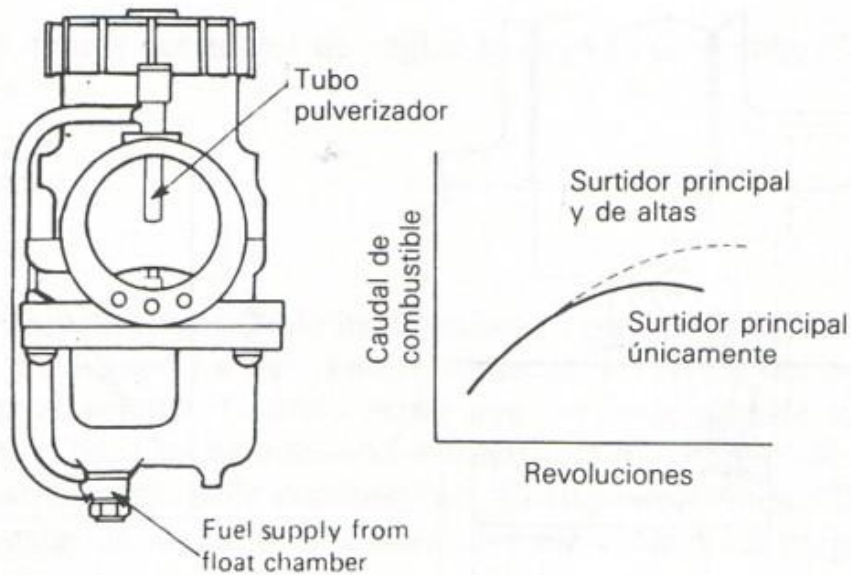


Fig. 67. Más refinamientos (i). Un surtidor de aire de altas revoluciones aumentará el flujo de combustible a regímenes altos.

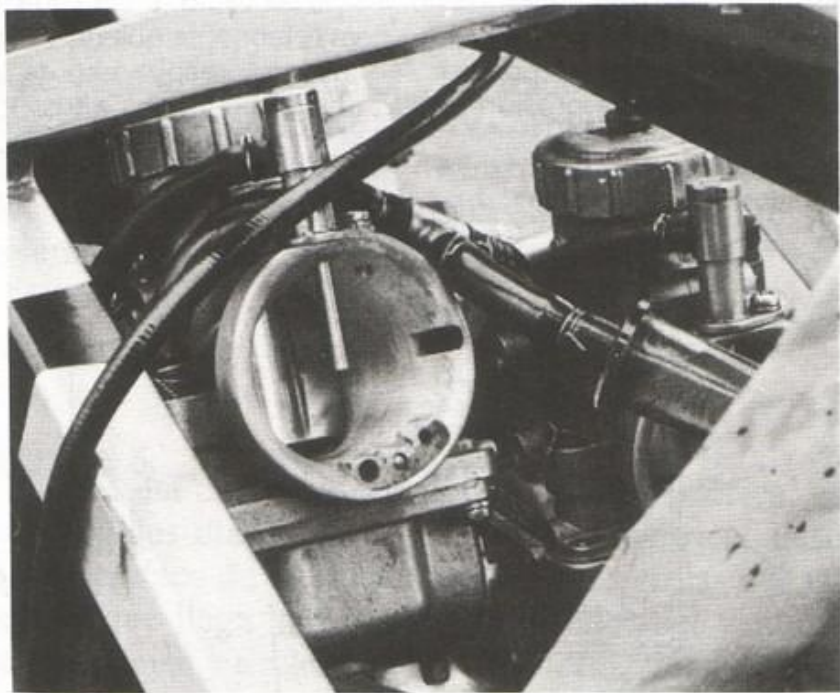


Fig. 68. Surtidor de altas en un carburador Mikuni.

El estrechamiento primario consiste en un reborde que rodea a la parte de entrada del tubo pulverizador, y que no añade aire al combustible hasta que éste ha llegado al tubo pulverizador. Aumenta el nivel de entrada de combustible a regímenes altos, y resulta útil en los motores de dos tiempos con banda de potencia estrecha, que sí necesitan mucho más combustible a revoluciones altas. El flujo de combustible y el nivel de pulverización se pueden modificar en función de la altura y de la forma del estrechamiento primario. También es posible tener tubo de emulsión y reborde alrededor del tubo pulverizador, consiguiendo así un aumento del flujo a regímenes altos y mejorando la pulverización.

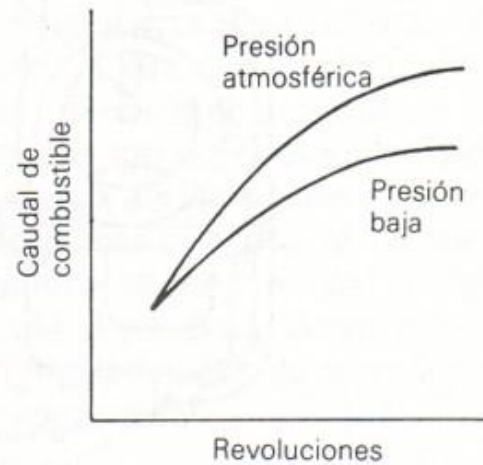
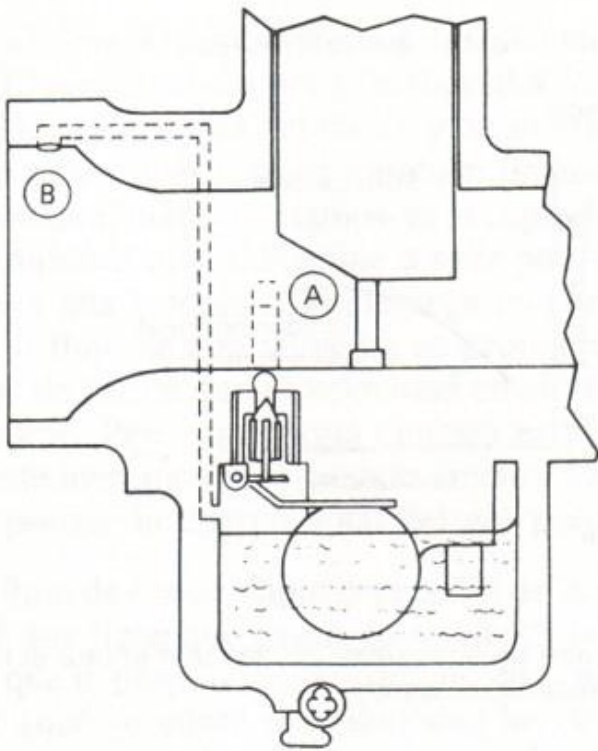


Fig. 69. Más refinamientos (ii). Toma de vacío; en la zona de entrada al carburador B se producen bajas presiones con la corredera totalmente abierta (a todo gas) y a regímenes altos. El combustible entra en la cuba por A, y el único respiradero de la misma está conectado a B, por lo que se reduce la presión de la cuba a regímenes altos, lo que reduce a su vez el caudal de combustible.

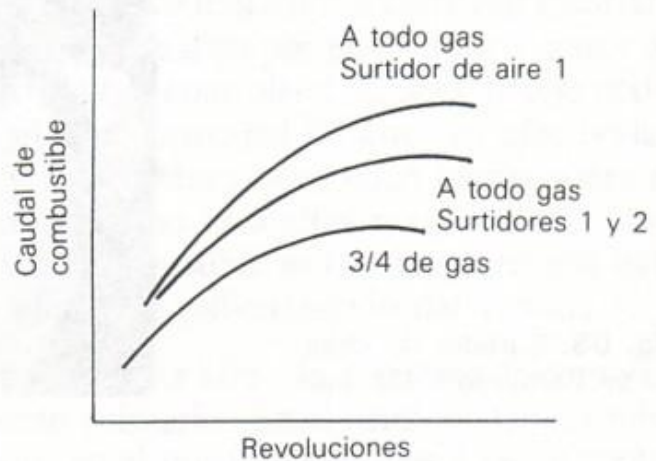
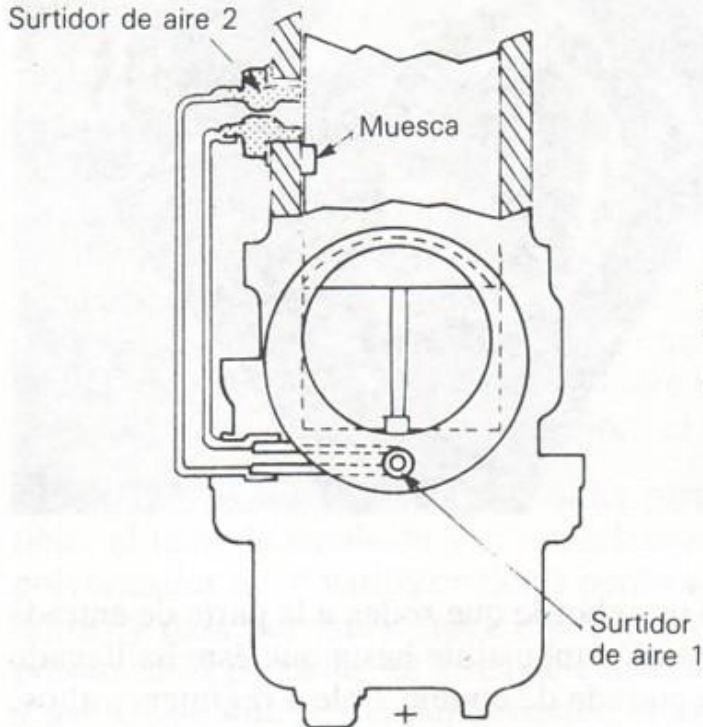


Fig. 70. Más refinamientos (iii). Segundo calibre de aire. A veces el calibre de aire que es adecuado a todo gas no es compatible con el acelerador abierto parcialmente. En este caso, un segundo calibre de aire queda bloqueado por la corredera de aceleración hasta que ésta llega a su posición de máxima abertura, en la que una muesca o rebaje de la corredera descubre la toma de aire. Esto sirve para reducir la salida de combustible a regímenes altos, con acelerador totalmente abierto, pero no la reduce cuando el acelerador está sólo abierto a 3/4 o menos.

Otros sistemas menos corrientes de reglar la llegada de combustible a todo gas son los siguientes:

Surtidor de altas

Este es un surtidor de combustible independiente, que envía combustible a un paso que está en la parte superior del venturi, antes de la válvula del acelerador. Una boquilla se asoma al venturi. Cuando existe una corriente de aire suficiente sobre dicha boquilla como para hacer que suba combustible a la misma desde la cuba del carburador, el sistema deja salir combustible. El flujo de combustible depende de su altura y el tamaño de su calibre, y normalmente entrará en juego a regímenes altos y con el acelerador muy abierto.

Entrada de aire de altas

Esta es una segunda entrada de aire que, por el exterior del carburador, queda bloqueada por la corredera del acelerador hasta que el carburador llega al estado de "a todo gas". En ese momento, una ranura tallada en la corredera deja abierta la entrada de aire. Esto aumenta el efecto de la entrada de aire principal, es decir, empobrece la mezcla a altas velocidades, pero no tiene ningún efecto sobre el reglaje del carburador cuando el acelerador no está abierto del todo.

Purga de vacío

Normalmente, la presión en la cuba del carburador es igual a la atmosférica, es decir, constante dentro de las variaciones diarias de la presión barométrica. Pero algunos carburadores no tienen los orificios de ventilación habituales en las cubas, sino que tienen un conducto interno que llega hasta la parte superior del venturi, antes de la corredera. A revoluciones bajas y acelerador poco abierto, tiene el mismo efecto de un orificio de respiración corriente. Con el acelerador abierto y altas revoluciones, el respiradero tiene una baja de presión por el flujo de gases que atraviesa su salida. Esto reduce la presión en la cuba, y por tanto reduce la presión en el surtidor principal a regímenes altos. Esto se utilizaba bastante en las primeras Suzuki 250 y 500 de dos cilindros.

Si pasamos a estudiar la situación con aceleración parcial (no a todo gas), se pueden aplicar los mismos criterios, y la carburación se regla por los mismos ensayos, controlándola de forma sistemática a medio gas, a cuarto de gas, etcétera, y cambiando los calibres de los surtidores adecuados para conseguir un bucle de carburación. Evidentemente, es una labor pesada, complicada más aún por el hecho de que cada sistema (juego de calibres) nos dará resultados similares a los de sus vecinos

próximos en algunos casos. La forma de trabajo más corriente es: a todo gas (calibre del surtidor principal, calibre del aire de emulsión); al ralentí (calibre de ralentí, ajuste del flujo/volumen de aire; tope de la corredera del acelerador); con acelerador medio-alto (aguja, calibre del tubo pulverizador); acelerador medio-bajo (aceleración a partir del ralentí, falda de la corredera).

Por el grado de solapamiento que tienen los diversos factores entre sí, hará falta repetir el proceso dos o tres veces, y dejar de lado el último paso cuando el motor marche de forma aceptable. Esto se debe a que cuando esté todo bien reglado para régimen constante, hay que reglar el carburador para que acelere bien, para que responda limpiamente al acelerador, y para que pase de un sistema a otro sin puntos muertos. Los conductos de ralentí y la forma de la falda de la corredera son los factores que influyen más sobre el reprise inicial.

Surtidor principal

Existen calibres para el surtidor principal (chiclés) de cinco o seis tipos diferentes; algunos tienen pasos de rosca diferentes, otros tienen cabezas hexagonales y otros las tienen redondas. Aun así, es posible confundir dos o tres tipos parecidos, y lo más fácil es utilizar siempre el mismo, siempre que sea consciente de sus características.

La primera diferencia es la forma del calibre (el orificio), que tendrá una entrada hidrodinámica. En otros tipos, que se llaman de flujo inverso, el orificio entra más en el cuerpo del surtidor y los mayores de este tipo dejan pasar mucho más combustible que los de otros tipos a igualdad de calibres.

Otro problema es el del tamaño mismo de los calibres. Algunos llevan grabado el diámetro del calibre (en milímetros), otros llevan una indicación del caudal en cc/min. Como las dos escalas coinciden en algunos puntos, es fácil confundirlos entre sí.

Por último, además de los chiclés tradicionales de metal, existen otros de plástico, y aunque tengan el mismo tamaño oficialmente, pueden dejar pasar caudales algo diferentes. No tiene importancia, si está utilizando el mismo tipo de chiclés, porque un 105 siempre dejará pasar más que un 102'5, pero si mezcla los dos tipos puede que lo dicho ya no se cumpla.

El calibre del surtidor principal se elige pensando en la potencia en el intervalo entre el acelerador abierto a tres cuartos y a todo gas, pero tendrá cada vez menos efecto según se vaya bajando hasta cuarto de gas, o menos. Por eso se debe elegir primero el calibre del surtidor principal.

Lo corriente es procurar elegirlo de forma que nos dé una mezcla un poco demasiado rica, e ir bajando hasta que la carburación sea casi correcta, luego dedicarse a los demás sistemas y volver otra vez al surtidor principal. En función de nuestras posibilidades de trabajo, se puede elegir el mejor calibre de surtidor principal de for-

ma que nos dé buena potencia a pocas revoluciones, y se puede utilizar el calibre del aire de emulsión para ajustar el flujo de combustible a revoluciones altas; o bien se puede empezar a regímenes altos e ir ajustando el flujo para los bajos; no importa, siempre que usted sea capaz de reconocer los síntomas que da el motor cuando empieza a funcionar con mezcla pobre, antes de que ésta sea peligrosamente pobre. Los síntomas son los siguientes: aumento de la temperatura, el motor pica, pérdida de potencia, quizás se note un cambio de tono en el sonido del escape, puede incluso haber algo de petardeo, las bujías se calientan en exceso. Si está pilotando la moto, seguramente no aprecie más que la pérdida de potencia: advertirá que pierde un poco de velocidad, que el cuentarrevoluciones cae ligeramente, quizás sea capaz de percibir la diferencia de tono del sonido del escape. Sobre una moto más pequeña podrá apreciar el picado del motor con facilidad. Es difícil que el indicador de temperatura del agua advierta rápidamente el aumento de temperatura; es más fácil de detectar por medio de un termopar bimetálico conectado a una de las bujías, que avisará rápidamente. Un motor de carreras no soportará más que pocos segundos de marcha con mezcla muy pobre, y algunas máquinas son tan sensibles a la carburación que el bucle completo lo pueden cubrir con sólo tres o cuatro calibres de chicle para el surtidor principal.

Una sensibilidad tan notable suele indicar que alguna otra cosa falla: desequilibrio entre la admisión y el escape, temperatura de combustión demasiado elevada, etcétera, pero ésto no quiere decir que sea fácil de descubrir ni de solucionar.

Dado que la carburación es un factor crítico, es fundamental que todo lo demás sea correcto (sobre todo el reglaje del encendido) antes de intentar que la mezcla esté bien reglada.

Calibre de aire

Como se dijo arriba, se utiliza para modificar la curva de combustible del surtidor principal para que el paso de combustible sea óptimo en un intervalo ancho de revoluciones. En los carburadores de la mayoría de las máquinas de serie, no es un calibre que se pueda cambiar, sino un simple orificio o un chicle metálico que está metido a presión en un orificio. En consecuencia, para que se pueda hacer ajustable, se debe tallar una rosca en el paso de aire para que acepte otros calibres. Para la mayoría de los carburadores existen en el mercado kits de calibres de aire.

Si el calibre de aire no da un juego suficiente, lo que se puede hacer es conseguir el mejor reglaje posible del paso de combustible al régimen máximo del motor, y, por medio de calibres de combustible mayores y calibres de aire menores, dejar que la mezcla siga rica a menos revoluciones, o poner un surtidor de altas. En este último caso, se puede reglar el paso del combustible a revoluciones menores, y lo que a velocidades altas sería una mezcla pobre, se corrige con el surtidor de altas. Algunas motos de GP tienen dos surtidores de altas, reglados para que entren en funcio-

namiento de forma progresiva. Algunos modelos grandes de carburador Mikuni tienen surtidores de altas, o tienen la posibilidad de instalarlos, y existen kits en el mercado para instalarlos en otros carburadores.

Otra posibilidad es utilizar un tubo difusor diferente, con un reborde como el estrechamiento primario, para aumentar algo la riqueza a regímenes altos, y conseguir mejor difusión de la mezcla. Esto suele tener como consecuencia que se reduce el calibre del surtidor principal en varios pasos, y que se puede obtener una curva de combustible adecuada.

Calibre de ralentí

Este, y el estrangulador de arranque en frío, tienen que permitir el arranque del motor en frío, su marcha al ralentí y la aceleración a partir del ralentí. Normalmente no habrá que cambiar el de serie, pero el control de la riqueza de la mezcla y la exactitud dependen en este caso de la sensibilidad del operador para conseguir las mayores revoluciones con el menor tope del acelerador. Puede ser necesario enriquecer la mezcla más de lo óptimo para evitar un punto muerto de aceleración al abrir gases.

El paso de ralentí será el que esté más abajo (en la dirección del flujo de gases) de la válvula del acelerador; también existirá un conducto bajo el borde inferior del acelerador, para dejar pasar más combustible cuando se va levantando la válvula. Puede haber que aumentar este conducto un poco, si se llega al mismo; se agranda el conducto un poco con una broca que se maneja con la mano. O bien, se deja que el ralentí quede muy rico.

Las interconexiones de admisión, o las cámaras que se conectan con la admisión, pueden hacer cambiar mucho los requisitos de ralentí, y si se sufren grandes problemas con el mismo, valdría la pena hacer experimentos en este sentido.

