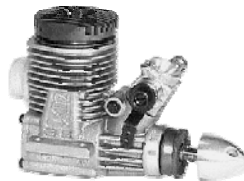
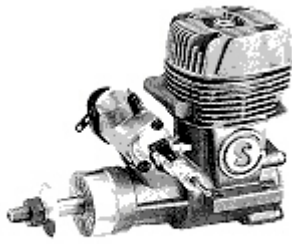


CÓMO MEJORAR LOS MOTORES DE DOS TIEMPOS PARA MODELISMO



CARLOS MARTÍN PASCUAL

Cómo Mejorar Los Motores De Dos Tiempos Para Modelismo

Carlos Martín Pascual

Este libro no podrá ser reproducido, ni total ni parcialmente, sin el previo permiso escrito del autor. Todos los derechos reservados.

© Carlos Martín Pascual, 2006

Primera edición: Agosto de 2006
Printed in Spain – Impreso en España

Dedico este libro a mi querida esposa Conchi y mis hijos Elena y Pedro Carlos, por todo el tiempo que estuve apartado de ellos para poder escribirlo.

Comencé a escribir este libro en febrero de 1995, con la ilusión de tratar un tema que por aquel entonces, y aún hoy en día, no ha tenido suficiente repercusión en las publicaciones escritas y menos incluso en lengua española. Como verá me lo he tomado con mucha calma, demasiada, este proyecto ha estado aparcado durante bastantes años hasta que ahora, 11 años después de su comienzo, he decidido por fin publicarlo en Internet.

Hace unos ocho años que prácticamente no he añadido nada nuevo, básicamente he ido actualizando el formato del documento para adecuarlo a las nuevas versiones del software de edición de textos con el que lo he escrito.

Por lo dicho arriba, algunas opiniones o informaciones vertidas en este libro pueden estar desactualizadas, le recomiendo que sea crítico con su lectura, no me considero un experto en mecánica y el libro puede contener errores o inexactitudes, si las encuentra le agradeceré me las comunique por correo electrónico a webmaster@clubelmuro.com, al igual que cualquier sugerencia de mejora.

Por otra parte, no considero esta obra acabada, por ejemplo sé que mejoraría mucho añadiendo más información gráfica en forma de fotografías de motores y sus piezas pero no disponía de cámara fotográfica digital cuando lo escribí, sin embargo algún día tenía que publicarla para que pueda ser de utilidad a otras personas, la verdadera razón por la que la escribí.

INTRODUCCIÓN

La mejora de los motores – popularmente conocida como “trucaje” – casi puede considerarse un arte, esto es debido al gran número de variables que interaccionan durante el funcionamiento del motor, a la dificultad de medir con precisión los resultados directos de una modificación, la poca documentación que puede encontrarse sobre la materia y las pocas reglas que pueden ser consideradas de aplicación a todos los casos.

Muchas veces las mediciones de los resultados del trucaje se hacen de forma indirecta, si dichas mediciones ya son difíciles en motores de tamaño “normal”, léase motores de automoción, etc., en motores de tamaño tan reducido como los empleados en modelismo toda medición queda prácticamente reducida a las dimensiones de las piezas y medición de la potencia, par y consumo de combustible.

La cantidad de variables que entran en juego hace que haya que ser muy cuidadoso a la hora de tomar una decisión, modificaciones que persiguen un fin pueden perjudicar a otro, asimismo el éxito de una modificación en un motor no garantiza que se pueda repetir el logro en otro motor distinto, ya que las citadas variables interaccionan entre sí. Este libro está enfocado a las modificaciones con alta probabilidad de éxito en cualquier motor.

Por lo general estas modificaciones del motor pretenden conseguir un aumento de la potencia, en ciertos casos se busca una reducción del consumo de combustible y en otros ambas cosas a la vez. Este libro se centrará en las modificaciones que contribuyen al aumento de potencia, aunque algunas de ellas también colaboran en la reducción del consumo de combustible, y se hablará de algo más..., algo que no suele encontrarse en otros libros de la materia: del combustible a utilizar, correcta realización del rodaje, reducción del nivel sonoro, aprovechamiento de la potencia y otros temas de interés, todos ellos conocimientos imprescindibles sin los cuales la simple modificación mecánica del motor casi carece de valor.

Aunque este libro está enfocado a los motores de dos tiempos, parte de las recomendaciones pueden aplicarse igualmente a motores de cuatro tiempos. Se ha puesto también más énfasis en la utilización de estos motores en modelos de aviones, no por otra razón que por ser la rama de modelismo que practica el autor, encontrará secciones específicas para esta rama de modelismo pero descubrirá también que los fundamentos de esas secciones son, en parte o en todo, aplicables a otros tipos de modelismo como coches, barcos y helicópteros.