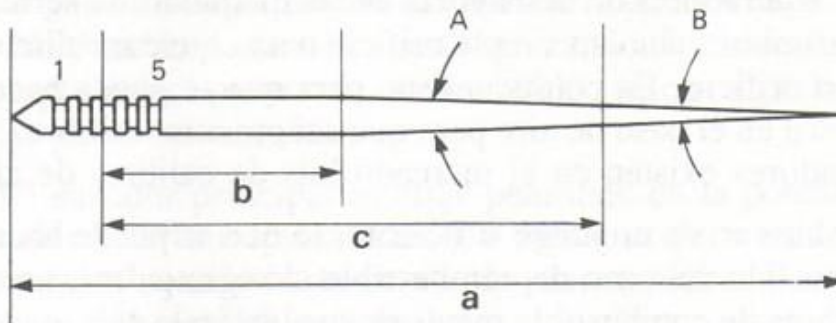


Fig. 71. El número de referencia de las agujas Mikuni indica sus dimensiones fundamentales: a) longitud total; b) longitud de la parte de lados paralelos; c) longitud hasta el segundo estrechamiento; A – ángulo del primer estrechamiento; B – ángulo del segundo estrechamiento. Las ranuras van numeradas del 1 al 5, empezando desde la superior.

Corredera

Existen válvulas de acelerador con perfiles diferentes, o bien se puede recortar la que tenemos. Su efecto principal lo tiene en la zona de $1/8$ a $1/4$ de apertura del acelerador, sobre todo a la hora de dar paso suavemente al sistema de aguja. Este factor donde mejor se puede probar es en la pista de pruebas, ya que lo que importa es su reprise y respuesta a la aceleración a diversas velocidades.

Aguja y calibre de aguja

Esta controla la riqueza de la mezcla con el acelerador abierto entre un cuarto y tres cuartos, con un poco de solapamiento a ambos extremos. La afectan el surtidor principal, el calibre de aire y el calibre de ralentí, pero en el intervalo amplio citado el factor dominante es la aguja.

La Mikuni codifica sus calibres de aguja, por medio de una letra y de un número. La letra da el calibre principal en milímetros, con incrementos de $0'05$ mm; de forma que N es $2'55$, O es $2'60$, P es $2'65$, etcétera. Los números indican un incremento de $0'005$ mm. Por lo tanto, N-0 es $2'550$, N-1 es $2'555$, N-2 es $2'560$, etc.

Las agujas también están codificadas, pero esto es un poco más complicado porque suelen tener dos estrechamientos diferentes. Un ejemplo nos expone todo el sistema de código: el 5GN36-3, utilizado en el motor Yamaha RD125LC:

- a) el primer número (5) indica la longitud general, entre 50 y 60 mm en este caso. Un 4 indicará de 40 a 50 mm.
- b) la primera letra (G) indica el ángulo del estrechamiento superior.
- c) la segunda letra (N) indica el ángulo del estrechamiento inferior.

El código de letras utiliza las 26 letras del alfabeto inglés, a partir de la A, que representa $0^{\circ} 15'$, y subiendo de $15'$ en $15'$ (es decir, de cuarto en cuarto de grado). De esto se deduce que la aguja RD tiene un estrechamiento superior de $1^{\circ} 15'$ y un estrechamiento inferior de $3^{\circ} 30'$.

- d) el número siguiente (36) es un número de lote de fabricante.
- e) el último número se refiere a la muesca en que se coloca la aguja, en este caso la tercera contando desde arriba.

El ajuste de la aguja se lleva a cabo, fundamentalmente, subiendo o bajando de muesca el clip de la aguja. Al colocarlo en una muesca inferior, sube la posición de la aguja y por tanto se enriquece la mezcla.

Si no se puede ajustar la aguja para que la mezcla sea la adecuada, puede hacer falta una aguja nueva. Para cambiar la riqueza de la mezcla a poco gas, cambie el estrechamiento superior. Para cambiar la riqueza de la mezcla de medio gas para

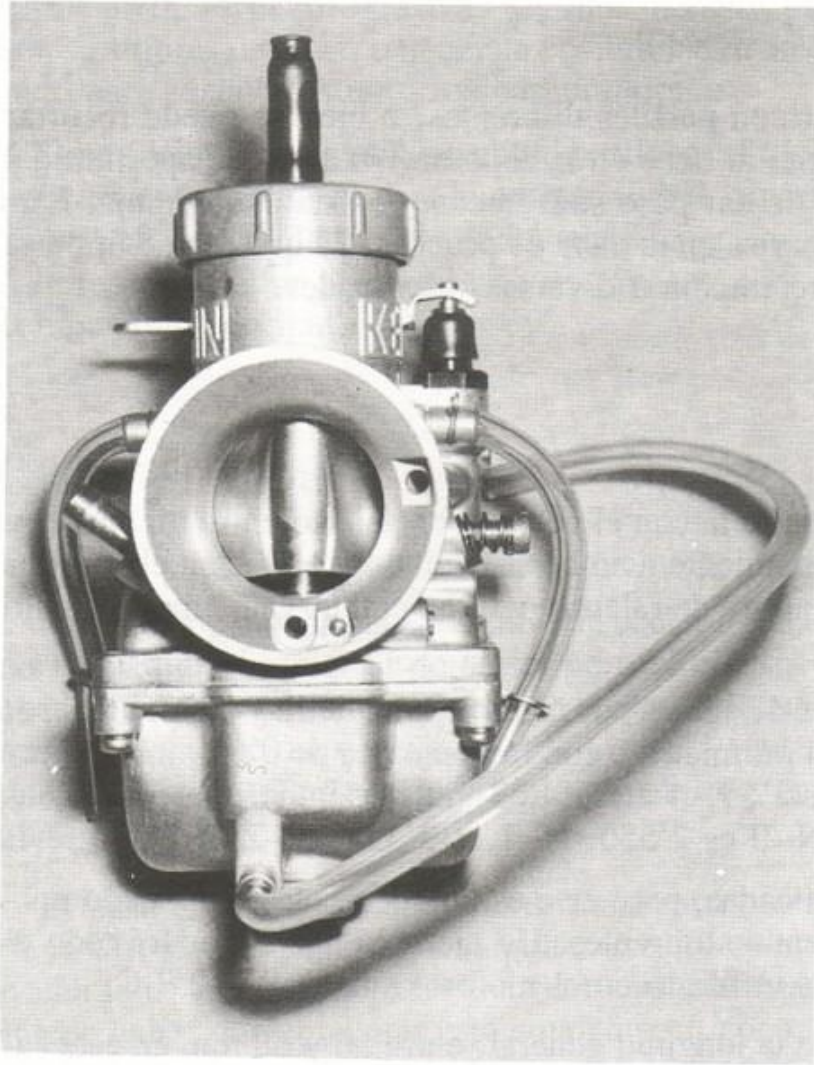


Fig. 72. Carburador Keihin. Adviértase que la corredera está pulimentada. La toma de aire de la derecha alimenta el surtidor de arranque en frío.

arriba, cambie el estrechamiento inferior. A mayor estrechamiento, es decir, con un estrechamiento indicado por una letra superior en orden alfabético, mayor riqueza de mezcla se obtendrá de forma progresiva al ir acelerando.

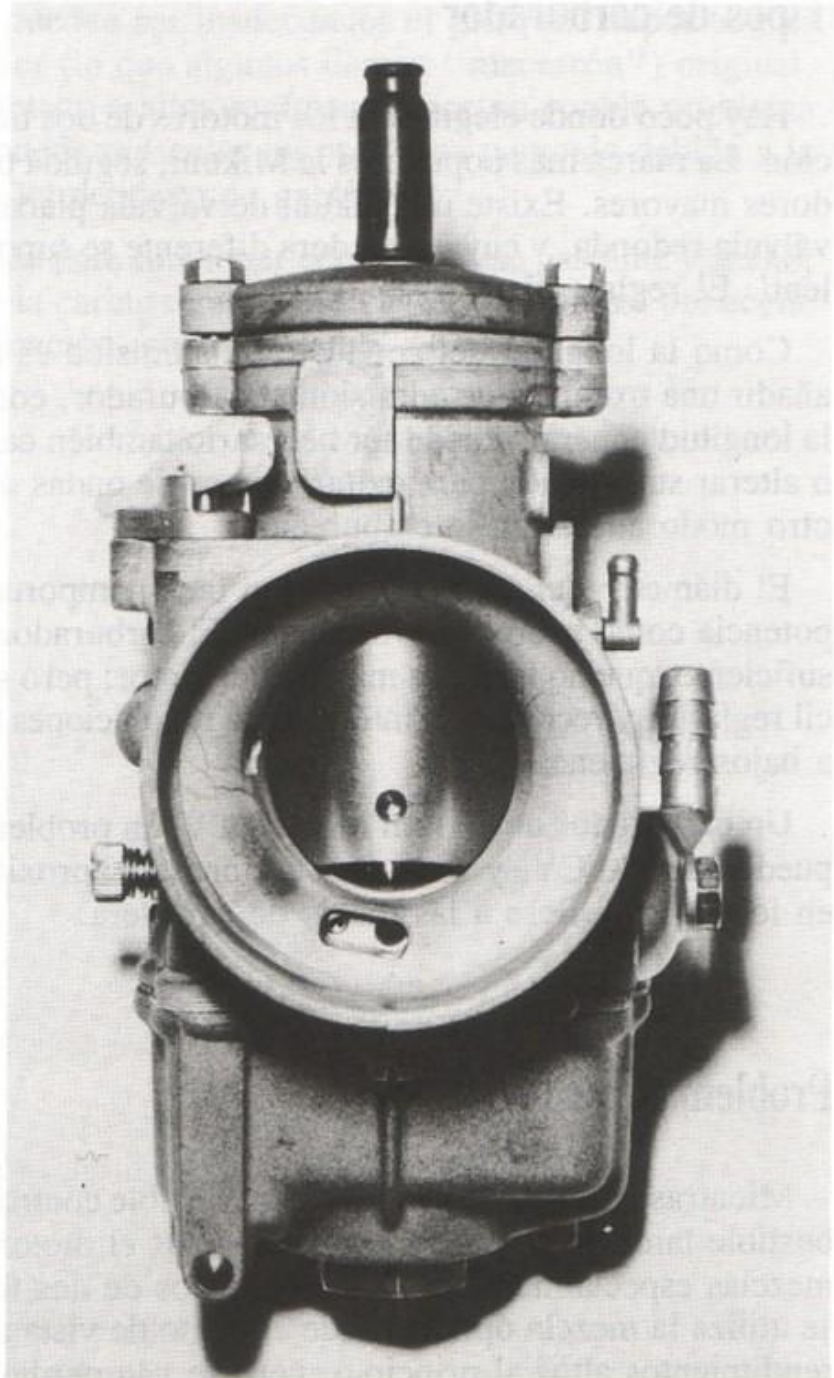
Para cambiar la riqueza de la mezcla a todas las aceleraciones, es posible que se precise instalar un calibre de aguja nuevo.

Esto puede causar un problema. El surtidor principal debe ser menor que el calibre de aguja más la aguja con abertura máxima. Si se instalan una aguja grande y un surtidor principal grande puede que no se cumpla esto; el surtidor de aguja controlará entonces la mezcla a todo gas, y los cambios de calibre de los surtidores no servirán para nada. Es fácil comprobar que se produce esta situación haciendo funcionar el motor sin que actúe el surtidor principal.

Cuba

La altura de la boya no suele tener gran importancia, pero habrá que marcarla a algún nivel, de forma que bien podemos hacerlo al nivel recomendado por el fabri-

Fig. 73. Carburador Dell'Orto. La corredera tiene una muesca que sirve para evitar que se atasque.



cante. La mayoría de los carburadores de moto parecen muy sensibles a problemas de rebosamiento, ya sea porque el combustible contenga impurezas que obturen la válvula de la cuba o porque la aguja de la válvula no puede oponerse a una diferencia de presión superior a unas pocas pulgadas de combustible.

Por tanto, es buena idea asegurarse de que la válvula de aguja y su asiento estén en perfecto estado, y que la gasolina atraviesa un filtro antes de llegar al carburador. En algunos carburadores, en los Mikuni por ejemplo, es posible adaptar una válvula de aguja más pequeña, con mayor presión. Puede ser necesario instalarla cuando se utiliza una bomba de combustible o cuando el combustible va a llegar a mayor presión.

Tipos de carburador

Hay poco donde elegir para los motores de dos tiempos, por problemas de instalación. La marca más popular es la Mikuni, seguida por la Amal, que fabrica carburadores mayores. Existe un Mikuni de válvula plana que es más compacto que el de válvula redonda, y cuya corredera diferente se supone que proporciona un mejor ralentí. El reglaje viene a ser el mismo.

Como la longitud del conducto de admisión es importante, puede ser necesario añadir una trompeta de admisión al carburador, como forma más sencilla de alterar la longitud general. Puede ser necesario también cambiar la longitud del carburador o alterar su posición para evitar efectos de ondas de presión poco deseables que de otro modo alterarían la carburación.

El diámetro del carburador es un factor importante por su efecto tanto sobre la potencia como sobre la carburación. El carburador debe permitir un flujo de gases suficiente, que no limite la marcha del motor; pero si es demasiado grande, será difícil reglarlo, y recortará el intervalo de revoluciones útiles, porque no funcionará bien a bajos regímenes.

Un carburador de 22 mm dará 18 CV sin problemas, mientras que los de 30 mm pueden dar 30 CV, y estas proporciones se aproximan a los límites de flexibilidad en lo que se refiere a las motos de carretera.

Problemas asociados

Mientras que el flujo de aire y combustible controla la potencia del motor, el combustible también se utiliza para refrigerar el motor, y por eso es corriente utilizar mezclas especialmente ricas en las motos de dos tiempos de competición. Cuando se utiliza la mezcla óptima desde el punto de vista de la potencia, se advierten unos rendimientos altos al principio, pero se van perdiendo al cabo de unos minutos, y se acaba perdiendo de un 10 a un 20% del rendimiento original en un motor refrigerado por aire, la mitad más o menos en un motor refrigerado por agua. Si se enriquece más la mezcla, se perderán un par de CV al principio, pero se reducirá la pérdida de potencia por calentamiento a un 5–10% al cabo de unos minutos, menos en un motor refrigerado por agua.

Existen otros problemas que no se deben al carburador, pero que o bien salen a la luz en la carburación o se pueden corregir por la misma.

La detonación se puede eliminar enriqueciendo la mezcla.

Las válvulas de láminas que no cierran bien, o que sufren ondulaciones, darán problemas de arranque y de ralentí porque los gases del cárter pueden retroceder a regímenes bajos.

En los motores muy potentes, pueden ser inadecuados el grifo del depósito y el tubo de alimentación del carburador (lo que algunos llaman "macarrón") original, y el motor puede estar infraalimentado a altos regímenes, por un simple problema de falta de flujo de gasolina. Se puede presentar un problema parecido debido a la insuficiencia de los respiraderos del depósito de gasolina.

En las máquinas que se modifican para funcionar con mezcla de gasolina y aceite, habrá que cambiar los calibres de la carburación debido al peso adicional del aceite que lleva la gasolina (véase lubricación, capítulo 9).

Lubricación

Las condiciones extremas que se sufren dentro de un motor de dos tiempos exigen mucho a su sistema de lubricación. Después de acumular el suficiente aceite para evitar un agarrotamiento a plena potencia, se debe volver a eliminar dicho aceite, ya sea quemándolo o dejándolo salir por el escape. Si no se elimina, formará depósitos y revestimientos que, a su vez, causarán problemas de combustión (bujías sucias, autoencendidos), agarrotamiento de los segmentos (que origina escapes de gases del cilindro hacia el cárter, y en consecuencia la falda del pistón se quema y se incrusta más todavía) y depósitos sobre las superficies de trabajo que aumentan la fricción y la transferencia térmica. La presencia de demasiado aceite puede ser tan mala, evidentemente, como la falta de aceite.

Una moto de carretera, en la que puede ser más grave el problema de los depósitos de residuos, y en la que también hace falta cierta protección anti-corrosión, tiene unos requisitos diferentes de lubricación que una moto de competición. Para las motos de carretera puestas a punto para dar menos de 200 CV/litro, la bomba regulada por el acelerador es seguramente el sistema mejor, ya que ofrece un mejor control de la lubricación en situaciones no extremas, y es un sistema más práctico en general. Pero en motos a las que se exigen mayores prestaciones, o en las motos de competición, en las que no tienen mayor importancia los efectos a largo plazo, el sistema de combustible premezclado con aceite ya empieza a tener grandes ventajas. Para poder enfrentarse a las condiciones peores, el sistema de premezclar la gasolina con el aceite tiende a dar demasiado aceite en las demás condiciones, y suele ser necesario limpiar con bastante frecuencia los depósitos residuales que se originan.

Si existe un problema de depósitos o incrustaciones, se puede reducir la proporción de mezcla de gasolina con aceite: en realidad, es cuestión de hacer experimentos para encontrar el mejor nivel, que no afecte a los resultados óptimos de potencia y que brinde una protección suficiente al motor. Como también se pueden producir problemas por la presencia de demasiado aceite, puede ser importante descubrir este nivel óptimo. Los fabricantes de motores de competición suelen recomendar una proporción de aceite de 20 a 24 a 1 (20 a 24 partes de gasolina por 1 de aceite, en volu-

men; en España se suele expresar también en tanto por ciento: “20 a 1” equivale a “mezcla al 5%”), otros llegan hasta el 30 ó 40 a 1, o incluso más. Las compañías petrolíferas no suelen dar recomendaciones concretas, y suelen decir cosas generales, como “hasta 40 a 1”. Pero si se les pide consejo para una aplicación determinada, suelen ayudar bastante.

En última instancia, la elección depende del interesado, y el único método exacto es realizar una serie de pruebas con el banco de prueba de potencia para comprobar los efectos sobre la potencia, y otras pruebas de resistencia o en la pista de pruebas para determinar el nivel de protección del motor. Existe una alternativa al cambio de proporción de mezcla, y es cambiar de grado de aceite, lo que puede ser la solución a una serie de problemas en los que existe poca diferencia entre el nivel en que falta aceite y se producen agarrotamientos y el nivel en que hay exceso de aceite y se ensucia el motor.

El aceite para motos de carretera de dos tiempos suele tener un grado de viscosidad de SAE 30, y pueden ser minerales o sintéticos (o mezcla de los dos), pero su diseño y aditivos se habrán realizado procurando que tengan pocos residuos sólidos, baja emisión de humos, antioxidantes y demás. Puede que no ofrezcan la protección anti-agarrotamiento que necesita un motor de alto rendimiento. Los aceites más pesados, que dan mayor resistencia a la carga, tendrán una viscosidad del orden de SAE 40; por encima de esta cifra lo más probable es que sean demasiado espesos para que funcionen bien las bombas de inyección de aceite.

Aquí se presenta un conflicto de intereses. El aceite se sirve al motor en frío, y en forma de nube distribuida al azar. Debe tener propiedades lubricadoras (sobre todo en lo que se refiere a la resistencia a altos rendimientos, que suele ser mejor con los aceites de alta viscosidad). Para proteger el motor en condiciones extremas, también debe tener propiedades anti-agarrotamiento, que dependen también de la viscosidad del lubricante y de los aditivos tipo EP y similares. Lo malo es que los aceites de alta viscosidad (es decir, de alto grado) y los aditivos de ese tipo suelen dejar peores depósitos y recubrimientos en el motor.

La película de aceite, sobre todo la que hay entre el pistón y el cilindro, también debe transferir el calor. En este sentido, son mejores los lubricantes de viscosidad baja.

Los aceites especiales para competición se dividen en dos grandes tipos. En primer lugar, el aceite de ricino. En segundo lugar, los de tipo mineral/sintético. El aceite de ricino sigue ofreciendo la mejor protección anti-agarrotamiento, pero tiene grandes desventajas. No se puede mezclar con aceites minerales, origina grandes depósitos y revestimientos en el motor, lo que obliga a realizar frecuentes revisiones del mismo, no se mezcla demasiado bien con la gasolina, por ello, el aceite sólo se debe mezclar con la gasolina inmediatamente antes de su uso.

Se han preparado fórmulas especiales de aceites sintéticos y semisintéticos para los motores de dos tiempos de competición, sobre todo para sistemas de gasolina premezclada con el aceite, pero algunos se pueden utilizar con bomba de aceite aparte. Parecería que éstos son los mejores para los motores de alta potencia, pero hay que

hacer muchos experimentos con los mismos para llegar a determinar cuál es el mejor para el uso particular que queramos darle, y cuál es la mejor proporción de mezcla.

Las holguras del motor también pueden ser fuente de problemas de lubricación, cuando no corresponden a lo que requiere el lubricante. La holgura de la falda del pistón es un factor crítico, ya que una holgura excesiva producirá revestimientos de la falda que llevarán a su vez a un recalentamiento, a un incremento de las pérdidas por rozamiento y, por último, a un agarrotamiento. Una holgura demasiado ajustada no permitirá una lubricación suficiente, y de nuevo surgirá el riesgo de un agarrotamiento rápido.

Los depósitos en las ranuras de los segmentos, que permiten que éstos se agarroten y que se produzca pérdida de gases del cilindro, se agravarán si los segmentos tienen demasiada holgura en las ranuras.

Si el combustible lleva mezcla de aceite, esto afectará también a la carburación, ya que aumentará la densidad del combustible y reducirá su caudal a igualdad de calibre. Si se produce un cambio de volumen cuando se añade el aceite al combustible, lo que indica que aquél no es completamente soluble, entonces habrá que agrandar los calibres todavía más. Seguramente será necesario un aumento del caudal de los calibres del orden de un 10–15%, pero lo más probable es que se tenga que volver a reglar totalmente la carburación, con el problema añadido de que una mezcla rica también acarreará un exceso de aceite y quizás llegue a engrasar las bujías. La presencia de aceite en el combustible también afectará a su octanaje, y puede tener consecuencias sobre la combustión del mismo. Algunos aceites contienen aditivos que estabilizan o incrementan el octanaje de la gasolina. Con ellos también se aprecia que el motor funciona de forma más regular.

La teoría es que cuando la mezcla de combustible y lubricante entra en el cárter, las partículas de combustible (que son más ligeras) se evaporan, y dejan una nube de aceite en forma de gotas minúsculas que se posan sobre la superficie del cigüeñal. Evidentemente, otras gotas menores llegan al cilindro con los gases de carga, que arrastran las partículas más pesadas de combustible que llevan aceite disuelto. En consecuencia, una buena proporción del aceite quedará depositada en la parte superior del cilindro o se quemará con el combustible.

Hasta la fecha (1987) no existe ninguna clasificación de la API ni de ningún otro organismo para el aceite de motores de dos tiempos; sólo nos podemos guiar por la reputación de los aceites y por sus precios relativos. Por desgracia, hay fabricantes que presentan sus aceites en unos envases y con unos precios que hacen creer engañosamente que se trata de aceites de alta calidad similares a los de competición, cuando en realidad son unos aceites cuyo rendimiento es el mismo que el de cualquier otro que podamos comprar en la gasolinera de la esquina.

Lo que se requiere para los motores puestos a punto es un aceite que tenga buena resistencia a la carga y que también sea capaz de evitar los gripajes; el aceite también debe mezclarse bien con el combustible o ser lo suficientemente fluido como para que funcione con una bomba de inyección de aceite (lo ideal sería un grado

de SAE 20). El aceite debe llevar aditivos contra los depósitos de carbonilla y los revestimientos, que eviten que se ensucien las bujías, que impidan la oxidación del aceite, la corrosión del motor, etcétera. También es útil que la presencia del aceite no afecte a la combustión ni al octanaje del combustible. Algunas de estas propiedades a largo plazo citadas (como la resistencia a los revestimientos y a la formación de carbonilla) no son tan importantes para los motores de competición, que se revisan cada pocas horas de uso.

La resistencia a la carga del aceite se puede determinar por medio de pruebas de desgaste o con equipos de medida ZN o Falex. En estas pruebas se comprime con una fuerza dada un elemento giratorio contra otro fijo, y se mide el desgaste al cabo de un tiempo dado. En la prueba ZN, la presión que tuvo que soportar la película de aceite equivale a la superficie de la zona de desgaste dividida por la fuerza aplicada; el aspecto final de la zona de desgaste también indica la resistencia a los arañazos que aporta el aceite (al final de la prueba, la zona de desgaste puede aparecer lisa o muy arañada y con irregularidades).

Esta prueba pone de manifiesto claramente las propiedades de los aceites lubricantes de base vegetal; sus películas de aceite tienen una resistencia elevada, pero incluso cuando el aceite tiene un exceso de carga evita los gripajes y los arañazos a las superficies metálicas. Como lo más importante de un aceite para motor de dos tiempos es que resista a la carga y que evite los gripajes, las consecuencias de estas pruebas son importantes y nos permiten establecer grupos de aceites que podemos utilizar en función del nivel de desarrollo del motor. Por supuesto, existen otros fac-

Tabla 9.1. Aplicaciones de diversos tipos de aceites lubricantes para motores de dos tiempos, según los resultados de las pruebas Falex y ZN

Rendimiento del motor	Aceite	Tipo
Más de 240 CV/litro	Shellsport R	A base de aceite de ricino
	Putoline Racing	A base de aceite de ricino
	Castrol A747	Sintético
	Shellsport S	Sintético
	Motul 400	Sintético
	Silkolene Pro 2	Sintético
200 a 400 CV/litro	Putoline MX5	Sintético; sólo para mezcla previa
	Motul 300	Sintético
	Castrol A545	Sintético
	Amsoil 100:1	Sintético; sólo para mezcla previa
150 a 200 CV/litro	Bel Ray MC1+	Sintético
	Putoline Super TT	Sintético
	Silkolene Comp 2	Sintético
	Rock Oil K2	Sintético; sólo para mezcla previa
	Bel Ray Si7	Sintético

tores que hay que tener en cuenta, como son los efectos del aceite sobre la detonación del combustible y sobre su combustión en general, sobre la formación de depósitos, la protección que ofrecen ante la corrosión, el deterioro que sufre el mismo aceite, etcétera; hay que tener en cuenta todos estos factores, además de las propiedades de resistencia a la carta del aceite. Pero mientras no exista una norma estándar para los aceites para motores de dos tiempos, las pruebas de desgaste nos permitirán establecer una clasificación de los lubricantes de los que nos podemos fiar. En la tabla 9.1 se indican varios aceites que han dado buenos resultados en pruebas de desgaste Falex y ZN.

Desarrollo, pruebas y preparación

Se puede concebir un motor como serie de procesos, cada uno de los cuales depende del anterior en lo que se refiere al flujo, la eficiencia, etcétera. El resultado final dependerá de uno de dichos procesos, si impone una restricción mayor que los demás. Ejemplo claro es el acelerador: cuando está cerrado, se convierte en el factor restrictivo principal, e impide que todos los demás procesos funcionen a pleno rendimiento.

Por lo tanto, el proceso de desarrollo se convierte en una serie de pasos destinados a localizar la restricción dominante en un momento determinado y a reducirla hasta que el rendimiento del motor dependa de otro elemento del sistema. Esto debe continuar hasta que el factor limitador ya sea la fiabilidad mecánica, o hasta que todos los componentes ejerzan una influencia similar sobre la producción de potencia.

Conociendo las limitaciones físicas del motor, quizás se pueda marcar uno un objetivo realista, basado en un régimen máximo prudente y en una potencia al freno que también se puede calcular. Se puede estimar el reglaje de las lumbreras que corresponda a tal régimen máximo (véase el capítulo 4), y las anchuras máximas de las lumbreras dependen sobre todo del calibre del cilindro. Por lo tanto, se puede calcular un tiempo—superficie máximo (véase el Apéndice). Este se puede relacionar con el tiempo—superficie del motor en su estado de marcha normal, y, siempre que los otros componentes, como el carburador, el sistema de escape y el encendido se puedan ajustar para que sean adecuados al nuevo estado de puesta a punto, se podrá hacer una predicción razonable del rendimiento en términos de potencia. Si el nuevo tiempo—superficie a velocidad de giro punta coincide con el tiempo—superficie original a, digamos, 9.000 r.p.m., entonces se supone que el flujo de aire y el par motor que se alcanzan a 9.000 r.p.m. se pueden mantener al nuevo régimen.

La comparación de las características de potencia originales de la máquina con el tiempo—superficie y el tamaño del carburador también indicará en qué casos el

Tabla 10.1. Desarrollo histórico de los motores Yamaha de 250 c.c. de dos cilindros.

Modelo	TD1A/B	TD1C	TD2	TD2B	TD3	TZ250A	C	D/E	F	G	H/J	K/L
Carrera, mm	50	50	50	50	54	54	54	54	54	54	50	50
Calibre, mm	56	56	56	56	54	54	54	54	54	54	56	56
Cilindrada (cada cilindro)	123.2	123.2	123.2	123.2	123.7	123.7	123.7	123.7	123.7	123.7	123.2	123.2
Superficie de cada pistón, mm ²	2463	2463	2463	2463	2290	2290	2290	2290	2290	2290	2463	2463
Potencia, caballos de fuerza al freno, r.p.m.	32-35	40	44	47	49	51	52	53	53	55	57	59
	9500	10000	10500	11000	10500	10500	10500	10500	10500	11500	11000	11000
Lumbrera de escape se abre a (grados a.p.m.s)	82	82	80	80	79	79	83	79	79	81	79	79
Anchura de lumbrera de escape: (s-mm ² /cc x 10 ⁻³)	60.7	60.7	62.5	66.1	68.5	68.5	68.5	68.5	73.2	72.2	73.2	73.2
Tiempos—superficie específicos de escape: (s-mm ² /cc x 10 ⁻³)												
a...	16.42	16.42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9000 r.p.m.	15.56	15.56	16.99	17.96	20.06	20.06	17.99	—	21.42	—	—	—
9500 r.p.m.	14.78	14.78	16.14	17.06	19.06	19.06	17.09	19.06	20.35	19.04	19.24	19.24
10000 r.p.m.	—	—	15.37	16.25	18.15	18.15	16.28	18.15	19.38	18.13	18.32	18.32
10500 r.p.m.	—	—	—	15.51	17.13	—	15.54	—	—	17.31	17.49	17.49
11000 r.p.m.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16.55	16.73	16.73
11500 r.p.m.	114 a	114 a	114 a	111 a	109	109	109	109	109	114	116	115
Lumbrera de carga se abre a (grados a.p.m.s)	120	120	120	117	—	—	—	—	—	—	—	—
Carga: tiempos superficies específicos a régimen punta (s-mm ² /cc x 10 ⁻³)	5.9	7.13	9.14	10.04	13.68	14.4	15.48	15.48	15.48	11.08	10.82	12.42

TD1A: camisas anodizadas. TD1B: camisas revestidas de cromo poroso; nueva culata; falda del pistón reducida para aumentar la duración de la admisión de 140° a 180°; se aumentó la duración de la fase de escape por medio de un rebaje de 2 mm en la cabeza del pistón. Nuevo sistema de escape.

TD1C: carburador de 27 mm; la lumbrera de admisión se rebaja 4 mm; segmento más delgado (1.2 mm); lumbrera de sobrecarga; sistema de escape de varios ángulos de conicidad. TD2: motor de cinco lumbreras (la principal de carga dirige su chorro a 15° por encima de la horizontal, una secundaria dirigida de forma horizontal); carburador de 30 mm, segmento de 1 mm. TD3: Admisión mayor; carburador de 34 mm; formas nuevas de las lumbreras de carga, lumbreras secundarias mayores; la holgura de squish se reduce de 1.2 mm a cero; cigüeñales divididos horizontalmente, caja de cambios de seis velocidades, encendido Femsa. TZ250A/B: refrigeración por agua; se mantiene la carrera de 54 mm para poder compartir piezas con el TZ350 (de 64 x 54 mm); lumbreras de carga principales mayores. TZ250C: lumbrera de admisión más ancha; lumbreras de carga más anchas. TZ250D/E: mayor compresión. TZ250F: lumbrera de admisión más ancha, válvula de potencia en el escape; la transmisión permitía pal más estrecha, secundaria más ancha. TZ250H/J: admisión más ancha, lumbrera de carga secundaria más ancha, válvula de potencia en el escape; la transmisión permitía que el motor funcionase al revés, lo que redujo el empuje sobre la pared trasera del cilindro y permitía una lumbrera de admisión mayor todavía. TZ250K/L: admisión más ancha; lumbrera principal de carga mayor. El efecto de la válvula de potencia se aprecia claramente en las cifras de tiempo—superficie específico: con la válvula abierta, el tiempo—superficie a 8500 r.p.m. sería de 0.023 seg—mm²/c.c., lo que da tiempo de sobra a que se pierdan gases frescos por el escape. La válvula reduce esta cifra a un poco menos de 0.014 seg—mm²/c.c., más o menos lo corriente en una moto de carretera puesta a punto.

Los datos fundamentales proceden del libro *Yamaha two-stroke twins* (Motos Yamaha de dos cilindros y dos tiempos) de Colin MacKellar (ed. Osprey), que da la historia detallada de las mismas.

motor funciona de forma ineficiente, y esas características se pueden utilizar para predecir el límite inferior de la banda de potencias útil.

Esto nos brinda un objetivo realista, y el proceso de desarrollo posterior seguiría entonces los pasos indicados al final del capítulo 4. Es necesario, evidentemente, descubrir después de cada caso qué es lo que está restringiendo el rendimiento del motor (a no ser que hayamos alcanzado inmediatamente el objetivo de rendimiento...), y concentrar nuestros esfuerzos ulteriores en dicho problema.

El motor suele indicar por medio de síntomas el tipo de restricción, que se puede confirmar por medio de experimentos sencillos. Si el flujo del aire está obstruido antes de llegar al carburador, entonces todo intento de aumentarlo nos dará una mezcla más rica, porque se producirá una caída de presión mayor en el carburador. Una restricción del mismo tipo después del carburador, frustrará todo intento de aumentar el flujo de aire, pero la carburación en sí no cambiará, aunque la mezcla puede resultar "húmeda" (mal pulverizada). En ese caso, los experimentos con el tiempo—superficie de admisión o con la válvula de láminas deben producir diferencias significativas.

El reglaje de las lumbreras se relaciona sobre todo con la velocidad de giro del motor, mientras que el tiempo—superficie debe ser suficiente para permitir un flujo de gases necesario a dicha velocidad. Las deficiencias en este sentido, o una banda de potencia estrecha, se pueden achacar a la falta de tiempo—superficie o a un desequilibrio entre la apertura y cierre de las diferentes lumbreras.

Una punta de potencia muy estrecha (o, quizás, la existencia de varias puntas), sugiere que la carburación o el encendido son inestables, ya sea por una avería o porque no bastan para cubrir las necesidades.

Una restricción física en el tubo de escape obstruirá el flujo de gases, y causará también un gran incremento de la temperatura de combustión. Es más difícil definir un desequilibrio en sus dimensiones. El escape desempeña un papel fundamental en las características de la potencia, pero al aumentarse el nivel de potencia, el motor se hace menos manejable, y será más difícil determinar si la anchura y la forma de la banda de potencia es la consecuencia natural del grado de puesta a punto o si el escape tiene un desequilibrio de algún tipo.

Lo más difícil es medir el rendimiento, a no ser que se disponga de un banco de pruebas de potencia y de medidores de caudal de combustible; en primer lugar, porque es difícil distinguir los cambios pequeños cuando se pilota la moto, y en segundo lugar porque las circunstancias meteorológicas pueden cambiar más que la misma moto. Existen también condiciones que pueden engañar; por ejemplo, la costumbre que tienen las motos de dos tiempos de refrigerar el motor con gasolina. La fuerza de la mezcla puede parecer correcta, la combustión buena, la potencia estable y el consumo específico de combustible en una zona segura (alrededor de 0'34 l/CV—h, o un poquito más). Pero si se aumenta entonces el calibre del surtidor principal (quizás para asegurarse de que la fuerza de la mezcla sea segura) el motor no funcionaría enriquecido para nada. En el banco de pruebas se apreciaría un incremento de revo-

luciones, porque el combustible adicional refrigeraría el pistón y reduciría el rozamiento un poco. Si las revoluciones algo más elevadas van bien al reglaje de lumbresas, al escape, etcétera, por casualidad, entonces el motor dejará pasar más gases y desarrollará más potencia. ¡Pero la riqueza de la mezcla, y el consumo específico de combustible, no habrán variado! O, con poca suerte, la mezcla se puede haber empobrecido...

La única respuesta es que no debe dar por supuesto nada, que debe comprobar los resultados, y que es mejor pasarse: en el caso citado, siga aumentando el calibre del surtidor principal hasta que dé síntomas de funcionar con mezcla rica, y vuelva a bajar hasta la situación óptima.

Todos los ensayos son comparativos, y siempre que pueda volver a reproducir las condiciones y cambiar sólo una cosa cada vez, podrá dar una aplicación práctica a los resultados. Lo que necesita es una base de partida: si utiliza como base la potencia, puede utilizar las curvas de potencia que publica el fabricante o las revistas especializadas. Las cifras de potencia del fabricante estarán, seguramente, algo exageradas, pero sus características serán exactas: si dice que alcanza su máximo a 9.000 r.p.m., será verdad. Otra cosa que hay que tener en cuenta aquí es que el cuentarrevoluciones de la moto seguramente no será exacto; nunca se quedan cortos, pero pueden llegar a marcar hasta 10% de más a revoluciones altas. En realidad, tampoco importa; lo que le interesa no son las cifras absolutas, sólo los cambios, siempre que no quiera comparar sus cifras de revoluciones con las de otra persona.

Es posible medir los cambios pequeños en la pista de pruebas, o incluso en una carretera adecuada. Lo más sencillo es hacer una aceleración en la marcha más larga: partir de un régimen determinado y abrir gases del todo, cronometrando entre dos puntos o midiendo el tiempo que tarda en subir 500 ó 1.000 r.p.m. Al trabajar con mayores potencias y velocidades, esto se complica cada vez más, y puede ser necesario repetir el intento varias veces para obtener resultados consistentes.

Existe otra limitación, debida a que hacemos que el motor funcione en los experimentos en circunstancias provisionales, y no lo dejamos correr lo suficiente como para que alcance un estado constante. Mostraré por medio de un ejemplo cómo se pueden realizar los ensayos, y sus limitaciones.

Una vez puse a punto la moto de carreras de serie de un amigo con un cronómetro y en la pista de pruebas, para ver si se podía hacer así. Ajustamos el motor con mucho cuidado según las especificaciones del fabricante; el reglaje de encendido, las bujías, la carburación, todo lo dejamos como nuevo. Para ahorrar tiempo a la hora de calcular el avance de chispa en la pista, marcamos en la chapa tres o cuatro posiciones, más o menos avanzadas. También marcamos el acelerador de forma que se pudiese comprobar la carburación en una serie de aperturas del mismo, así como a todo gas.

En la pista, probamos una serie de marcas y descubrimos que 160 metros era aproximadamente la distancia óptima para que una persona cronometrara el paso de la moto con un cronómetro manual, siempre que el piloto siguiese exactamente el mis-

mo camino cada vez. Cronometrábamos la moto cuatro o cinco veces a cada abertura del acelerador (o más, si obteníamos resultados irregulares). Luego cambiábamos las cosas, una cada vez, y repetíamos las pruebas. Así, con el reglaje de encendido que nos daba un tiempo mejor procedíamos a cambiar los chiclés, la posición de la aguja del carburador, y volvíamos a comprobar el encendido, y luego vuelta a comprobar la aguja una vez más. Tardamos todo el día, y tuvimos que realizar los cambios necesarios para que los rendimientos empezaran a bajar, de forma que pudiéramos elegir un reglaje "óptimo" para volver al mismo. Afortunadamente, la pista tenía un bucle, de forma que el piloto no tenía que dar la vuelta entera cada vez. El piloto tuvo que poner mucho de su parte, para llegar a la primera marca al mismo régimen exacto, siguiendo la misma línea, abrir el acelerador en el punto preciso y no cambiar de posición sobre la moto (un cambio de cualquiera de estos factores habría afectado al crono tanto o más que los cambios que efectuábamos en la moto).