La finalidad del motor es producir un trabajo, cuando se adquiere un motor se busca una solución que entregue la potencia necesaria para mover adecuadamente el modelo al que va destinado, y ello unido a un peso apropiado. La relación potencia / peso, y en algunos casos el tamaño o el consumo de combustible, es la clave de la selección.

Dado que los fabricantes de motores se guían por los imperativos del mercado, la competencia con otros fabricantes les exige una continua rebaja o mantenimiento de precios, esto significa que los perfeccionamientos que el fabricante aplica a sus motores están limitados por el precio final, esto es así incluso en los motores de alta competición, aunque en menor medida que en los motores de gran público, por supuesto. De lo dicho se deduce que siempre queda un margen para la mejora de cualquier motor.

El rendimiento de los motores de alta potencia puede variar considerablemente de un ejemplar al siguiente (hasta un 10 ó 15% en los modernos motores fabricados con maquinaria CNC), incluso para la misma producción y tipo. Esta afirmación no es nueva para los que son habituales de la competición, pero posiblemente sorprenderá a algunos otros.

A pesar de esta variabilidad, por los motores de alta potencia se pagan precios muy superiores, hasta 4 y 6 veces, a los de los motores normales. Estos altos precios son consecuencia de los años invertidos en investigación y desarrollo para su diseño y de que el fabricante sabe que puede pedir un precio mucho mayor porque dispone de un producto único, sin embargo, en el momento en que se produzca un cambio tecnológico o de las normas de competición, que haga perder su posición de liderazgo a ese motor, podrá observar cómo baja de precio considerablemente (de un 20 a un 30%).

Se puede observar variabilidad en el rendimiento de dos motores iguales, la razón estriba en que los diversos ajustes, por ejemplo entre pistón y camisa, varían de uno a otro debido a las tolerancias de fabricación.

Hay quien opina que si un motor de alta competición tiene un precio tan elevado debe ser porque tiene un diseño y acabados imposibles de mejorar. Nada más lejos de la realidad, evidentemente un motor de alta competición es superior en su mecánica y terminación a los motores de serie para el gran público pero, como se decía más arriba, principalmente se paga el esfuerzo de investigación y desarrollo que el fabricante le ha dedicado y una cantidad extra añadida por el hecho de saberse líder de mercado y con poca competencia.

En cualquier caso, un motor de alta competición no deja de ser un motor de fabricación en serie, al que por supuesto se le aplican estándares más altos de calidad de materiales, diseño y rendimiento que a los motores normales. La excepción son los motores preparados por algunos talleres especializados, se trata de motores de alta competición a los que se realizan una serie de modificaciones, muchas de ellas contenidas en este libro, que los convierten en motores únicos y fuera de serie por su rendimiento, pero en este caso hablamos de cantidades pequeñas, normalmente decenas o cientos de motores y precios astronómicos, en este caso sí es cierto que no merece la pena intentar perfeccionar el motor puesto que dicho trabajo ya ha sido realizado por profesionales.

Pero ¿por qué va a modificar sus motores para conseguir más potencia cuando puede simplemente adquirirlos de mayor cilindrada por un precio ligeramente mayor?, esta pregunta puede recibir varias respuestas:

1. Alargará la vida del motor al perfeccionar su acabado en los puntos críticos.
2. Mejorará la relación potencia / peso, comprando un motor de mayor cilindrada conseguiría la misma potencia pero con un peso superior, lo que incidirá negativamente rendimiento del modelo, ya sea coche, barco, avión, etc.
3. No siempre es posible aumentar la cilindrada, como en muchas competiciones donde la normativa estipula una limitación en el cubicaje del motor, o no hay espacio físico en el modelo para albergar un motor de mayor tamaño.
4. Tendrá la satisfacción y el orgullo de saber que dispone de un motor único y que ello ha sido posible gracias a su esfuerzo y conocimientos.

En general todo puede ser mejorado, este libro intenta dar algunos consejos sobre cómo mejorar la vida y rendimiento de su motor. Observará que buena parte del mismo está dedicado a cómo mejorar los ajustes básicos, esto se puede aplicar con éxito a todos los motores, otras secciones se centran en la mejora de la mecánica y evidentemente tienen más aplicación en motores de gran público que en motores de alta competición donde las soluciones mecánicas son de mayor nivel.

Es interesante destacar que la gran mayoría de los trabajos descritos en este libro pueden realizarse con herramientas sencillas, como el taladro eléctrico miniatura, al alcance de cualquier aficionado, se ha procurado huir de operaciones de mecanizado que requieran maquinaria especializada, como torno o fresadora. Por supuesto que esto limita las operaciones que es posible realizar, aunque no necesariamente su calidad. Al centrar este libro en las tareas eminentemente manuales, no se hablará de conceptos de diseño de motores – se entiende que se parte de un motor ya terminado – , ni de la fabricación de sus piezas en materiales de mejor calidad, ni se tocará uno de los puntos más críticos del motor, el ángulo de las lumbreras de admisión.