Lo que nos sorprendió fue descubrir que éramos capaces de conseguir resultados consistentes y que podíamos medir los cambios. A lo largo del día registramos cambios bastante significativos en los tiempos (del orden de un 15%), y al final, cuando volvimos al reglaje "óptimo", la moto nos volvía a dar los mismos tiempos. El cronómetro decía que la moto iba más deprisa, el velocímetro decía lo mismo, el piloto también tenía la misma impresión, y hasta el motor sonaba mejor. Había sido un trabajo largo y pesado, pero había dado fruto.

Aquel fin de semana la moto participaba en una carrera de aficionados, y durante las prácticas había superado con facilidad a un par de motos que antes la habían igualado. En la carrera, adelantó con facilidad a sus rivales habituales, y a mitad de carrera se fundieron las cabezas de ambos pistones. Ambos pistones sufrieron los mismos daños, lo que demuestra lo 'bien' que habíamos trabajado: lo corriente es que uno se funda mucho antes que el otro.

Este fracaso se debió a dos razones. En primer lugar, habíamos hecho funcionar la moto en condiciones provisionales: siempre estaba acelerando, de un régimen dado a otro algo superior. En segundo lugar, el acelerador sólo quedaba abierto a pleno gas durante algunos segundos. Por no haber hecho funcionar la moto a un régimen constante y sin hacerla funcionar a plena potencia durante un tiempo razonable, habíamos producido mezclas algo pobres, un encendido demasiado adelantado y unas temperaturas de combustión elevadas. Sí que daba algo más de potencia, durante cierto tiempo. Pero al final el calentamiento acabó causando la avería. Quizás se produjeran algunas detonaciones. En el banco de pruebas habríamos detectado la caída de potencia, y habríamos podido enriquecer la mezcla (menos potencia, pero refrigerando el pistón habríamos podido hacer que aguantase más tiempo), o utilizar unas bujías más frías, o retrasar algo el encendido (para reducir la temperatura de combustión, aunque esto habría recortado el rendimiento de la moto).

La prueba original había funcionado bien, pero habíamos terminado antes de tiempo. Deberíamos haber hecho funcionar la moto un tiempo largo, a régimen constante, comprobando la temperatura del motor y el estado de las bujías. El mismo piloto

se habría dado cuenta de la pérdida de potencia, y el color de la culata y de las cabezas de los pistones nos habría confirmado el problema.

Al aumentar la potencia del motor, aumentan también las probabilidades de avería. Los motores de dos tiempos son susceptibles a varios tipos de averías del pistón, y en algunas condiciones también suelen estropear los cojinetes de las bielas. Otros problemas se suelen asociar a los regímenes anormalmente altos que se alcanzan y a la vibración.

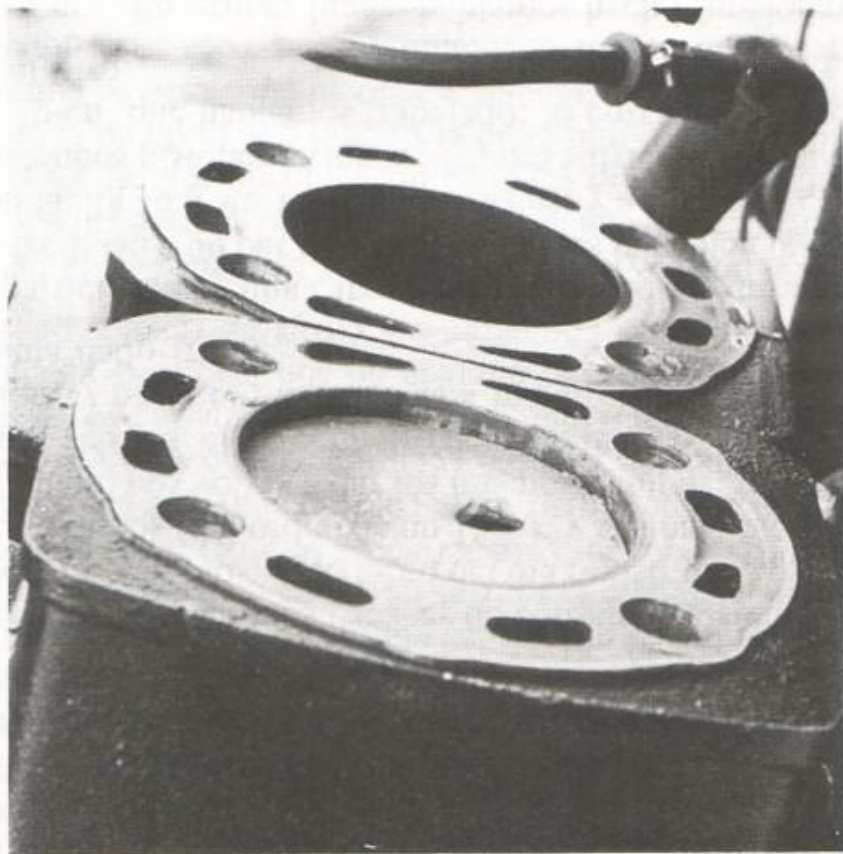


Fig. 74. Avería del pistón. La perforación de la cabeza se puede deber al autoencendido, a que la bujía no tiene el grado térmico adecuado, a que el encendido está demasiado adelantado o a que la mezcla es demasiado pobre.

Cabeza del pistón

Las averías de la cabeza del pistón se suelen deber a las temperaturas elevadas (el grado térmico de la bujía no es el adecuado, el encendido está demasiado avanzado, la mezcla es pobre, se producen detonaciones), y se producirá un agujero limpio directamente bajo la bujía o se fundirá y se deformará la cabeza del pistón, normalmente en la zona de la lumbrera de escape. Después de una detonación grave, el pistón tiene el aspecto de que lo hubiesen acribillado con metralla fina. Si sólo se utiliza un segmento, o si el último segmento está cerca de la cabeza del pistón, se calentará más el borde de la cabeza del pistón.

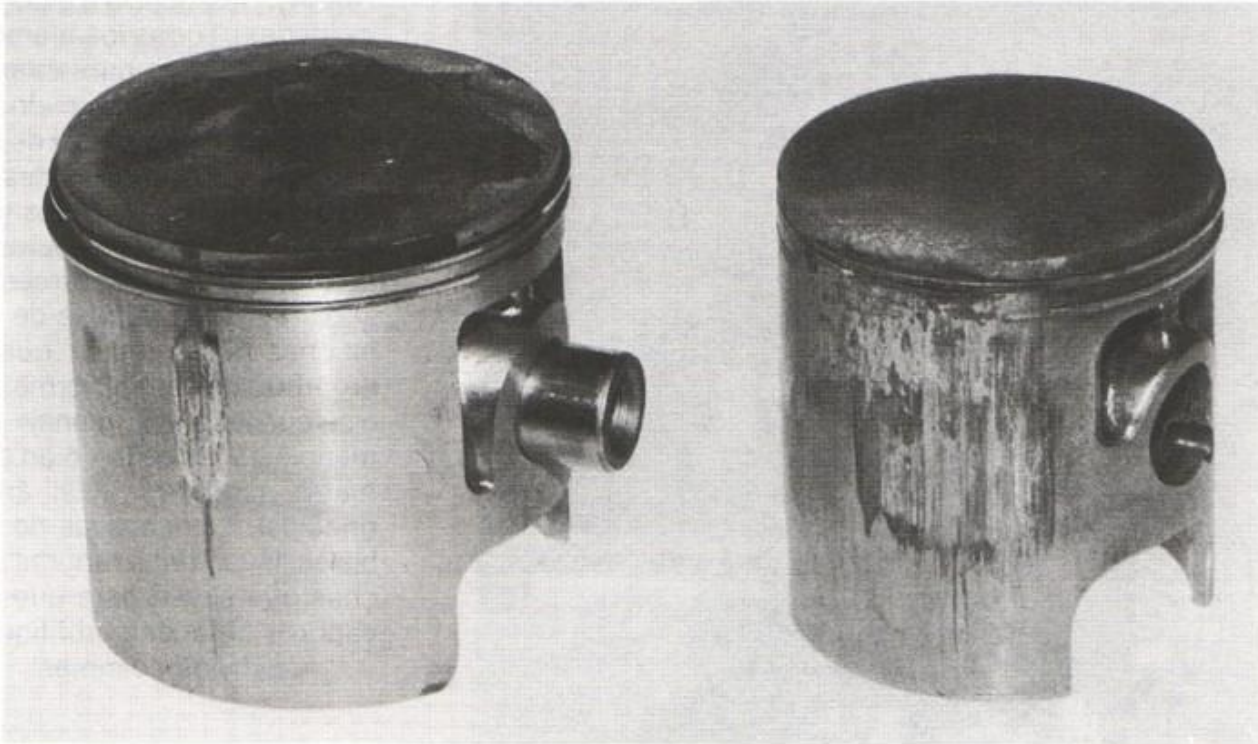


Fig. 75. Avería del pistón. Agarrotamiento (gripaje). Izquierda, agarrotamiento clásico debido a sobrecarga e insuficiencia de engrase. Derecha, agarrotamiento debido a avería del pistón por fundirse la ranura del segmento superior. Este recalentamiento se pudo deber a un aumento de la temperatura de combustión por bloqueo o dimensiones incorrectas del escape, por pobreza de la mezcla, por autoencendido o por detonación.

Falda del pistón

El desgaste o el agarrotamiento de ésta se puede deber a tres causas fundamentales, aparte de la falta de lubricante. En primer lugar, el contacto metal contra metal debido al calentamiento excesivo del pistón o a la falta de holgura de la falda del pistón. En segundo lugar, el recubrimiento de la falda del pistón debido a una holgura excesiva, o al uso de un lubricante poco adecuado. En tercer lugar, la pérdida de gases por los segmentos, por avería de los segmentos o por exceso de holgura; los gases calientes recalientan localmente la falda del pistón, y hacen que se deforme primero, y luego que se gripe.

Avería de los segmentos

Es normal que los segmentos tengan una vida limitada, pero su agarrotamiento en las ranuras se puede deber a una holgura excesiva en las mismas, que permite que se acumule la carbonilla, o bien a un bamboleo excesivo del pistón, que daña la parte lateral del pistón, o a que se recaliente y se agarrote parcialmente dicha parte lateral en la zona de los segmentos.

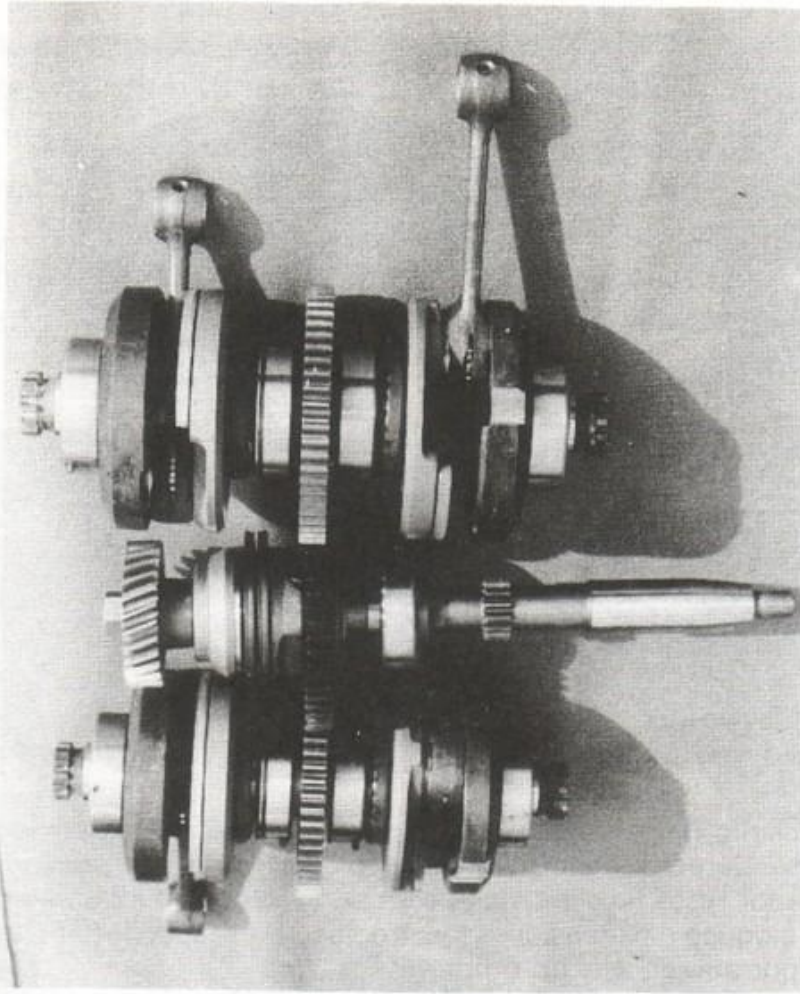


Fig. 76. Resistencia a altas velocidades. Todos los elementos que podrían aumentar la tensión se han eliminado en estos cigüeñales Suzuki de serie. No presentan bordes ni rincones agudos, todos los cambios de sección están redondeados cuidadosamente; el diámetro de la base de los piñones no es menor que el del árbol. El árbol de forma cónica que lleva el engranaje primario está formado en un diámetro superior al del árbol principal. Las cabezas de las bielas llevan unas ranuras anchas que sirven para que los vapores de aceite lubrifiquen mejor los cojinetes.

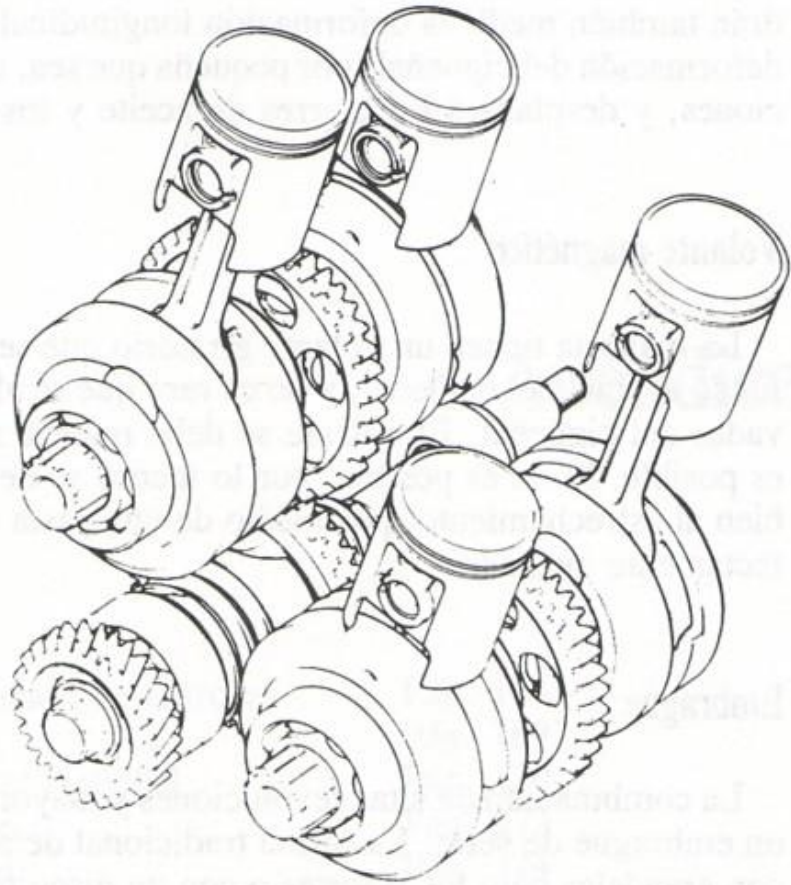
Avería del pie de la biela

Los rodamientos de agujas tienen un aguante increíble, pero el calentamiento excesivo y la falta de lubricación acabará produciendo su agarrotamiento. Muchas veces se agarrota el bulón dentro del pistón, y habrá que rectificarlo bastante para que nos dé una holgura adecuada.

Avería de la cabeza de la biela

Su agarrotamiento o rotura se puede deber a la falta de lubricación o a la rotura del cojinete por las tensiones de la alta velocidad. Si es así, entonces se tendrá que limitar la velocidad o utilizar un cojinete más resistente. No es raro utilizar una muñequilla de cigüeñal menor o hueca para reducir la carga de inercia en la cabeza de la biela.

Fig. 77. Configuración compacta del motor de cuatro cilindros en cuadro. Las de carreras utilizarían normalmente un engranaje primario con dientes rectos, no helicoidales como en la ilustración. Los dientes rectos absorben menos potencia, aunque son más ruidosos.



Elementos concentradores de esfuerzos

Las bielas y los cigüeñales sufren averías a veces porque los fabrican con muescas o con cambios de sección bruscos, lo que incrementa la carga de esfuerzo en la zona más allá de lo que puede resistir el metal. Luego, cuando se ve sometida a una tensión cíclica, la pieza se avería por fatiga: la avería empieza por una fisura minúscula en el punto de máximo esfuerzo, la fisura misma se convierte en elemento que aumenta el esfuerzo y se va agrandando. La única forma de evitar este tipo de averías es eliminar todas las muescas de bordes rectos y los cambios bruscos de sección de la biela; por desgracia, esto se debe hacer antes de llevar a cabo cualquier otro tratamiento al calor. Se puede mejorar la resistencia a la fatiga de las piezas sujetas a grandes tensiones aplicándoles un tratamiento de granallado (chorro de perdigones).

Cigüeñal

Los motores de dos tiempos suelen utilizar cigüeñales embutidos a presión, que se pueden aflojar o deformar, sobre todo si de entrada están mal montados. Una empresa especializada en cigüeñales podrá reconstruir el cigüeñal para que cumpla las tolerancias y podrá también apretar las muñequillas. En el taller especializado po-

drán también medir la deformación longitudinal o de torsión de la biela. Cualquier deformación del cigüeñal, por pequeña que sea, dará problemas en la marcha, vibraciones, y desplazará los cierres de aceite y los cojinetes principales.

Volante magnético

La mayoría tienen un volante giratorio que se fija a un estrechamiento poco profundo al final del cigüeñal, y no es raro que se afloje a velocidades de giro muy elevadas del cigüeñal. El volante se debe reducir si es preciso, o se debe eliminar si es posible. Si no es posible, por lo menos se debe equilibrar con cuidado y ajustar bien al estrechamiento, por medio de una pasta abrasiva fina, hasta que quede perfectamente ajustado.

Embrague

La combinación de altas revoluciones y mayores cargas puede ser demasiado para un embrague de serie. La forma tradicional de aumentar la presión es reconstruirlo con arandelas bajo los resortes o con un disco metálico adicional, pero lo mejor es utilizar resortes más fuertes, que dejarán más recorrido a los discos de forma que el embrague no patinará con la moto parada. Compruebe que las ranuras del cuerpo del embrague tienen bordes lisos, y que no se han estropeado por los bordes de los discos del embrague.

Ejes de balance

Muchos mecánicos de puesta a punto se animan a quitarlos, porque piensan que hay que hacerlo girar a grandes velocidades. Pero esto puede causar graves vibraciones, que se transmitirán a partes que no están preparadas para sufrirlas.

Escapes

Los tubos de entrada y las paredes de las cámaras de expansión de gases suelen sufrir la vibración y se pueden rajar, sobre todo si el motor está sujeto al bastidor de forma flexible mientras que el escape está bien atornillado en su parte posterior. Puede ser útil apoyarlo sobre soportes de goma, así como envolver el tubo de entrada con cinta especial para escapes.

Apéndice

Potencias al freno y desmultiplicación de marchas.	Pág. 163
Relación de compresión.	Pág. 169
Recorrido del pistón y rotación del cigüeñal.	Pág. 170
Velocidad y aceleración del pistón.	Pág. 173
Tiempo—superficie de la lumbrera.	Pág. 174
Movimiento del pistón.	Pág. 185

Potencias al freno en carretera y desmultiplicación de marchas

Las revoluciones y el par motor que se producen en el cigüeñal son modificadas por la caja de cambios. Si se reducen las revoluciones en un factor X , se eleva el par motor en el mismo factor X . Las relaciones de desmultiplicación lo único que hacen es ofrecernos diferentes valores de X . El resultado es que la rueda trasera gira a unas revoluciones determinadas, y genera un empuje determinado en el punto de contacto del neumático con el suelo. Esta velocidad/fuerza varía con (a) la curva de potencia del motor, y (b) la desmultiplicación de la marcha que se esté utilizando. Suele ser útil saber cómo variará este valor, si se varía la potencia o el régimen del motor, o si se cambia la relación de desmultiplicación de la marcha. Sería útil saber si el motor empieza a tener una banda de potencia muy estrecha y necesita unas marchas menos separadas; también es útil saber si tiene una relación de desmultiplicación adecuada para su régimen superior, y qué velocidad se puede conseguir aproximadamente. Este programa hace todo esto, en cifras y de forma gráfica, y permite cambios muy rápidos de relaciones de marchas, o incluso de tamaño de neumáticos, en función de los cambios de potencia y de régimen del motor.

El programa escrito en BASIC le pedirá los datos de la moto: relaciones de desmultiplicación de las marchas, tamaño de los neumáticos, etcétera, y sobre sus re-

sultados de potencia, que usted puede conocer con pruebas en el banco de pruebas, las cifras que aducen los fabricantes o las pruebas que publican las revistas. El gráfico que muestra el ordenador presenta una curva cóncava, que sube cada vez con mayor pendiente, y que representa la resistencia de las ruedas y del aire sobre la moto, que en parte se estima de forma aproximada. El punto en que la curva de potencia al freno corta a esta línea es la velocidad máxima de la moto.

```

10 REM
20 REM "DOST1.BAS"
30 REM Autor, John Robinson
35 REM Traducido y adaptado a Microsoft Basic por Alejandro Pareja Rodríguez.
38 REM Copyright Editorial Paraninfo, 1990
40 CLS
42 INPUT "¿Cuántas marchas? ", Y
45 X =20
50 DIM N(X), HP(X), V(Y,X), F(Y,X), G(Y)
55 COL=1 'PARAMETRO PARA DIBUJO DE LINEAS. HACER 0 PARA BORRAR, 1 PARA TRAZAR. VER LI
NEAS 10000-
60 CLS
65 LOCATE 10,10:PRINT"Entrar datos nuevos ..... 1"
70 LOCATE 12,10:PRINT"Cambiar datos de marchas ..... 2"
80 LOCATE 14,10:PRINT"Cambiar datos de potencia .... 3"
90 LOCATE 16,10:PRINT"Terminar ..... 4"
95 LOCATE 18,10:PRINT"Continuar ..... 5"
100 INPUT D
110 IF D=1 THEN GOSUB 400 'PROCINPUT
120 IF D=2 THEN GOSUB 3000'PROCALT
130 IF D=3 THEN GOSUB 600 'PROCPPOWER
140 IF D=4 THEN GOTO 200 'SALIR
155 GOSUB 800 ' PROCCALC
160 INPUT "¿Cifras o gráfico? (C/G)";A$
170 IF A$ = "C" THEN SCREEN 2:GOSUB 900 ' PROCFIG
180 IF A$ = "G" THEN GOSUB 2000' PROCDRAW
190 GOTO 60
200 END
400 REM PROCINPUT *****
405 REM
410 INPUT "¿Reducción primaria "; P
420 FOR I=1 TO Y
430 PRINT "¿Relación interna de marcha "; I; " ";
435 INPUT G(I)
440 NEXT
450 INPUT "¿Número de dientes en el piñón de salida de caja de cambios ";T1
460 INPUT "¿Número de dientes de la corona de la rueda trasera ";T2
490 INPUT "¿Radio efectivo de la rueda trasera (centímetros) ";R
495 R = 2.54*R ' Centímetros a pulgadas
500 INPUT " ¿Se han introducido ya los datos de potencia del motor (S/N) ";F$
510 IF F$ = "N" THEN GOSUB 600 'PROCPPOWER
520 RETURN
600 REM PROCPPOWER *****
610 CLS
620 PRINT " Introducir r.p.m. del motor y potencia correspondiente en CV."

```

```

625 PRINT " Introducir 1 para parar"
630 PRINT
640 W=0
650 REM
660 INPUT " R.P.M. "; N(W)
670 INPUT " CV "; HP(W)
675 IF N(W) <> 1 AND W <> X THEN LET W = W + 1 :GOTO 660
710 RETURN
800 REM PROCCALC *****
805 Q1 = 0
810 FOR J=1 TO Y
815 Q1 = P*G(J)*T2/T1
820 FOR I=0 TO W-2
830 V(J,I) = .003705*R*N(I)/Q1 ' Modificado para km/h
840 F(J,I)=HP(I)*(375/V(J,I))*7.22 ' EL FACTOR 7.22, PARA PASAR LIBRAS-PIE A KG-M
850 NEXT
860 NEXT
870 RETURN
900 REM PROCFIG *****
910 REM
915 REM
917 SCREEN 2
920 FOR J=1 TO Y
930 PRINT "Marcha ";J
940 FOR I=0 TO W-2
950 PRINT V(J, I); " km/h";
960 PRINT F(J, I); " kg-m"
970 NEXT
975 PRINT " Velocidad/1000 r.p.m = "; V(J, I-1)*1000/N(I-1);" km/h"
980 NEXT
990 REM
1000 PRINT "Relación de marchas ";T2;"/";T1
1010 INPUT "Entrar C para continuar"; B$
1020 IF B$ <> "C" THEN 200
1030 RETURN
2000 REM PROCDRAW *****
2005 SCREEN 2
2007 CLS
2010 A1=0:B1=0:K1=0:V11=0:D11=0
2020 A1= 1200/V(Y,W-2)
2040 I = 1
2050 WHILE F(1, I) >= F(1, I-1) AND I <> W - 2
2055 I = I + 1
2060 WEND
2070 B1=1000/F(1,I-1)
2110 REM
2120 REM
2140 DRW1= 1200: DRW2 = 0: GOSUB 10000
2142 XXX=0:YYY=0
2144 DRW1=1: DRW2=1000
2150 K1 = 20
2160 WHILE B1*K1 < 1000
2170 XXX=1: YYY=B1*K1
2172 CONTADOR = CONTADOR + 1: IF INT(CONTADOR / 4) = CONTADOR / 4 THEN LOCATE 25-(B1*
K1)*(25/1024)), 1: PRINT USING "PAPA";K1;
2174 XXX=50:YYY=B1*K1
2180 DRW1= 1200: DRW2= B1*K1: K1=K1+20: GOSUB 10000
2190 WEND
2200 K1=10
2210 WHILE A1*K1 < 1200
2220 XXX= A1*K1: YYY=1
2230 K1=K1+10
2235 XXX= A1*K1-30: YYY=1024

```

A

```

2237 LOCATE 25, (A1*K1-30)*(80/1280) :CONTADOR = CONTADOR+ 1: IF INT(CONTADOR/4) = CO
NTADOR/4 THEN PRINT USING "R&R";K1;
2240 WEND
2250 XXX=1:YYY = 1024:LOCATE 1,1:PRINT "kg-m ";
2260 XXX = 1210: YYY= 1024:LOCATE 25, 75:PRINT "km/h";
2261 XXX= 0: YYY= 0
2262 FOR V11 = 0 TO V(Y, W-2)
2264 DRW1= V11*A1:DRW2= D11*B1:GOSUB 10000
2265 NEXT
2270 FOR J = 1 TO Y
2280 I = 0
2290 XXX= V(J,I)*A1:YYY = F(J,I)*B1
2300 WHILE I <> W - 2
2310 I = I + 1
2320 DRW1= V(J, I)*A1:DRW2= F(J, I)*B1: GOSUB 10000
2330 WEND
2340 NEXT
2350 XXX= 100:YYY= 100
2360 LOCATE 1, 54:INPUT "PARA CONTINUAR, ENTRE C ":C#
2370 IF C# <> "C" THEN 200
2375 SCREEN 0
2380 RETURN
3000 REM PROCALT *****
3005 X1 = 0
3010 CLS
3020 PRINT "Para modificar REDUCCION PRIMARIA pulsar tecla 1":PRINT
3030 PRINT SPC(9); "RELACION INTERNA DE MARCHAS"; SPC(14);"2":PRINT
3040 PRINT SPC(9); "DIENTES DEL PINON DE SALIDA"; SPC(12);"3":PRINT
3050 PRINT SPC(9); "CORONA RUEDA TRASERA"; SPC(14);"4":PRINT
3060 PRINT SPC(9); "RADIO EFECTIVO RUEDA TRASERA"; SPC(14);"5":PRINT
3065 PRINT "Para mostrar nuevas potencias al freno en carretera, tecla 6"
3070 INPUT X1
3080 ON X1 GOTO 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600
3100 CLS
3105 PRINT "Reducción primaria ";P:PRINT
3110 INPUT "Nueva reducción primaria ";P
3120 GOTO 3010
3200 CLS
3210 FOR I=1 TO Y
3215 PRINT "Marcha ";I, G(1)
3220 PRINT "Nueva marcha "; I
3230 INPUT G(I)
3240 NEXT
3250 GOTO 3010
3300 CLS
3305 PRINT "Pinon de salida de caja de cambios"; T1:PRINT
3310 INPUT "Nuevo numero de dientes ";T1
3330 GOTO 3010
3400 CLS
3405 PRINT "Corona de la rueda trasera ";T2: PRINT
3410 INPUT "Nuevo numero de dientes ";T2
3420 GOTO 3010
3500 CLS
3505 PROCTYRE
3507 PRINT "Radio de giro de rueda trasera ";R:PRINT
3510 INPUT "Nuevo radio de giro, centímetros";R
3515 R = 2.54*R ' Centimetros a pulgadas
3520 GOTO 3010
3600 RETURN
10000 REM ***** RUTINA DE ADAPTACION COMANDOS GRAFICOS
10010 LINE(XXX/2.05 , 200-( YYY/5.146))-(DRW1/2.05, 200- (DRW2/5.146)),COL
10020 XXX=DRW1: YYY = DRW2
10999 RETURN

```


El ordenador lo calcula de forma casi instantánea, pero se pueden conseguir los mismos resultados con una calculadora corriente. El cálculo es el siguiente:

$$F = CV \times 375/v$$

donde F = empuje en la rueda, en libras-pie
 CV = potencia del motor en CV

$$v = KNG/W$$

donde v = velocidad en millas por hora
 N = velocidad de giro del cigüeñal, en r.p.m.
 G = número de dientes en el piñón de ataque cambios
 W = número de dientes en la corona de la rueda trasera

$$K = 0.00595R/P G_1 \quad K = 0.000595R/P G_1$$

donde P = relación de desmultiplicación primaria
 G_1 = relación de desmultiplicación interna
 R = radio total de la rueda trasera, en pulgadas

Se pueden calcular F y v para diferentes valores de potencia y de r.p.m., para cada marcha, y se pueden marcar en un gráfico, con F en el eje de ordenadas. El programa para la calculadora programable TI53 es como sigue. Se coloca la calculadora en modo de programación y se teclea lo siguiente:

Primero, calcular K y G/W con cuatro decimales:

Paso	Clave	Símbolo	
00	55	x	(introducir N r.p.m.)
01	83	.	
02	()	K1	(introducir K con cuatro decimales)
03	()	K2	
04	()	K3	
05	()	K4	
06	55	x	
07	83	.	
08	()	G/W	(introducir G/W con cuatro decimales)
09	()	G/W	
10	()	G/W	
11	()	G/W	
12	85	=	
13	41	STO	(presenta V en millas/hora)
14	81	R/S	(introducir CV)
15	55	x	
16	74	3	
17	52	7	

Paso	Clave	Símbolo	
18	63	5	
19	45	÷	
20	51	RCL	
21	85	=	(presenta F en libras pie)
22	81	R/S	
23	31	2nd	
24	81	RST	

(Seguido de LRN, 2, RST para dejar el modo de programación y poner a cero)

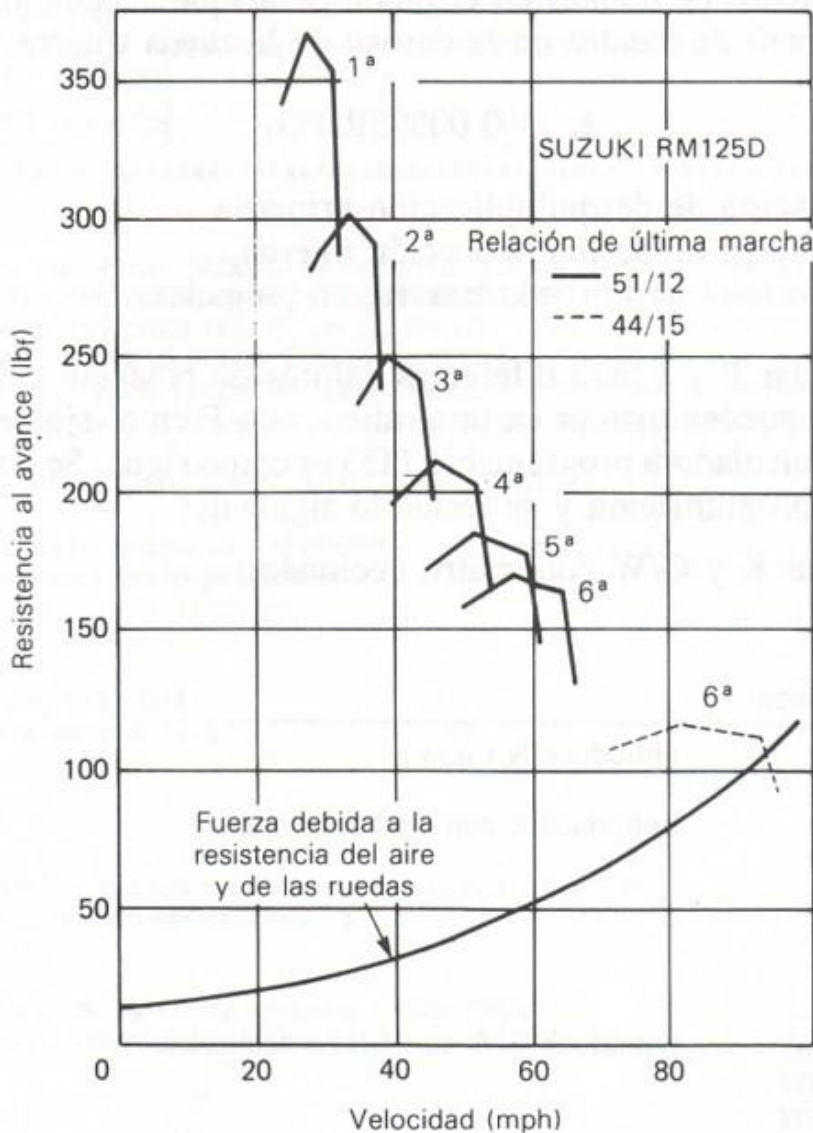


Fig. 78. Curvas de potencia al freno-resistencia al avance en carretera para una máquina de motocross Suzuki. El empuje de la rueda trasera se muestra para una caja de cambios de serie, que no permitiría superar los 105 km/h en la marcha superior. Al cambiar la relación de marchas cambiando la caja de cambios y la corona de la rueda trasera, se conseguiría el empuje representado por la línea de puntos, y una velocidad punta de unos 150 km/h. La resistencia al avance debida a la resistencia del aire variaría, evidentemente, en función de la superficie frontal de la moto y de los elementos aerodinámicos que se le acoplaran.

Relación de compresión

Para calcular la relación de compresión C

$$C = (V_c + V_{sw}) / V_c$$

$$C_n = (V_c \pm Ah + V_{sw}) / (V_c \pm Ah)$$

donde V_c = volumen de la cámara de combustión

V_{sw} = volumen barrido por el pistón, ya sea desde el p.m.s. o desde el cierre de la lumbrera de escape.

h = profundidad del material que se retira o se añade en la superficie de contacto con la junta

A = área del calibre del cilindro ($3.14 \times (\text{calibre})^2 / 4$)

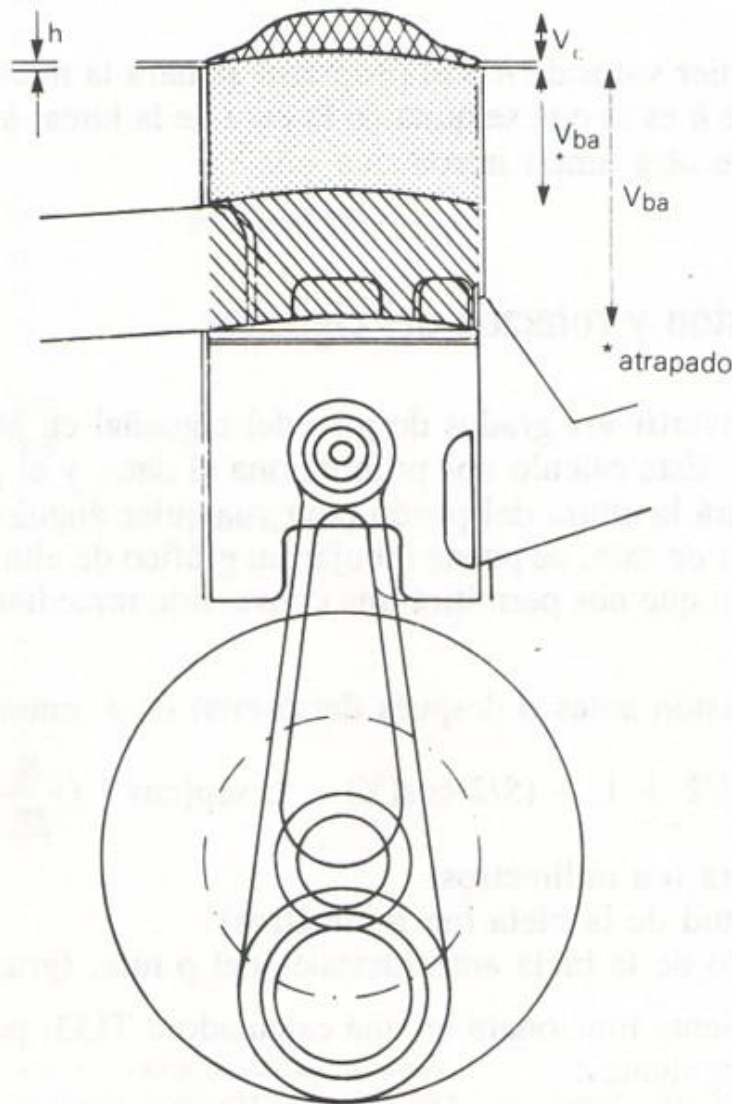


Fig. 79. Proporciones del motor de dos tiempos. La relación de compresión se calcula a partir de los volúmenes que se indican: V_{ba} – volumen barrido (o atrapado cuando se cierra la lumbrera de escape); V_c – volumen de la cámara de combustión. La altura h es la diferencia que se produce al rebajar la superficie de contacto de la culata o del cilindro, o cambiando la junta de culata.