Por lo que se acaba de comentar, se entiende que la habilidad manual del lector es punto clave para lograr el éxito en la mejora de un motor. Si usted no tiene experiencia previa suficiente, es recomendable que practique primero con un motor barato antes de proceder con uno de alta competición o alto precio, esto es algo lógico que queda a su buen juicio.

Tan sólo hay cuatro formas de incrementar la potencia de un motor, se describen por orden de importancia:

1. Mejora de la respiración, favorece que entre a la cámara de combustión mayor cantidad de mezcla aire / combustible, evidentemente, si en cada explosión se quema más mezcla aire / combustible, se aumentará la potencia.
2. Utilización de combustibles más potentes.
3. Mejora del quemado de los gases en la cámara de combustión.
4. Reducción de las pérdidas de potencia debidas a la fricción de las piezas móviles del motor.

Tenga en cuenta que, aunque este libro no está enfocado en particular a ninguna especialidad de modelismo, el autor practica principalmente el Aeromodelismo y concretamente la Acrobacia R/C, en consecuencia encontrará que aparecen a veces referencias explícitas a temas de Aeromodelismo, su intención es ayudar a ver más clara la aplicación práctica de las explicaciones del libro, una lectura inteligente en estos casos permitirá extrapolarlos a situaciones similares en otras especialidades de modelismo.

Índice

CONOCIMIENTOS BÁSICOS PREVIOS	4
Partes de que consta un motor de dos tiempos “Glow”	4
CUÁNDO SE DEBE PREPARAR UN MOTOR	6
HERRAMIENTAS Y OTROS ELEMENTOS NECESARIOS	6
Herramientas imprescindibles	7
Herramientas adicionales	7
Otros elementos necesarios	8
Cómo construir un medidor de tiempos para motores.....	8
Cómo utilizar el medidor de tiempos para motores.....	9
Cómo construir un bastoncillo lijador	9
Cómo utilizar el bastoncillo lijador	9
ANTES DE EMPEZAR.....	10
MEJORA DE LOS AJUSTES BÁSICOS	10
Desmontado del motor	10
Bujía.....	10
Tapa del cárter.....	11
Culata	11
Camisa.....	11
Biela, pistón, bulón y cigüeñal	11
Cojinetes a bolas	12
Limpieza	13
Inspección y preparación.....	13
Cigüeñal	13
Biela	15
Camisa y pistón.....	15
1.- Camisa.....	15
2.- Pistón.....	16
Segmento del pistón	16
Bulón.....	17
Camisa y cárter.....	17
Culata	18
Tapa del cárter.....	18
Montaje	18
MEJORA DE LA MECÁNICA	18
Relación de compresión	19
Cámara de combustión.....	19
Mejora de la respiración.....	20
Pistón	21
Ajuste del bulón	21
Biselado de las lumbreras.....	21
Biselado defectuoso:	21
Biselado correcto:	22
Montaje y funcionamiento	22
CÓMO MEDIR LOS RESULTADOS DE LAS MEJORAS QUE REALICE A SU MOTOR	23
APROVECHAMIENTO DE LA POTENCIA DEL MOTOR.....	24
<i>Realización del rodaje</i>	24
Rodaje de motores a pistón con segmento o lapeado	25
Procedimiento de rodaje.....	25
Régimen de 4 tiempos en un motor de 2 tiempos	25
Tipo de combustible y lubricación durante el rodaje	26
Rodaje de motores ABC.....	26
Rodaje en banco	26
Procedimiento de rodaje.....	27
Combustible para rodaje y vuelo.....	27
Motores ABC con ajuste camisa / pistón muy apretado.....	28
<i>Curva de potencia</i>	28
<i>Cómo obtener la curva de potencia de su motor</i>	28
Cómo obtener su juego de hélices calibradas.....	29
Cómo utilizar sus hélices calibradas	30
<i>Selección de la hélice</i>	30
<i>Restricciones de sonido</i>	31
Ruido generado por la hélice.....	32
Ruido generado por el escape del motor	35