A

El programa para la TI53 para calcular el cambio de la relación de compresión es el siguiente:

Paso	Clave	Símbolo	Paso	Clave	Símbolo
00	55	x (introducir h)	13	()	V_{sw}
01	()	A	14	()	V_{sw}
02	()	A	15	()	V_{sw}
03	()	A	16	()	V_{sw}
04	()	A	17	()	V_{sw}
05	65	-	18	85	=
06	()	V_c	19	45	÷
07	()	V_c	20	51	RCL
08	()	V_c	21	85	=
09	()	V_c	22	81	R/S
10	85	=	23	31	2nd
11	41	STO	24	81	RST
12	65	-			

Introduzca cualquier valor de h y el programa le dará la nueva relación de compresión. Supone que h es lo que se quita en la cara de la junta; si se añade distancia (es decir, si se pone otra junta) introduzca $-h$.

Recorrido del pistón y rotación del cigüeñal

Suele ser útil convertir los grados de giro del cigüeñal en altura del pistón (en distancia al p.m.s.). Este cálculo nos proporciona el dato, y el programa siguiente para la TI53 nos dará la altura del pistón para cualquier ángulo que se entre en la calculadora. A partir de esto, se puede dibujar un gráfico de altura del pistón contra ángulo de la biela, lo que nos permitirá una conversión inmediata de grados a milímetros y viceversa.

Si la altura del pistón antes o después del p.m.s. es d , entonces

$$d = S/2 + L - (S/2)\cos(X) - L \sin[\cos^{-1}(\frac{S}{2L} \sin X)]$$

donde S = carrera (en milímetros)

L = longitud de la biela (en milímetros)

X = ángulo de la biela antes/después del p.m.s. (grados)

El programa siguiente funcionará en una calculadora TI53; pero primero realice usted los cálculos siguientes:

(i) calcule $\frac{S}{2L}$ (=A) con tres cifras (incluida la coma)

(ii) calcule $S/2$ (=B) con cuatro cifras

(iii) calcule $S/2 + L$ (=C) con cinco cifras

(advierta que L suele equivaler a 2S, es decir, que la longitud de la biela suele ser el doble de la carrera del pistón)

Si su calculadora admite un programa de más de 31 pasos, entonces se pueden utilizar más dígitos para A, B ó C. El resultado último aparecerá en forma de número negativo.

00	41	STO	Introducir x (grados a/d p.m.s.)
01	22	sin	
02	55	x	
03	83	.	(coma decimal)
04	()	A	introducir A (normalmente 0,25)
05	()	A	
06	85	=	
07	31	2nd	
08	23	\cos^{-1}	
09	22	sin	
10	55	x	
11	()	L	Introducir L
12	()	L	
13	()	L	
14	75	+	
15	()	B	Introducir B
16	()	B	
17	()	B	
18	()	B	
19	55	x	
20	51	RCL	
21	23	cos	
22	65	-	
23	()	C	Introducir C
24	()	C	
25	()	C	
26	()	C	
27	()	C	
28	85	=	presenta d
29	81	R/S	
30	31	2nd	
31	81	RST	

```

10 REM
20 REM "DOST2.BAS"
30 REM Altura del pistón contra giro del cigüeñal
31 REM Autor, John Robinson; traducido y adaptado a Microsoft Basic por Alejandro Pare
ja Rodríguez. Copyright Editorial Paraninfo, 1990
40 DIM RAD(360): FOR GG=1 TO 360:RAD(GG) = GG /57.296:NEXT GG 'GRADOS A RADIANTES
50 CLS
60 PRINT:PRINT "Introducir las longitudes en milímetros, y los grados de giro"
65 PRINT "del cigüeñal, en grados antes/después del p.m.s.": PRINT
70 INPUT "Carrera del pistón ";S

```

```

80 PRINT "Longitud de la biela"
85 INPUT "(Si se desconoce, introducir 0) ";L
90 IF L = 0 THEN LET L=1.7 * S 'L=2*S EN MOTORES DE DOS TIEMPOS
100 INPUT "Grado de cigüeñal mínimo ";X1
110 INPUT "Grado de cigüeñal máximo ";X2
120 INPUT "Incrementos ";X3
125 IF L<S/2 THEN PRINT "La biela tiene que ser más larga que el codo del cigüeñal":
GOTO 60
130 CLS
135 REM
140 REM
145 REM
150 A = S/2+L
160 Z1 = RAD(X1): Z2=RAD(X2):Z3=RAD(X3)
170 PRINT SPC(6)"Angulo          Distancia (mm)"
180 PRINT SPC(3)"desde el p.m.s.      por debajo del p.m.s."
190 FOR Z=Z1 TO Z2 STEP Z3
200 P=S/2*COS(Z)
210 R=S/2*SIN(Z)
220 Q= SQR(L^2-R^2)
230 D =A-P-Q
240 PRINT SPC(12);USING "R.R.R.R ";Z*57.296;:PRINT SPC(12); USING "R.R.R.R";D
250 NEXT
260 PRINT TAB(23) "Pulsar cualquier tecla"
265 PRINT TAB(25) "para continuar"
270 A$ = INKEY$:IF A$ = "" THEN GOTO 270
280 CLS
285 PRINT:PRINT:PRINT
290 PRINT "          Para modificar:";PRINT:PRINT "          CARRERA ....."
.....1";PRINT
300 PRINT "          LONGITUD DE LA BIELA .....2";PRINT
310 PRINT "          ANGULO DE CIGUEÑAL .....3";PRINT
320 PRINT "          SALIR .....4"
330 INPUT M: CLS
340 IF M=1 THEN PRINT "Carrera "S" mm": INPUT "Nueva carrera ";S:GOTO 150
350 IF M=2 THEN PRINT "Longitud "L" mm": INPUT "Nueva longitud ";L:GOTO 150
360 IF M=3 THEN 100
365 IF M=4 THEN 380
380 END

```

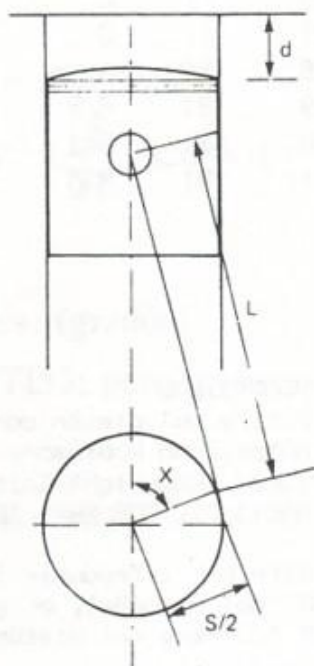


Fig. 80. Recorrido del pistón. La distancia antes/después del p.m.s. (d) se relaciona con el ángulo (X) que ha girado el cigüeñal. S representa la carrera, y L la distancia entre centros de la biela.

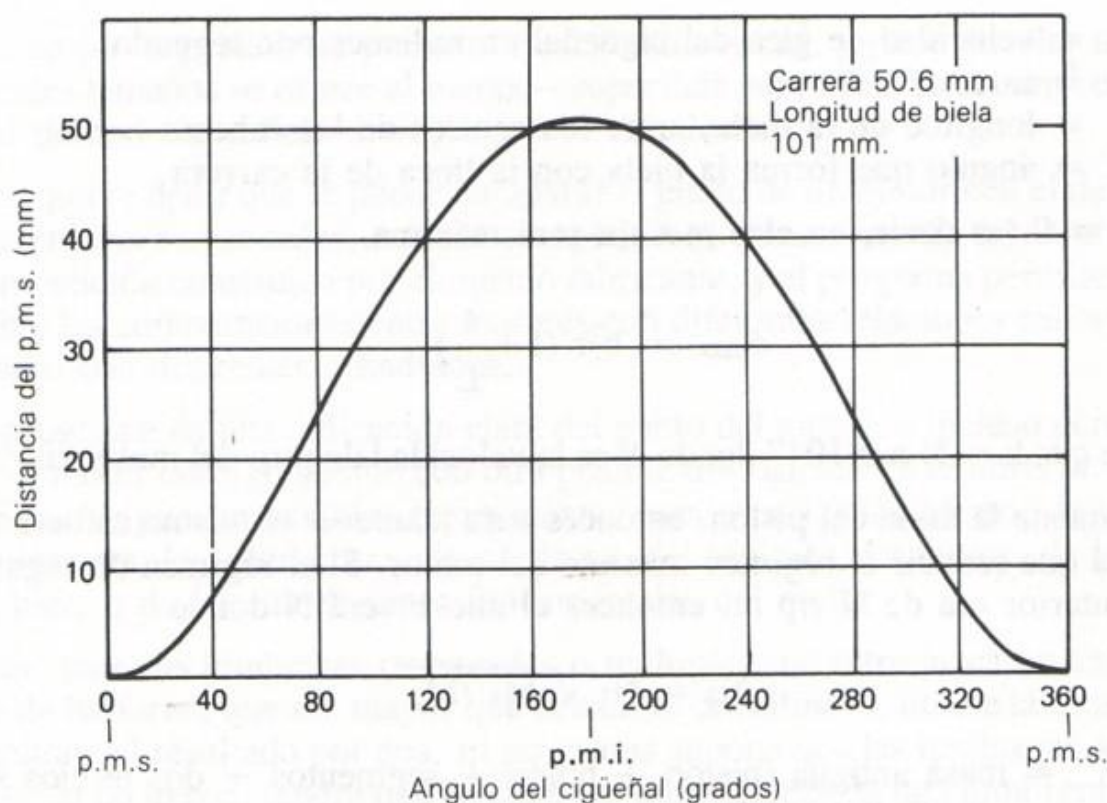


Fig. 81. Gráfico del recorrido del pistón, que se produjo por el programa adjunto. El efecto de la angularidad de la biela es que el pistón pasa más tiempo en el p.m.i. que en el p.m.s. (y que sufre menores aceleraciones en la zona del p.m.i.)

Velocidad y aceleración del pistón

La velocidad media del pistón es v , donde

$$v = 2sN$$

donde s = carrera

N = Velocidad de giro del cigüeñal

Si s se expresa en metros, y N en revoluciones por segundo, entonces la velocidad media v estará expresada en metros por segundo. La cifra máxima que permite una fiabilidad mecánica se suele establecer en 20 m/s.

La fuerza que sufre el pistón es el producto de su masa por su aceleración, y puede ser importante saber cuánto ha cambiado esta cifra si hemos modificado la masa del pistón o el régimen del motor.

La aceleración del pistón es a , donde

$$a = b^2r(\cos X + (R/L) \cos 2X)$$

A

donde b = velocidad de giro del cigüeñal en radianes por segundo
 r = carrera/2
 L = longitud de la biela, entre los centros de las cabezas
 X = ángulo que forma la biela con la línea de la carrera

cuando $X = 0$ (es decir, en el p.m.s.) a será máxima.

$$a_{\max.} = b^2 r \left(1 + \frac{r}{L}\right)$$

Adviértase que $b = N \times 0'1047$ donde N es la velocidad de giro del motor en r.p.m.

Si se aumenta la masa del pistón, entonces para mantener el mismo esfuerzo máximo habrá que reducir el régimen máximo del motor. Si el régimen de seguridad máximo anterior era de N r.p.m. entonces el nuevo será N donde

$$N_2 = N_1 \sqrt{M_1 / M_2}$$

donde M_1 = masa antigua (pistón + bulón + segmentos + dos tercios superiores de la biela)
 M_2 = masa nueva

Tiempo-superficie de la lumbrera

Un gráfico del movimiento del pistón mostraría cómo éste descubriría una lumbrera de escape o una de las lumbreras de carga. La ventana de la lumbrera sólo quedaría totalmente abierta durante un periodo pequeño del ciclo; durante el resto del tiempo, el área descubierta de la lumbrera estaría variando siempre. Tanto el tamaño de la lumbrera como el tiempo que pasa abierta determinan cuántos gases pasarán por la misma (a igualdad de otros factores, como la presión, el coeficiente de descarga, etcétera)

Esto da origen al concepto de tiempo-superficie, es decir, el área total descubierta multiplicado por el tiempo que pasa descubierta. Por ejemplo, una lumbrera de 2 cm² que permaneciese abierta 3 segundos, tendría un tiempo-superficie de 6 segundos-cm². En términos de su capacidad de flujo, equivaldría a una lumbrera de 3 cm² que permaneciese abierta 2 segundos.

En la práctica, la verdadera dificultad es calcular cuál es la superficie de lumbrera que permanece abierta, pero es un cálculo que resulta bastante sencillo para un ordenador. El programa en BASIC que se lista a continuación puede calcular intervalos de tiempo-superficie con rapidez y precisión. También calcula cilindradas, superficies de pistón y la anchura de la lumbrera como porcentaje del calibre y como arco del calibre (se supone que un 70% ó 90 grados respectivamente es el máximo que pueden soportar los segmentos)

El tiempo—superficie se presenta en segundos— mm^2 , y para calcular motores de diferentes tamaños se ofrece el tiempo—superficie específico en $\text{s—mm}^2/\text{cm}^3$ (es decir, el tiempo—superficie dividido por la cilindrada)

Esto quiere decir que se puede comparar el punto de un motor con el de las motos de carreras más avanzadas, con sus competidoras en una carrera o con otra versión de competición construida por el mismo fabricante, y el programa permite automáticamente las comparaciones entre motores con diferentes relaciones calibre/carrera, así como con diferentes cilindradas.

El programa da una indicación clara del punto del motor, e incluso permite comparar al motor consigo mismo con otra posible disposición de lumbreras. Los datos del motor se pueden cambiar rápidamente, para estudiar los efectos de un cambio de la anchura de la lumbrera, de su altura, del régimen del motor, de la longitud de la biela o de las dimensiones fundamentales del motor.

Nota: para las lumbreras puenteadas o múltiples, no introduzca un valor de anchura de lumbrera que sea mayor que el calibre del cilindro; utilice la mitad y luego multiplique el resultado por dos. El programa supone que las lumbreras son rectangulares; si no lo son, tendrá que calcular las dimensiones de una lumbrera rectangular que tenga la misma superficie, como muestra los diagramas en la figura 82.

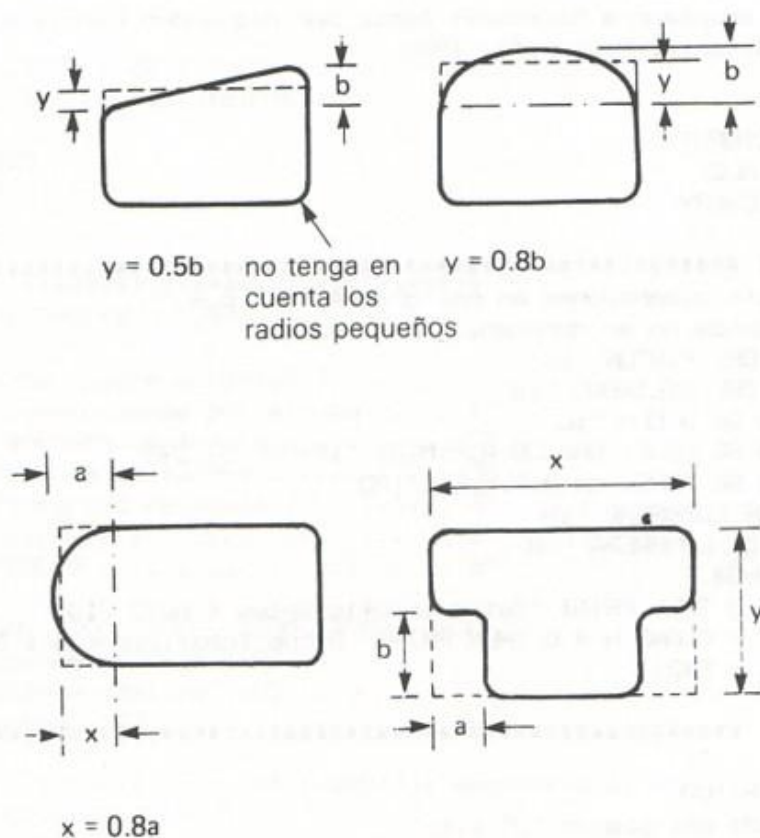


Fig. 82. Formas de lumbreras equivalentes, para emplearlas con el programa de tiempos—superficies. Donde las dimensiones reales se muestran como a , b , se muestra una forma rectangular equivalente aproximadaente por x , y . Abajo, derecha: calcule el tiempo—superficie para x , y (TS) y luego el de a , b (ts). El tiempo—superficie total para la lumbrera de esta forma será $TS - 2ts$.

A

Para usar el programa, introduzca los datos que éste le vaya pidiendo. Si no conoce la longitud de la biela, el programa supondrá que vale el doble de la carrera del pistón. La apertura y cierre de lumbreras se puede dar de tres maneras: altura sobre el p.m.i. (altura de la lumbrera) en milímetros, milímetros después del p.m.s. para la apertura de la lumbrera, o grados de giro del cigüeñal después del p.m.s. Sólo hará falta dar uno de esos datos, y cero para los otros dos.

El tiempo—superficie se puede hacer variar entonces en función de las revoluciones del motor, o se puede elegir un régimen determinado y hacer variar el tiempo—superficie en función de la anchura de la lumbrera, su altura, la carrera del pistón, etc. Los resultados se pueden emplear de varias maneras. Una de ellas es tomar el tiempo—superficie al par motor máximo y utilizar el ordenador para mostrar qué tamaño y posición de las lumbreras harían falta para mantener dicho tiempo—superficie a un régimen superior. Otra cosa que se puede hacer es comparar el motor con una máquina mejor puesta a punto e igualar su tiempo—superficie. Evidentemente, también habría que modificar el carburador, el escape, etcétera, para que estuviesen a la altura de la nueva disposición de lumbreras.

```
10 REM
20 REM "DOST3.BAS"
30 REM Autor, John Robinson
35 REM Traducido y adaptado a Microsoft Basic por Alejandro Pareja Rodriguez.
38 REM Copyright Editorial Paraninfo, 1990
40 CLS
50 REM
100 GOSUB 200 *PROCINPUT
110 GOSUB 500 *PROCALC
120 GOSUB 3000 *PROCVARY
130 END
200 REM  PROCINPUT *****
210 PRINT "Introducir dimensiones en mm, grados, y r.p.m."
215 PRINT "Si los datos no se conocen, introducir 0"
220 INPUT "CARRERA DEL PISTON ";S
230 INPUT "CALIBRE DEL CILINDRO ";B
240 INPUT "LONGITUD DE BIELA ";L
250 INPUT "LUMBRERA SE ABRE: GRADOS A.P.M.S. ";P:P=P/57.296
260 INPUT "LUMBRERA SE ABRE: mm A.P.M.S. ";PD
270 INPUT "ALTURA DE LUMBRERA ";H
280 INPUT "ANCHURA DE LUMBRERA ";W
285 IF W = 0 THEN W=B*.7
290 IF S = 0 OR B = 0 THEN PRINT "Datos insuficientes": GOTO 210
295 IF P = 0 AND PD = 0 AND H = 0 THEN PRINT "Datos insuficientes": GOTO 210
300 IF L = 0 THEN L = S*2!
310 RETURN
500 REM  PROCALC *****
505 Y = 0
510 D = 3.14*B^2/4*S/1000
520 PRINT "Cilindrada del pistón "D" c.c."
522 PRINT "Superficie del pistón" 3.14*B^2/4; " m.m ^2"
524 PRINT: PRINT "Esperar un momento, por favor..."
525 IF P>0 THEN P = P* 57.296: GOTO 620
530 IF P=0 AND PD=0 THEN 600
540 IF P=0 THEN I = 0
550 WHILE S/2 * COS(I) + SQR(L^2-(S/2*SIN(I))^2) > S/2+L-PD
```

```

552 I = I + .01
554 LOCATE 15,15:PRINT USING " PAPA.PP";I
555 WEND
560 P = (I - .01) * 57.2956: H = S-PO: GOTO 640
600 I = 0
602 WHILE S/2*(COS(I))+SQR(L^2-(S/2*SIN(I))^2)>L-S/2+H
604 I = I + .01
605 WEND
610 P = (I-.01) * 57.2956: GOTO 640
620 IF H = 0 THEN Y = (COS(P))*S/2+SQR(L^2-(S/2*SIN(P))^2):P=P*57.2956
630 IF H = 0 THEN H=S/2-L+Y
640 PRINT "La lumbrera se abre "P" grados a.p.m.s."
650 PRINT "Altura de lumbrera "H" mm."
660 PRINT "Anchura de lumbrera "W" mm."
662 REM ** CALCULO DE ASN, ARCO SENO W/B
664 ASN=0
665 WHILE SIN(ASN) < W/B
666 ASN = ASN + .01
667 WEND
670 Q = (2*ASN) * 57.2956
680 R=W/B*100
690 PRINT "Corresponde a "R" % del calibre, y abarca un ángulo de "Q" grados."
695 INPUT "PARA CONTINUAR, ENTRAR C ";C$
697 IF C$ = "C" THEN 700 ELSE 30
700 RETURN

1200 REM  PROCTA *****
1210 I1 = 0: Y1 = 0: X1=0
1220 TA = 0
1230 I1 = .02
1240 REM
1250 T = I1/N
1260 FOR E = 0 TO 6.2833 STEP I1
1270 Y = S/2*COS(E)+SQR(L^2-(S/2*SIN(E))^2)
1280 X=S/2-L+Y
1290 IF X>H THEN 1310
1300 TA=TA+T*W*(H-X)
1310 NEXT
1320 RETURN

3000 REM  PROCVARY *****
3010 X2=0:F2=0:G2=0:J2=0:Y2=0:A2$=""
3015 CLS
3020 PRINT "¿Qué parte quiere modificar? "
3030 PRINT TAB(8) "revoluciones por minuto ..... 1"
3040 PRINT TAB(8) "anchura de lumbrera ..... 2"
3050 PRINT TAB(8) "altura de lumbrera ..... 3"
3060 PRINT TAB(8) "longitud de biela ..... 4"
3070 PRINT TAB(8) "carrera ..... 5"
3075 PRINT TAB(8) "SALIR ..... 6"
3080 INPUT X2
3090 ON X2 GOTO 3100, 3200, 3300, 3400, 3500, 3600
3100 INPUT "revoluciones mínimas ";F2
3110 INPUT "revoluciones máximas ";G2
3120 INPUT "Incrementos ";J2
3122 PRINT
3125 PRINT "r.p.m."; SPC(4); "seg-mm2"; SPC(3); "seg-mm2/c.c."
3130 FOR N = F2 TO G2 STEP J2
3140 N = N * 3.1416/30
3150 GOSUB 1200 'PROCTA
3160 N = N * 30/3.1416
3165 PRINT N; USING "PAPA.PP ";TA, TA/D*1000;:PRINT "/ 1000"
3170 NEXT
3180 INPUT "Pulsar C para continuar, o M para cambiar datos del motor. ";A2$