Tipos de silenciadores	36
Silenciadores tubulares, cómo diseñarlos.....	36
Cómo mejorar un silenciador estándar	38
Mayor reducción del nivel de ruido	39
Técnicas de construcción de silenciadores	39
Cómo evitar las pérdidas de potencia debidas al silenciador	40
Ruido generado por el venturi.....	40
Resonancia de la estructura del Aeromodelo	40
Ruido producido por el sople contra superficies	41
El resonador	41
Cómo diseñar un resonador.....	41
<i>Selección de la bujía de incandescencia</i>	42
Partes de que consta la bujía	42
Proceso de selección	42
<i>Ajuste de la Carburación</i>	43
Humedad, un aditivo natural que incrementa el octanaje.....	44
Reglaje de la aguja de alta.....	44
Reglaje de la aguja de baja.....	45
MANTENIMIENTO DEL MOTOR	45
Examen de la cámara de combustión	45
Examen del equipo motor	46
Examen del cigüeñal	47
Rodamientos del cigüeñal	47
Examen de la biela	47
Examen del cárter.....	48
Examen del bulón.....	48
Estado de las juntas	48
Bujía de incandescencia o "glow".....	48
Razones por las que una bujía envejece:	49
REFRIGERACIÓN DE MOTORES	50
Temperaturas críticas de funcionamiento en motores refrigerados por aire.....	50
Transmisión del calor.....	51
COMBUSTIBLE	51
Proceso de combustión.....	52
Límites explosivos	52
Punto de inflamación	52
Temperatura de ignición espontánea.....	53
Calor de vaporización	53
Calor de combustión	53
Grado de octano	54
Componentes de la mezcla.....	55
Combustible	55
Lubricante	55
Aditivos.....	55
Lubricantes	55
Aceites vegetales.....	56
Aceites minerales y sintéticos	56
Efectos de una mala lubricación	56
Lubricación y aceites	56
Aditivos para combustible diesel	58
Combustible diésel para rodaje y competición.....	58
Combustible glow	58
Aditivos para combustible glow.....	59
Mezclas de formulación especial para combustible glow	60
Fórmulas usuales de mezclas según el americano George M. Aldrich	60
Fórmula de Harry Roe "Top Hammer"	61
Fuentes de obtención de productos	61
ANEXO - A, Sistema de filtrado automático de combustible	62
ANEXO - B, Formato para toma de datos de posibles defectos	64
ANEXO - C, Conversión de unidades	65
Bibliografía	68
GLOSARIO DE TÉRMINOS	69

CONOCIMIENTOS BÁSICOS PREVIOS

En este capítulo se intenta introducir al lector en el conocimiento de las piezas básicas que componen un motor de modelismo, al objeto de mejorar la comprensión de la lectura de los siguientes capítulos del libro.

Partes de que consta un motor de dos tiempos “Glow”

A lo largo del texto de este libro se hará referencia a los nombres de las distintas piezas del motor, para quienes no conocen la terminología utilizada en el mundillo de la mecánica de motores, se incluye a continuación el despiece de un motor típico con la descripción de cada una de las piezas.

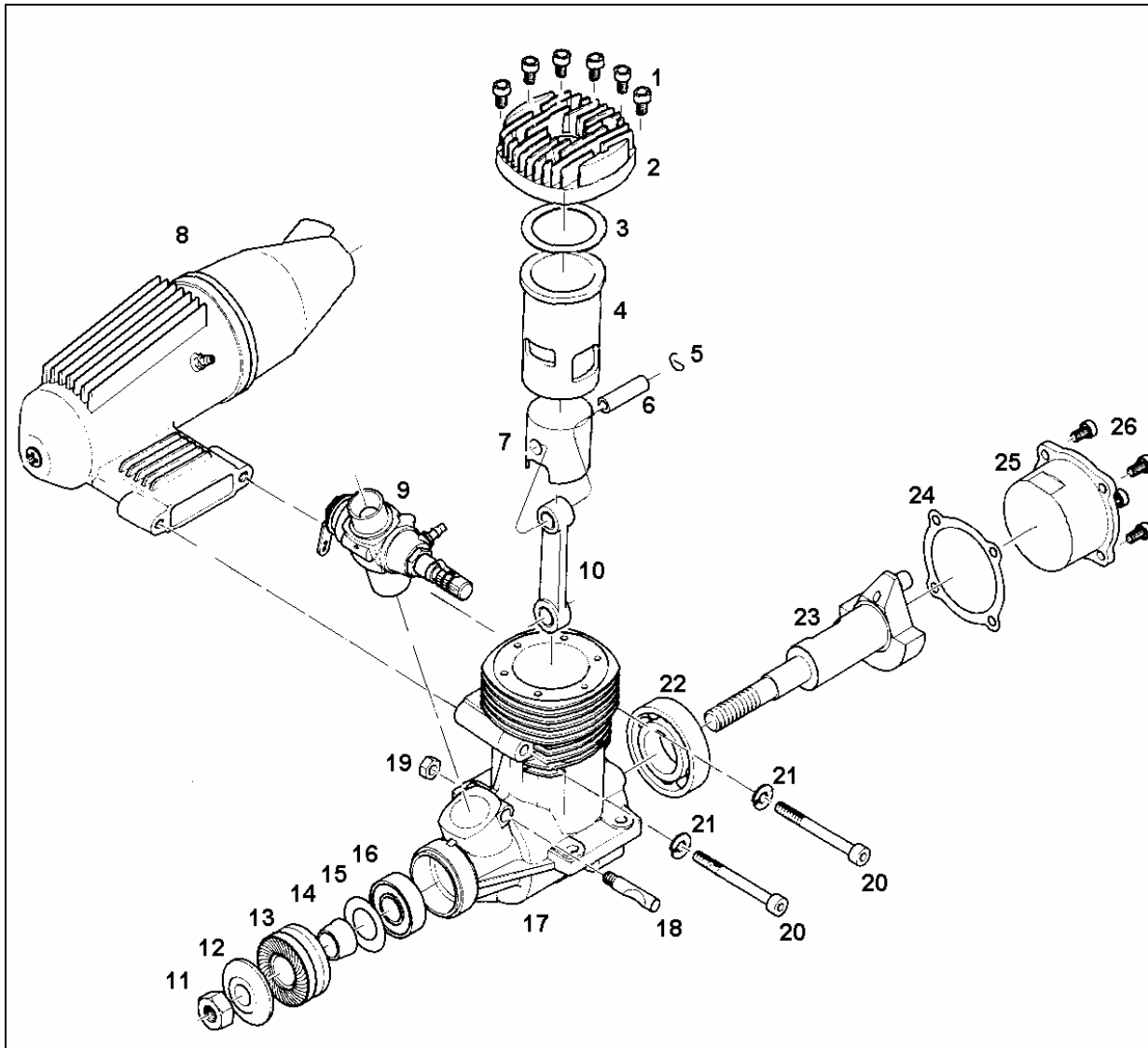


Figura 1

Tabla 1

Nº de pieza	Descripción	Nº de pieza	Descripción
1	Tornillos de fijación de la culata.	14	Pinza de fijación del plato de la hélice.
2	Culata.	15	Arandela separadora.
3	Junta de culata.	16	Rodamiento delantero del cigüeñal.
4	Camisa.	17	Cárter.
5	Cir-clip, algunos motores llevan en su lugar un tapón de teflón.	18	Chaveta de fijación del carburador.
6	Bulón.	19	Tuerca de la chaveta del carburador.
7	Pistón (la superficie que roza con la camisa se llama falda).	20	Tornillos de sujeción del silenciador.
8	Silenciador.	21	Arandelas de presión.
9	Carburador.	22	Rodamiento trasero del cigüeñal.

Nº de pieza	Descripción	Nº de pieza	Descripción
10	Biela.	23	Cigüeñal.
11	Tuerca de fijación de la hélice.	24	Junta de la tapa del cárter.
12	Arandela de fijación de la hélice.	25	Tapa del cárter.
13	Plato de la hélice.	26	Tornillos de la tapa del cárter.

A continuación puede verse un despiece del carburador más comúnmente empleado, del tipo denominado “de doble aguja”, con la correspondiente lista de descripciones de cada una de las piezas que lo integran.