```

A

```
3190 IF A2$ = "M" THEN 100 ELSE 3015
3200 INPUT "revoluciones por minuto ";N
3210 N = N*3.1416/30
3215 Y2 = W
3220 INPUT "anchura mínima ";F2
3230 INPUT "anchura máxima ";G2
3240 INPUT "incrementos ";J2
3242 PRINT
3245 PRINT "anchura en mm"; SPC(4); "seg-mm²";SPC(4); "seg-mm²/c.c."
3250 FOR W = F2 TO G2 STEP J2
3260 GOSUB 1200 'PROCTA
3270 PRINT USING "#####.R";W;:PRINT " "; USING "#####.R" ";TA, TA/D*1000;:PRIN
T "/ 1000"
3280 NEXT
3285 W = Y2
3290 INPUT "Pulsar C para continuar, o M para cambiar datos del motor, ";A2$
3292 IF A2$ = "M" THEN 100 ELSE 3015
3300 INPUT "revoluciones por minuto ";N
3310 N = N*3.1416/30
3315 Y2 = H
3320 INPUT "altura mínima ";F2
3330 INPUT "altura máxima ";G2
3340 INPUT "incrementos ";J2
3342 PRINT
3345 PRINT "altura en mm"; SPC(4); "seg-mm²";SPC(4); "seg-mm²/c.c."
3350 FOR H = F2 TO G2 STEP J2
3360 GOSUB 1200 'PROCTA
3370 PRINT USING "#####.R";H;:PRINT " "; USING "#####.R" ";TA, TA/D*1000;:PRIN
T "/ 1000"
3380 NEXT
3385 H = Y2
3390 INPUT "Pulsar C para continuar, o M para cambiar datos del motor, ";A2$
3392 IF A2$ = "M" THEN 100 ELSE 3015
3400 INPUT "revoluciones por minuto ";N
3410 N = N*3.1416/30
3415 Y2 = L
3420 INPUT "longitud mínima ";F2
3430 INPUT "longitud máxima ";G2
3440 INPUT "incrementos ";J2
3442 PRINT
3445 PRINT "longitud en mm"; SPC(2); "seg-mm²";SPC(4); "seg-mm²/c.c."
3450 FOR L = F2 TO G2 STEP J2
3460 GOSUB 1200 'PROCTA
3470 PRINT USING "#####.R";L;:PRINT " "; USING "#####.R" ";TA, TA/D*1000;:PRIN
T "/ 1000"
3480 NEXT
3485 L = Y2
3490 INPUT "Pulsar C para continuar, o M para cambiar datos del motor, ";A2$
3492 IF A2$ = "M" THEN 100 ELSE 3015
3500 INPUT "revoluciones por minuto ";N
3505 REM
3510 N = N*3.1416/30
3515 Y2 = S
3520 INPUT "carrera mínima ";F2
3530 INPUT "carrera máxima ";G2
3540 INPUT "incrementos ";J2
3542 PRINT "El programa supone que la ALTURA de la lumbrera no varia":PRINT
3545 PRINT " carrera, mm"; SPC(3);"c.c.";SPC(4); "seg-mm²";SPC(4); "seg-mm²/c.c."
3550 FOR S = F2 TO G2 STEP J2
3560 GOSUB 1200 'PROCTA
3565 D = 3.3436*B^2/4*6
3570 PRINT USING "#####.R" ";S;D/1000;:PRINT USING "#####.R" ";TA, TA/D*1000000
!;:PRINT "/ 1000"
```

```

3580 NEXT
3585 S = Y2
3587 REM
3590 INPUT "Pulsar C para continuar, o M para cambiar datos del motor. ";A2$
3592 IF A2$ = "M" THEN 100 ELSE 3015
3600 RETURN

```

Aproximaciones

Si no dispone de ordenador, puede calcular de forma muy aproximada los valores de tiempo—superficie de una lumbrera rectangular por medio de la fórmula siguiente:

$$\text{tiempo—superficie} = KHW/N \text{ s—mm}^2$$

donde: H es la altura de la lumbrera en mm; W es la anchura de la misma en mm; N es la cifra de r.p.m. del motor, y K es proporcional a los grados del ciclo completo en los que permanece abierta la lumbrera:

tiempo de apertura	130°	140°	150°	160°	170°	180°	190°	200°	210°
K	14'35	15'40	16'45	17'50	18'65	19'65	20'70	21'75	22'80

El programa se ocupa del tiempo—superficie de una lumbrera que se abra en la zona del p.m.i. Otro programa, TA2A, calcula el tiempo—superficie de una admisión controlada por el pistón, que se abre cerca del p.m.s. y que se puede modificar alterando el tamaño o la forma de la lumbrera y alterando la longitud de la falda del pistón. Esto sólo se aplica a los motores con admisión controlada por el pistón; cuando la lumbrera se regula por medio de una válvula de láminas, puede estar abierta todos los 360° de giro del motor, ya que la válvula se abrirá y se cerrará según las necesidades. Esto nos da un tiempo—superficie imposible de mejorar; o, mejor dicho, el “tiempo” no se puede mejorar; quizás sí la “superficie”. Para que funcionase para una lumbrera de admisión controlada por el pistón, habría que rehacerlo para que calculase las aperturas en la zona del p.m.s. Pero la mayoría de los motores de dos tiempos tienen válvula de láminas o válvula de disco giratorio. La válvula de láminas puede dejar abierto el paso al cárter los 360° del ciclo, y los pétalos de la misma se abren cuando es necesario, lo que da un tiempo—superficie imposible de mejorar.

```

10 REM
20 REM
30 REM TA2A
32 REM 29-10-86
33 REM REVISED 29-12-86
34 REM AUTOR JOHN ROBINSON. TRADUCCION Y ADAPTACION ALEJANDRO PAREJA.
35 REM COPYRIGHT 1991 EDITORIAL PARANINFO

```

A

```

40 REM TIEMPO-SUPERFICIE DE ADMISION
50 REM
80 CLS
90 GOSUB 200
100 GOSUB 300
110 GOSUB 800
115 GOTO 110
120 END
200 REM *****
205 A1$ = ""
210 CLS:PRINT:PRINT:PRINT "Introducir datos en mm o en grados de giro"
215 PRINT "del cigüeñal con relacion al p.m.s."
220 PRINT:PRINT
230 INPUT "calibre ":B
240 INPUT "carrera ":S
250 INPUT "Longitud de biela (si no se conoce, introducir 0) ":L: IF L = 0 THEN
L = 2 * S
260 A=B^2*3.1416/4 'superficie de un pistón
270 D = A * S 'Cilindrada de un pistón
275 PRINT "Cilindrada ":D/1000: " c.c. por cilindro"
277 PRINT "Superficie de pistón ";A;" mm² por cilindro"
280 PRINT:PRINT TAB(10)"Para modificaciones. A"
285 PRINT: PRINT TAB(10) "para continuar. C "
287 A1$ = INKEY$ : IF A1$ = "" THEN 287
288 IF A1$ = "A" OR A1$ = "a" THEN 200
289 IF A1$ <> "C" AND A1$ <> "c" THEN 287
290 RETURN
300 REM *****
320 PB = 0: P = 0
350 INPUT "Altura de la lumbrera de admisión ":H
360 INPUT "Anchura de la lumbrera de admisión ":W
365 PRINT: PRINT "Si se desconocen los datos siguientes, introducir 0 ":PRINT
370 INPUT "Admisión se abre (grados antes del punto muerto superior) ";P
382 P =(P/360)*6.2832: IF P = 0 THEN PRINT "Distancia del borde inferior de la l
umbrera": INPUT "al borde superior del pistón en el p.m.s. ":PB
385 IF P=0 AND PO=0 AND PB=0 THEN PRINT:PRINT "Datos insuficientes: introduzca d
atos de reglaje de lumbrera o de altura": PRINT: GOTO 370
390 PRINT:PRINT: PRINT "Dimensiones del pistón:"
400 PRINT:INPUT "Diámetro del bulón ":Z
410 PRINT:PRINT "Distancia de la parte superior del bulón"
420 INPUT "al borde de la cabeza ":X
430 PRINT:PRINT "Distancia del borde de la cabeza al fondo de la falda"
440 REM
450 INPUT "del pistón, en la zona de la lumbrera ":Y
460 F=X+Z/2:G=Y-F: ' G=distancia de la falda por debajo del centro del bulón
470 GOSUB 2200 *****
524 PRINT:PRINT TAB(10)"Para modificaciones. A"
525 PRINT: PRINT TAB(10) "para continuar. C "
527 A1$ = INKEY$ : IF A1$ = "" THEN 527
528 IF A1$ = "A" OR A1$ = "a" THEN 300
529 IF A1$ <> "C" AND A1$ <> "c" THEN 527
530 RETURN
800 REM *****
810 M1 = 0
820 CLS
830 PRINT "TIEMPO SUPERFICIE CONTRA: REVOLUCIONES 1"
840 PRINT " ANCHURA DE LUMBRERA 2"
842 PRINT " BORDE DE LUMBRERA SUPERIOR 3"

```

```

844 PRINT "          BORDE DE LUMBRERA INFERIOR 4"
846 PRINT "          LONGITUD DE FALDA DEL PISTON 5"
850 PRINT "Especificaciones vigentes del motor .....6"
852 PRINT "Alterar dimensiones del motor .....7"
854 PRINT "Alterar dimensiones de pistón o lumbreras ....8"
860 PRINT "          Finalizar .....9": PRINT:PRINT
870 INPUT M1
880 IF M1 = 1 THEN GOSUB 1200
890 IF M1 = 2 THEN GOSUB 1300
900 IF M1 = 3 THEN GOSUB 1500
910 IF M1 = 4 THEN GOSUB 1700
920 IF M1 = 5 THEN GOSUB 1900
930 IF M1 = 6 THEN GOSUB 2100
940 IF M1 = 7 THEN CLS: PRINT "Si se modifica la longitud de la biela o la carre
ra, el programa supondrá que se ha elevado proporcionalmente el bloque del cilin
dro":T = TIMER
945 IF M1=7 AND TIMER < T + 15 THEN GOTO 945 ELSE P=0:PO=0: GOSUB 200:GOSUB 220
0
950 IF M1 = 8 THEN CLS: GOSUB 300
960 IF M1 = 9 THEN END
980 RETURN
1000 REM *****
1020 I=.1
1030 T=I/N
1040 TA=0
1050 FOR E = 0 TO 6.283 STEP I
1060 C=S/2*COS(E) + SQR(L^2 - (S/2*SIN(E))^2)
1070 C1 = S/2+L-C+Y
1080 H1 = PB-C1:IF H1>H THEN H1=H
1085 IF H1<0 THEN H1=0
1090 TA = TA+T*H1*W
1092 'PRINT T. H1. W
1100 NEXT
1110 RETURN
1200 REM *****
1205 REM
1210 CLS:INPUT "Revoluciones mínimas, r.p.m. ":N1: N1 = N1 * 3.1416/30
1220 INPUT "Revoluciones máximas, r.p.m. ":N2: N2=N2*3.1416/30
1230 INPUT "Incrementos ":N3:N3 = N3*3.1416/30
1235 PRINT "Régimen ". "Tiempo-superficie". "T-S específico"
1236 PRINT "(r.p.m.)". "segundos-mm²". "s-mm²/c.c."
1240 FOR N=N1 TO N2 STEP N3
1250 GOSUB 1000
1260 PRINT USING "RRRRR":N*30/3.1416::PRINT SPC(12):USING "RRRRRRRR.RR ":TA. T
A/D*1000000!::PRINT "x 10^-3"
1270 NEXT
1280 PRINT: PRINT: PRINT "Para continuar, pulsar cualquier tecla":
1285 A1$ = INKEY$ : IF A1$ = "" THEN 1285
1290 RETURN 800
1300 REM *****
1310 J1 = 0
1315 CLS
1320 J1 = W
1330 PRINT "Anchura de lumbrera: ":W: PRINT
1340 INPUT "Revoluciones (r.p.m.) ":N:N=N*3.1416/30
1350 INPUT "Anchura minima ":W1
1360 INPUT "Anchura máxima ":W2
1370 INPUT "Incrementos: ":W3: PRINT
1380 PRINT "Anchura, mm          seg-mm²          seg-mm²/c.c."

```

A

```

1390 FOR W= W1 TO W2 STEP W3
1400 GOSUB 1000
1410 PRINT W. TA. TA/D*1000000!;" x10^-3"
1420 NEXT
1430 W=J1: PRINT:PRINT " Anchura actual de la lumbrera: ":W:"mm ":INPUT "Introducir valor deseado ":W
1440 PRINT:PRINT:PRINT
1450 PRINT: PRINT: PRINT "Para continuar. pulsar cualquier tecla":
1455 A1$ = INKEY$ : IF A1$ = "" THEN 1455
1460 RETURN 800
1500 REM *****
1510 J2 = 0
1515 CLS
1520 J2=H
1530 PRINT "Altura de lumbrera: ":H
1540 PRINT "Modificación del tiempo-superficie al mover"
1550 PRINT "el borde superior de la lumbrera"
1560 PRINT: INPUT "Revoluciones (r.p.m.) ":N:N=N*3.1416/30
1570 INPUT "Altura mínima de lumbrera ":H1
1580 INPUT "Altura máxima de lumbrera ":H2
1590 INPUT "Incrementos ":H3
1600 PRINT "Altura. mm          seg-mm²          seg-mm²/c.c."
1610 FOR H= H1 TO H2 STEP H3
1620 GOSUB 1000
1630 PRINT H. TA. TA/D*1000000!;" x10^-3"
1640 NEXT
1650 H=J2: PRINT:PRINT " Altura actual de la lumbrera: ":H:"mm ":INPUT "Introducir valor deseado ":H
1655 PRINT: PRINT: PRINT "Para continuar. pulsar cualquier tecla":
1660 A1$ = INKEY$ : IF A1$ = "" THEN 1660
1670 RETURN 800
1700 REM *****
1710 J3 = 0:K1=0
1715 CLS
1720 J3=PB:K1=H
1730 PRINT "Altura de lumbrera: ":H
1735 PRINT "El borde inferior está a ":PB:" mm por debajo del p.m.s."
1740 PRINT "Modificación del tiempo-superficie al mover"
1750 PRINT "el borde inferior de la lumbrera"
1760 PRINT: INPUT "Revoluciones (r.p.m.) ":N:N=N*3.1416/30
1770 INPUT "Posición más alta de la lumbrera ":PB1
1780 INPUT "Posición más baja de la lumbrera ":PB2
1790 INPUT "Incrementos ":PB3
1800 PRINT "Grados a.p.m.s. Altura. mm  seg-mm²          seg-mm²/c.c."
1810 FOR PB = PB1 TO PB2 STEP PB3
1815 H=K1+(PB-J3)
1820 GOSUB 1000
1830 PRINT PB. H. TA. TA/D*1000000!;" x10^-3"
1840 NEXT
1850 H=K1: PB=J3:PRINT: PRINT" La posición actual del borde inferior es ":PB:"mm .": INPUT "Introducir valor deseado ":PB: H=H+(PB-J3)
1855 PO=0: P=0: GOSUB 2200
1860 PRINT: PRINT: PRINT "Para continuar. pulsar cualquier tecla":
1870 A1$ = INKEY$ : IF A1$ = "" THEN 1870
1880 RETURN 800
1900 REM *****
1910 J4=0
1920 J4 = Y: CLS
1930 PRINT "Longitud de falda del pistón: ":Y

```



```

1940 PRINT "Modificación del tiempo-superficie al variar la longitud de la falda
del pistón";
1950 PRINT: INPUT "Revoluciones (r.p.m.) ";N:N=N*3.1416/30
1960 INPUT "Longitud máxima de la falda ";Y1
1970 INPUT "Longitud mínima de la falda ";Y2
1980 INPUT "Incrementos ";Y3
1990 PRINT "Longitud, mm          seg-mm²          seg-mm²/c.c."
2000 FOR Y = Y1 TO Y2 STEP -Y3
2010 GOSUB 1000
2020 PRINT Y, TA, TA/D*1000000!; "x 10^-3"
2030 NEXT
2040 Y=J4:PRINT: PRINT" La longitud actual de la falda es ";Y;"mm.": INPUT "Intr
oducir valor deseado ";Y
2045 PO=0: P=0: GOSUB 2200
2050 PRINT: PRINT: PRINT "Para continuar, pulsar cualquier tecla":
2060 RETURN 800
2070 RETURN
2100 REM *****
2110 CLS
2130 PRINT "Calibre, mm.":B: PRINT "Carrera, mm.":S
2132 PRINT "Cilindrada, cc/cilindro:";D/1000: PRINT "Superficie de pistón, mm²/c
ilindro":A
2135 PRINT "Longitud de biela, mm: ";L
2140 PRINT "Diámetro del bulón, mm: ";Z: PRINT "Longitud de la falda del pistón.
mm.":Y
2142 PRINT "Altura del pistón sobre el bulón, mm :";X: PRINT "Lumbrera de admisi
ón se abre (grados antes del p.m.s.) :";P*360/6.2832
2150 PRINT "(mm. antes del p.m.s.) :";PO: PRINT "Duración, grados":2*P*360/6.243
2
2152 PRINT "Altura de lumbrera, mm.":H:PRINT "Anchura de lumbrera, mm.":W
2155 PRINT "Borde inferior de lumbrera, mm antes del p.m.s.":PB
2160 PRINT: PRINT: PRINT "Para continuar, pulsar cualquier tecla":
2165 A1$ = INKEY$: IF A1$ = "" THEN 2165
2170 RETURN 800
2200 REM *****
2210 IF PO>0 THEN 2240
2220 IF P>0 THEN C=S/2 * COS(P) + SQR(L^2 - (S/2*SIN(P))^2):PO = S/2+L-C
2230 IF P=0 THEN PO=PB-Y
2240 PRINT:PRINT:PRINT "Longitud de pistón: ";Y
2250 PRINT "La admisión se abre ";PO;" mm antes del p.m.s."
2260 IF PB>0 THEN 2282
2270 PB=PO+Y: IF P>0 THEN 2320
2282 IF P=0 THEN PRINT "Espere un momento, por favor" ELSE GOTO 2286
2283 Q = S/2*COS(P) + SQR(L^2-(S/2*SIN(P))^2)
2284 WHILE Q>S/2+L-PO: Q = S/2*COS(P) + SQR(L^2-(S/2*SIN(P))^2)
2285 P=P+.1:WEND: P=P-.2
2286 Q=S/2*COS(P)+SQR(L^2-(S/2*SIN(P))^2)
2290 WHILE Q>S/2+L-PO
2300 P=P+.0001:Q=S/2*COS(P)+SQR(L^2-(S/2*SIN(P))^2):WEND
2310 PRINT P*360/6.2832: " Grados antes del p.m.s."
2320 T=TIMER: WHILE TIMER < T + 9:WEND
2330 RETURN