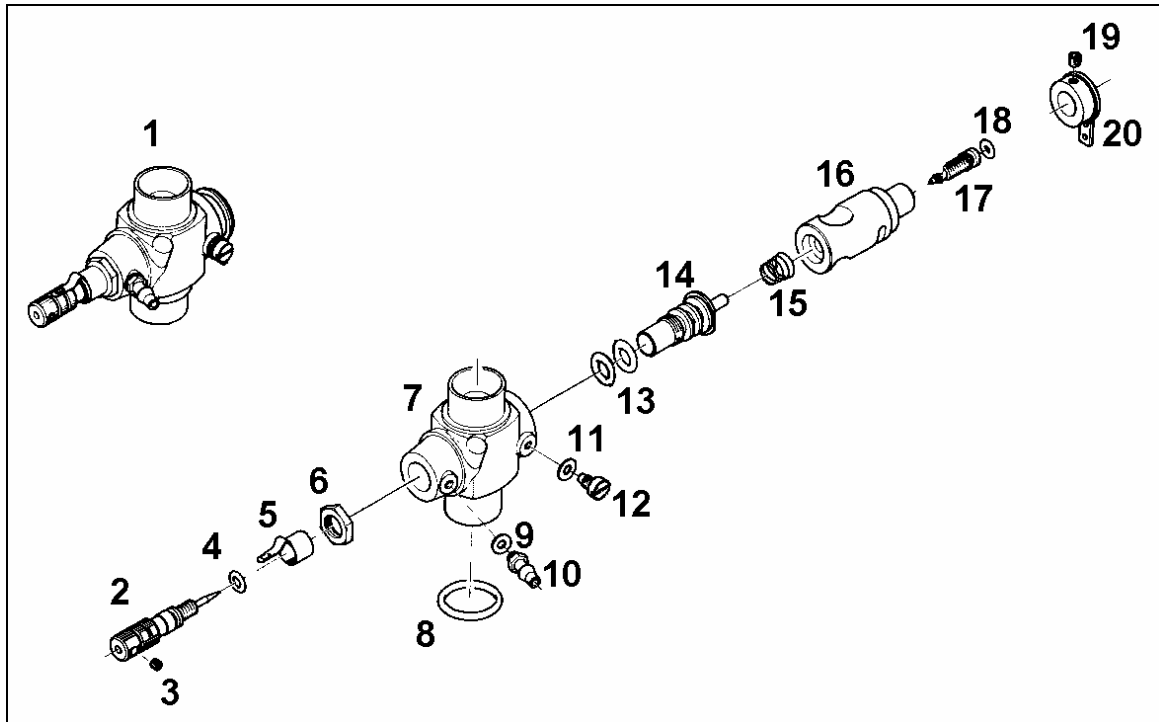


Figura 2

Tabla 2

Nº de pieza	Descripción	Nº de pieza	Descripción
1	Carburador R/C montado.	1	Junta de cartón.
2	Aguja de alta (regulación de mezcla).	2	Tornillo de fijación del barrilete.
3	Tornillo para fijación del prolongador de la aguja.	3	Juntas tóricas del chiclé.
4	Junta tórica para sellado de la aguja de alta.	4	Chiclé.
5	Resorte de bloqueo de la aguja.	5	Muelle del barrilete.
6	Tuerca de fijación del chiclé.	6	Barrilete.
7	Cuerpo del carburador.	7	Aguja de baja (regulación de mezcla).
8	Junta tórica para sellado de su alojamiento en el cárter.	8	Junta tórica para sellado de la aguja de baja.
9	Junta de cartón.	9	Tornillo de fijación de la palanca de gas.
10	Conducto de entrada de combustible.	10	Palanca de gas.

Obviamente, no todos los motores tienen las piezas que acaba de ver y/o no tienen el mismo diseño, existen también motores sin cojinetes a bolas, en su lugar tienen un cojinete de bronce, así como carburadores de una sola aguja de regulación de mezcla (o incluso cuatro), sistemas de bombeo de combustible, etc.

CUÁNDO SE DEBE PREPARAR UN MOTOR

Indudablemente, el mejor momento para preparar un motor es mientras está completamente nuevo y no ha sido rodado. ¡No es raro encontrar restos de suciedad y metal en su interior, los cuales no pueden hacerle ningún bien!

Una vez que se ha arrancado el motor, aunque sólo haya sido por unos minutos, puede haber sufrido daños como consecuencia de alguna imperfección en su fabricación. Los puntos más sensibles son la zona cercana a la arista superior del pistón, para pistones sin segmento, el mismo segmento en los pistones que lo lleven, posibles rebabas en las lumbreras que arañarían el pistón, rebabas en la ventana del cigüeñal que pueden arañar el cárter, mala terminación de la superficie de la muñequilla del cigüeñal y del bulón; si se ha dado cuenta, se está hablando de las aristas vivas y puntos de mayor fricción del motor. Todos estos puntos, que en muchos casos no tienen la terminación más adecuada, se suavizan durante el rodaje pero a costa de un gran desgaste de las piezas asociadas.

Es altamente recomendable retocar estos puntos antes del rodaje, no se conseguirá con ello un aumento de potencia muy significativo, pero aumentará la vida del motor gracias a la eliminación de esos puntos de gran desgaste inicial y se sentarán las bases para conseguir los mejores resultados en las modificaciones posteriores. Básicamente, en esta fase no se hace otra cosa sino mejorar el acabado de la mecanización del motor.

Otro argumento que apoya la recomendación de realizar todas las modificaciones antes del rodaje es que un motor que ya ha sido rodado e incluso utilizado por algún tiempo puede mostrar signos de adherencia entre algunas de sus piezas como culata-camisa y camisa-cárter, esto se debe al depósito de gomas procedente del aceite lubricante (sólo si se usa ricino), lo que puede hacernos pensar en un problema mecánico que en la realidad no existe, y complicar, por tanto, el proceso.

Si se examina la falda del pistón (o segmento si es el caso) de un motor completamente nuevo, usando el microscopio de mano, y luego se hace girar a mano una veintena de veces y se vuelve a examinar, se descubrirán profundos arañazos, principalmente producidos por el roce con las aristas vivas de las lumbreras, esta es otra razón por la que se recomienda realizar el truceaje antes que el rodaje, evitará el desgaste innecesario de elementos esenciales para la vida del motor.

A pesar de lo dicho, para las modificaciones que no afecten a las zonas vivas citadas más arriba, hay una ventaja en su realización no antes sino después del rodaje, y es que se pueden medir las revoluciones del motor antes y después de los cambios para un mismo juego de hélices, lo que gracias a la aplicación de una sencilla fórmula permitirá conocer cual ha sido el incremento de potencia que ha conseguido (véanse Fórmula 2 y Fórmula 3 en la página 23). Hacerlo así puede ser útil para quien dude de la eficacia de la preparación que se describe en este libro, pero en cualquier caso siempre será más eficaz hacer las modificaciones en el motor antes de realizar su rodaje.

En cualquier caso, si todavía alguien decide realizar el rodaje antes que modificación alguna, hay un paso previo que no debe dejarse de lado y es la limpieza interna del motor tal como se describe en la página 13.

HERRAMIENTAS Y OTROS ELEMENTOS NECESARIOS

Para la realización de las tareas que se explican en este libro, se recomiendan a continuación una serie de herramientas.

Esta lista responde a las preferencias del autor y usted mismo, conforme vaya practicando, la irá adaptando a su técnica de trabajo.

Hágase al menos con las herramientas listadas como imprescindibles y, según el alcance de su trabajo, seleccione las que necesite de la lista de herramientas adicionales. Revise también la lista "Otros elementos necesarios" y adquiera los que prevea va a necesitar.

No compre herramientas de baja o dudosa calidad, piense que una buena herramienta bien cuidada puede durarle de por vida, por lo tanto no es rentable ahorrar dinero en ellas si no se tiene garantía de buena calidad, tenga también en cuenta que es más difícil hacer un buen trabajo con herramientas de baja calidad. A veces la calidad de las herramientas que se utilizan marca la frontera entre un motor mejorado y un motor destrozado.

Herramientas imprescindibles

- 1.- Juego de destornilladores planos, de venta en ferreterías.
- 2.- Juego de destornilladores philips, de venta en ferreterías.
- 3.- Juego de llaves allen, de 1 a 5 mm, de venta en ferreterías.
- 4.- Juego de llaves planas, de 5 a 13 mm, de venta en ferreterías.
- 5.- Juego de alicates planos y de puntas finas, de venta en ferreterías.
- 6.- Juego de pinzas, punta fina, punta fuerte y dentada, punta curva, de venta en ferreterías.
- 7.- Juego de limas suizas o de relojero, de venta en ferreterías y tiendas de suministros de relojería.
- 8.- Martillo mediano, cabeza acero y nylon, de venta en ferreterías.
- 9.- Mini taladro eléctrico, de al menos 80W de potencia, con variador electrónico de velocidad, el mandril debe tener capacidad de sujeción entre 0.5 y 3 mm, de venta en ferreterías y tiendas de modelismo.
- 10.- Juego de muelas de carburo de silicio, de 3 a 10 mm. Ø, puntas esférica, cilíndrica, cónica y forma de bala, de venta en ferreterías (accesorios para mini taladros) y tiendas de modelismo.
- 11.- Discos de pulir, de fieltro, así como pulimento en barra para acero y aluminio, de venta en ferreterías (accesorios para mini taladros) y tiendas de modelismo.
- 12.- Extractor de exteriores (permite extraer el plato de la hélice sin dañar el motor), de venta en ferreterías y buenas tiendas de Aeromodelismo.
- 13.- Calibre o Pié de Rey, precisión mínima de 0.05 mm, preferiblemente de acero inoxidable, mejor si es digital (en este caso su precisión será de 0.01 mm.), de venta en ferreterías.
- 14.- Microscopio de mano con iluminación incorporada, es ideal que sea de 30 aumentos, permitirá ver el acabado superficial de las piezas del motor antes y después de las modificaciones, imprescindible para asegurar que se hace un buen trabajo. De venta en tiendas de óptica.
- 15.- Medidor de tiempos para motores, puede construirlo usted mismo, véanse las instrucciones en página 8.
- 16.- Bastoncillos lijadores, véanse instrucciones de construcción en página 9.

Herramientas adicionales

- 1.- Juego de fresas de acero rápido, carburo de tungsteno y diamante, con puntas esférica, cilíndrica, cónica y forma de bala, de venta en ferreterías (accesorios para mini taladros) y tiendas de modelismo.
- 2.- Juego de brocas de acero rápido (mejor si son de nitruro de titanio) de 0.3 a 5 mm Ø, de venta en ferreterías.
- 3.- Marcador o trazador con punta de carburo de tungsteno, de venta en ferreterías.
- 4.- Torno y fresadora miniatura, para el que desee fabricarse sus propias piezas, de venta en ferreterías, suministros industriales y buenas tiendas de modelismo.
- 5.- Herramientas de corte y fresas para el torno y fresadora miniatura, de venta en ferreterías y tiendas de suministros industriales.
- 6.- Granete pequeño, de venta en ferreterías.
- 7.- Tornillo micrométrico, más preciso que el Calibre pero con menos posibilidades de medida, de venta en ferreterías.
- 8.- Instrumento para medir la compresión del motor, se atornilla en el alojamiento de la bujía, de venta en tiendas de Aeromodelismo.
- 9.- Linterna lápiz, por su reducido tamaño es útil para observar el interior del motor iluminando a través de lumbreras, etc., de venta en ferreterías.
- 10.- Equipo de soldadura autógena, o en su defecto una pistola de soldar a butano con potencia de unos 1.8 KW, equipada con la punta que ofrezca la llama más concentrada posible, la pistola se encuentra normalmente de marca Camping-Gas. Será imprescindible para la fabricación de codos de escape, resonadores y silenciadores, se vende en ferreterías.
- 11.- Tijeras de cortar chapa, serán de utilidad para la construcción de silenciadores y resonadores, de venta en ferreterías.
- 12.- Yunque de acero, se emplea como herramienta auxiliar para la construcción de silenciadores y resonadores, de venta en ferreterías.
- 13.- Corta-tubos, ayudará en la construcción de silenciadores y resonadores, de venta en ferreterías.
- 14.- Juego de llaves de tubo, de 5 a 13 mm, de venta en ferreterías.
- 15.- Juego de limas para metales, grados basta y entrefina, plana, redonda y de media caña, serán útiles para la construcción de silenciadores y resonadores, de venta en ferreterías.
- 16.- Cepillo redondo de cerdas de acero, será útil para la terminación de silenciadores y resonadores, de venta en ferreterías.
- 17.- Equipo de limpieza por ultrasonidos, dará un buen servicio para la limpieza de las piezas del motor, de venta en buenas ferreterías y tiendas de suministros industriales.
- 18.- Medidor de nivel sonoro (sonómetro), con rango de 40 a 120 dBA, de venta en tiendas de componentes electrónicos.
- 19.- Termopar para la medición de la temperatura de funcionamiento del motor, de venta en tiendas de componentes electrónicos y en buenas tiendas de modelismo.