```

Para los motores con válvula de disco, es importante el tiempo-superficie, y es bastante sencillo de calcular, como se explicará más abajo. Pero también es importante el reglaje del cierre de la lumbrera, que tiene un efecto importante sobre las

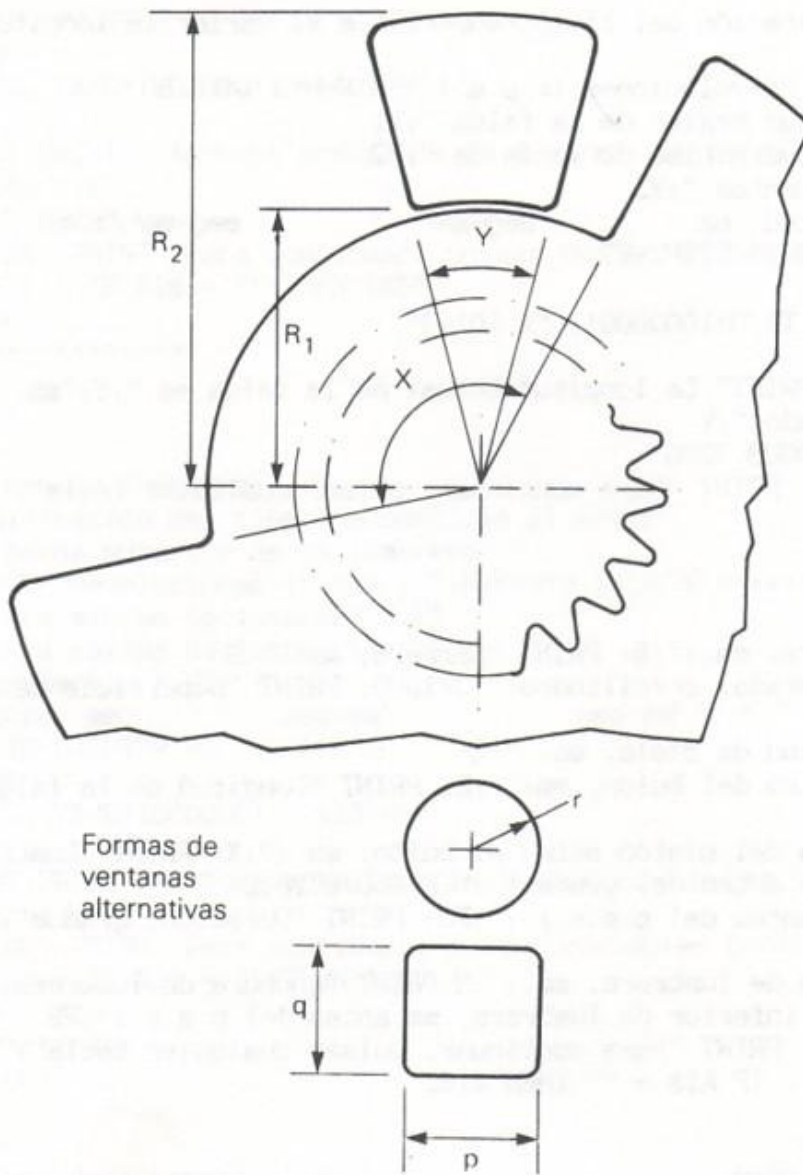


Fig. 83. Dimensiones que se utilizan en el cálculo de tiempos– superficies para válvulas de disco giratorio, y diferentes formas de ventanas.

características de la potencia. En términos generales, un cierre retrasado de la admisión supone potencia máxima a mayor régimen.

Para calcular el tiempo–superficie de la válvula de disco, suponga que se abre la lumbrera cuando el borde del disco descubre la mitad de la superficie de la lumbrera, y que se cierra cuando el borde tapa la mitad de dicha superficie. Esto supone tomar la media simple de la superficie de la lumbrera en las etapas de abertura y cierre; el resto del tiempo, la lumbrera está totalmente abierta.

$$\text{tiempo–superficie (válvula de disco)} = AX/b$$

donde $A = (Y/2)(R_2 - R_1)(R_2 + R_1)$ (forma de cuña)

ó $A = pq$ (lumbrera de forma rectangular)

ó $A = 3'14 r^2$ (lumbrera de forma circular)

donde X = ángulo de la parte abierta del disco, en radianes
 b = velocidad angular del cigüeñal, en radianes por segundo
 Y = abertura angular de la lumbrera, en radianes
 R1 = radio del borde interior de la lumbrera, milímetros
 R2 = radio del borde exterior de la lumbrera, milímetros
 p, q = lados de la lumbrera rectangular, milímetros
 r = radio de la lumbrera circular, milímetros

Nota: para convertir los grados en radianes, multiplicar por 0'01745

El programa de tiempos—superficies permite comparar un motor con los más avanzados del momento, de forma que se puede estar totalmente al día. Pero parece que no pasa el tiempo para algunas cifras, y hay personas que llevan 15 años o más utilizando con éxito las siguientes: (*)

admisión de 0,015 a 0,020 s—mm²/cm³
 carga de 0,008 a 0,010 s—mm²/cm³
 escape de 0,014 a 0,016 s—mm²/cm³

GP
 0'01875 a 0'025
 0'010 a 0'0125
 0'0175 a 0'020

Movimiento del pistón

Este programa utiliza gráficos animados para mostrar el movimiento de un cigüeñal y de un pistón y la sucesión sencilla de los procesos de admisión, carga o barrido de gases y escape. A pesar de que el motor se presenta de forma muy simplificada, sirve de guía visual útil para comprender mejor los ciclos que se van superponiendo.

```

10 REM
20 REM "DOST4.BAS"
30 REM Autor, John Robinson
35 REM Traducido y adaptado a Microsoft Basic por Alejandro Pareja Rodriguez.
38 REM Copyright Editorial Paraninfo, 1990
40 SCREEN 2
50 XXX= 600: YYY = 300
55 COL = 1 * 1 PARA DIBUJAR LINEA, 0 PARA BORRAR
60 FOR C=0 TO 6.3 STEP .02
70 DRW1 =101 * SIN(C) + 600:DRW2= 101*COS(C) + 200: GOSUB 10000
80 NEXT
90 XXX= 805:YYY = 850
100 DRW1= 805: DRW2=1000: GOSUB 10000
110 DRW1= 395: DRW2=1000: GOSUB 10000
120 DRW1= 395: DRW2=805 : GOSUB 10000
130 DRW1= 300: DRW2=805 : GOSUB 10000
140 DRW1= 300: DRW2=400 : GOSUB 10000
150 XXX = 395: YYY =750
160 DRW1= 395: DRW2=400 : GOSUB 10000
170 XXX = 805: YYY =850

```

(*) Para las motos de carreras GP, incremente los valores en un 25%.

A

```

180 DRW1=1000: DRW2=850 : GOSUB 10000
190 XXX=1000: YYY=700
200 DRW1= 805: DRW2=750 : GOSUB 10000
210 DRW1= 805: DRW2=700 : GOSUB 10000
220 DRW1=1000: DRW2=680 : GOSUB 10000
230 DRW1=1000: DRW2=600 : GOSUB 10000
240 DRW1= 805: DRW2=620 : GOSUB 10000
250 DRW1= 805: DRW2=0   : GOSUB 10000
260 DRW1= 300: DRW2=0   : GOSUB 10000
270 DRW1= 300: DRW2=400 : GOSUB 10000
280 FOR A=0 TO 100000! STEP .1
290 IF C < 800 THEN LOCATE 7,65 :PRINT "ESCAPE   ";
300 IF C > 800 THEN LOCATE 7,65 :PRINT "          ";
310 IF C > 770 THEN LOCATE 10,65:PRINT "ADMISION ";
320 IF C < 770 THEN LOCATE 10,65:PRINT "          ";
330 IF C < 750 THEN LOCATE 7,12 :PRINT "CARGA ";
340 IF C > 750 THEN LOCATE 7,12 :PRINT "          ";
350 XXX=600 : YYY=200
360 DRW1= 500: DRW2=200 : GOSUB 10000
370 DRW1= 700: DRW2=200 : GOSUB 10000
380 DRW1= 600: DRW2=200 : GOSUB 10000
390 DRW1= 600: DRW2=100 : GOSUB 10000
400 DRW1= 600: DRW2=300 : GOSUB 10000
410 X = SIN(A)
420 Y = COS(A)
430 XXX = X*100+600: YYY = Y * 100 + 200
440 C = SQR(ABS(800^2-10000*X^2))+100*X
450 DRW1= 600: DRW2=C-50: GOSUB 10000
460 XXX= 800: YYY =C+50
470 DRW1= 400: DRW2=C+50: GOSUB 10000
480 DRW1= 400: DRW2=C-150: GOSUB 10000
490 DRW1= 800: DRW2=C-150: GOSUB 10000
500 DRW1= 800: DRW2=C+ 50: GOSUB 10000
510 B = A-.1
520 P = SIN(B)
530 Q = COS(B)
540 XXX = P*100+600: YYY = Q * 100 + 200
550 D = SQR(ABS(800^2-10000*P^2))+100*Q
555 COL = 0 ' PARAMETRO PARA BORRAR LINEA
560 DRW1= 600: DRW2=D-50: GOSUB 10000
570 XXX= 800: YYY =D+50
580 DRW1= 400: DRW2=D+50: GOSUB 10000
590 DRW1= 400: DRW2=D-150: GOSUB 10000
600 DRW1= 800: DRW2=D-150: GOSUB 10000
605 DRW1= 800: DRW2=D+ 50: GOSUB 10000
610 XXX = 100*SIN(B-.1)+600: YYY = 100*COS(B-.1)+200
615 COL = 1 ' PARAMETRO PARA DIBUJAR LINEA NORMAL
620 DRW1 = P*100+600:DRW2 = Q*100+200: GOSUB 10000
630 NEXT
640 GOTO 170
650 END
10000 REM ***** RUTINA DE ADAPTACION COMANDOS GRAFICOS
10010 LINE(XXX/2.05 , 200-( YYY/5.146))-(DRW1/2.05, 200- (DRW2/5.146)),COL
10020 XXX=DRW1: YYY = DRW2
10999 RETURN

```

Índice alfabético

- Aceite lubricante, 148
- Aceite sintético, 148
- Admisión, 14
- Admisión interconectada, 59, 140
- Aguja, 141
- Armstrong, 71
- Avería de la cabeza de la biela, 39, 160
- Avería de la lubricación, 159
- Avería del cigüeñal, 39
- Avería del pie de la biela, 39, 160
- Avería por fatiga del metal, 161
- Avgas (combustible especial), 111

- BASIC, 164
- BSA Bantam, 32
- Barrido de gases, 15
- Bloque de láminas, 49
- Bucle de la mezcla, 132
- Bujía, 123
- Bujía, requisitos de, 121
- Bujías sucias, 122
- Bujías, tipos de, 122

- Cagiva, 80
- Caja de filtro, 44
- Calibre de aguja, 141
- Calibre de paso de aire, 132, 136, 139
- Calibre de ralentí, 140
- Calibre del cilindro 32, 72
- Calibre principal del carburador, 138
- Calor, 18
- Cámara de admisión, 53, 59
- Cámara de combustión, 113
- Cámara de expansión de gases, 93
- Carburador, 47, 132
- Carburador con toma de vacío, 137
- Carburador de corredera plana, 60, 144
- Carburador de paso liso, 47
- Cárter, 66
- Ciclo de barrido Schnürle, 15
- Cigüeñal, 161
- Cilindro, 75, 103, 111
- Cojinete de la cabeza de la biela, 67
- Comprensión en el cárter, 15
- Conducto de admisión, 58
- Corredera del carburador, 141
- Cuba del carburador, 142
- Culata, 79, 113
- Curva de combustible, 133

- Dell'Orto, 143
- Desarrollo, 153
- Desgaste de la camisa, 113
- Desgaste del cilindro, 112
- Detonación, 144, 158

- Eficiencia de retención, 13
- Eficiencia volumétrica, 13
- Eje de balance, 110, 162
- Elementos concentradores de esfuerzo, 161
- Embrague, 162
- Encendido, 119
- Equipo, 21
- Escape, 17

IA

- Escape, averías, 162
- Escape, dimensiones, 93
- Escape, duración, 79
- Estrechamiento primario, 131

- Filtro de aire, 45
- Flujo de gases, 12, 41, 93
- Flujo de masas, 41

- Galnikal, 112
- Generación de ondas de presión, 77
- Grado térmico de las bujías, 123
- Granallado, 161

- Herramientas, 21
- Honda, 30, 116

- Incrustaciones, 159

- Junta de culata, 118

- Kawasaki, 73, 80, 82, 98, 107, 108, 115
- Keyhin, 142

- Límite de resistencia, 161
- Lubricación, 147
- Lumbrera de carga, 68
- Lumbrera de escape, 77
- Lumbrera puenteada, 79
- Lumbrera variable, 84
- Lumbreras, 27
- Lumbreras, anchura de, 78
- Lumbreras auxiliares, 75
- Lumbreras, forma de las, 27
- Lumbreras, medición de las, 74, 78
- Lumbreras, tiempo—superficie, de

- Mahle, 113
- Marcas para reglaje de encendido, 128
- Medio gas, 139
- Mezcla de gasolina y aceite, 147
- Mikuni, 141
- Motor de carrera de pistón larga, 32
- Motor de carretera de pistón corta, 32
- Motor de cinco lumbreras, 16

- NGK, 122
- Nikasil, 112, 32

- Onda de presión, 42, 92, 131

- Par motor, 10, 35
- Paso de aire para ralentí, 140
- Pétalos de la válvula de láminas, 55
- Pistón, 67, 103
- Pistón, aceleración del, 33
- Pistón agarrotado (gripado), 38, 158
- Pistón, averías, del, 38, 111
- Pistón de sección escalonada, 113
- Pistón, bamboleo del, 104
- Pistón, esfuerzo del, 108
- Pistón, falda del, 60
- Pistón, huelgo del, 28, 103, 105
- Pistón, movimiento, del
- Pistón, recorrido, del
- Pistón, refrigeración del, 111
- Pistón, rozamiento del, 109
- Pistón, velocidad del, 33
- Potencia, 10, 33, 81
- Potencia, banda de, 75, 155, 10
- Potencia, pérdida de, 144
- Potencias al freno en carretera
- Precompresión, 13, 67
- Premezclado del aceite, 147
- Presión de los gases, 41, 92
- Programa de desarrollo, 35
- Prueba de control de ruidos, 98
- Pruebas, 154
- Pruebas en pista, 156

- Rebosamiento del carburador, 143
- Rectificado, 107, 112
- Rectificado del cilindro, 112
- Refrigeración por agua, 99
- Refrigeración por aire, 99
- Régimen punta, 65, 81, 97
- Reglaje de la válvula del disco, 64
- Reglaje del encendido, 121, 127
- Relación de compresión, 118
- Relación de volúmenes, 13, 67
- Resonancia, 44, 55
- Restricción, 34, 155

- Segmento Keystone, 110
- Segmentos, 78, 108
- Segmentos, avería de, 38, 159
- Segmentos, clavija de, 78, 110
- Segmentos, desgaste de, 78

- Segmentos Dykes, 108
- Segmentos, tipos de, 108
- Segmentos, vibración de, 108
- Séptima lumbrera, 14, 68
- Silenciador de admisión, 43
- Silenciamiento, 98
- Sistema de escape, 91
- Squish, 114
- Surtidor de altas, 137
- Suzuki, 63, 85, 107, 116, 160

- Tanque de compensación, 59
- Tiempo—superficie, 33, 43, 82
- Tiempo—superficie de admisión, 54
- Tiempo—superficie, cálculo aproximado,
- Tiempo—superficie de carga de gases, 73

- Toma de aire del carburador, 139
- Transferencia térmica, 103
- Trompeta de admisión, 144
- Tubo de emulsión, 155
- Turbulencia, 18

- Válvula de aguja, 141
- Válvula de disco, 62
- Válvula de láminas, 48
- Válvula de potencia, 84
- Volante magnético, 162

- Yamaha, 14, 49, 55, 71, 82, 84, 97, 106,
57, 154, 110
- Yamaha TZ, 154

OTRAS OBRAS AFINES PUBLICADAS POR



editorial Paraninfo sa

AUTO-RADIO. Instalación, mantenimiento y reparación. *Hebert*

CIRCUITOS ELECTRÓNICOS EN EL AUTOMÓVIL. *Jansen.*

COLECCIÓN: "MANTENIMIENTO Y REPARACIONES DEL... HÁGALO USTED MISMO":

Citröen AX - Citröen BX - Ford Escort - Ford Fiesta - Opel Corsa - Opel Kadett - Peugeot 205 - Peugeot 209 - Renault R.5 - Renault 9-11 - Renault Supercinco - Renault - Seat Ibiza - Seat Málaga (de venta independiente).

LA ELECTRICIDAD DEL AUTÓMOVIL. *J.M. Alonso.*

ELECTRICIDAD DE AUTOMÓVILES. Problemas resueltos. *Cascales y Pelegrín.*

ELECTRÓNICA APLICADA AL AUTOMÓVIL. *Himlopen.*

GUÍA FÁCIL DE MANTENIMIENTO Y REPARACIONES DEL AUTOMÓVIL. *J.M. Alonso.*

MECÁNICA DEL AUTOMÓVIL. *J.M. Alonso.*

MECÁNICA DE AUTOMÓVILES. Problemas resueltos. *Cascales y Pelegrín*

MECÁNICO DE AUTOMÓVILES. *Aparicio Izquierdo.*

MOTOCICLETAS. PUESTA A PUNTO DE MOTORES DE 4 TIEMPOS. *J. Robinson.*

MOTORES. CHASIS. *J. Robinson.*

MOTORES DIESEL Y SISTEMAS DE INYECCIÓN. *Asmus.*

NUEVAS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL AUTOMÓVIL. *J.M. Alonso.*

PINTURA DE CARROCERÍAS DE AUTOMÓVILES. *Bovard.*

TÉCNICAS DEL AUTOMÓVIL. Tomo I. Equipo eléctrico. *J.M. Alonso.*

TÉCNICAS DEL AUTOMÓVIL. Tomo II. Motores. *J.M. Alonso.*

TÉCNICAS DEL AUTOMÓVIL. Tomo III. Chasis. *J.M. Alonso.*