Otros elementos necesarios

- 1.- Pulimento para la pintura de los coches. No utilice pasta de esmerilar, es demasiado basta. Puede conseguirse en cualquier tienda de repuestos de coche.
- 2.- Juego de lijas de agua, números 200, 400, 600, 800, 1000 y 1200. De venta en ferreterías, las más finas se encuentran en tiendas de maquetismo.
- 3.- Aceite 3-en-1, Kraft Multi-Uso, WD-40 o similar, interesa que tenga propiedades hidrófugas (expulse o repela el agua y la humedad), de venta en ferreterías.
- 4.- Disolvente para la limpieza del motor, se recomienda una mezcla al 50% de esencia de trementina (aguarrás), y 50% de acetona. También puede emplearse petróleo. Puede adquirirse en droguerías.
- 5.- Pañuelos de papel, son útiles para la limpieza de las piezas del motor, de venta en centros comerciales.
- 6.- Un cepillo de dientes viejo y una brocha pequeña blanda, se usarán para la limpieza del motor.
- 7.- Listón cilíndrico de madera de haya de diversos diámetros (permite golpear por detrás al cojinete delantero para extraerlo sin daños), de venta en tiendas de bricolaje.
- 8.- Papel para juntas, sirve para fabricar las juntas de papel deterioradas, de venta en tiendas de repuestos para coche, se debe escoger uno con un espesor de unos 0.4 mm.
- 9.- Adhesivo para reparación de tubos de escape, permitirá reparar un tubo de escape roto o modificar su diseño, de venta en tiendas de repuestos para coche.
- 10.- Codos de cobre de distintos diámetros (15, 18 y 22 mm son los más útiles), permitirán construir codos de escape a medida, de venta en ferreterías y suministros de fontanería.
- 11.- Chapa de hierro de 0.3 mm de espesor, servirá para la construcción de silenciadores y resonadores, puede obtenerse de latas de aceite para coche ya vacías, en los talleres de reparación de coches podrán darnos alguna gratis.
- 12.- Chapa de hierro de 3 mm de espesor, se utilizará para la construcción de los codos de escape, de venta en tiendas de suministros industriales.
- 13.- Ladrillos refractarios, serán útiles para el proceso de soldadura de silenciadores y resonadores, de venta en tiendas de material de construcción.
- 14.- Varilla de aleación de plata para soldadura, necesaria para la construcción de silenciadores y resonadores, de venta en ferreterías.
- 15.- Fundente para la soldadura de plata (algunas varillas de soldadura ya tienen un núcleo de fundente), necesario para la construcción de silenciadores y resonadores, de venta en ferreterías.
- 16.- Tubo de hierro, latón o cobre (el hierro es mejor por ser más resistente y pesar menos), de diversos diámetros, los más usados serán 8, 10, 12, 15 y 18 mm de diámetro interior, se emplearán para la construcción de silenciadores y resonadores, de venta en tiendas de modelismo, ferreterías y suministros de fontanería. Para algunas medidas son útiles los palos de escoba de tubo de acero (los que tienen la junta soldada) y los tubos niquelados para cortinas.
- 17.- Pintura para tubos de escape de coche, será útil para la terminación de silenciadores y resonadores, de venta en tiendas de repuestos para coche.
- 18.- Palillos de madera para comida china, son de utilidad para la realización de limas de lija redondas con las que poder trabajar las lumbreras del motor.
- 19.- Gafas de seguridad, imprescindibles para evitar daños a los ojos durante ciertas operaciones de mecanizado.

Cómo construir un medidor de tiempos para motores

El medidor de tiempos es una herramienta imprescindible para el trucaje del motor, permite medir los tiempos de apertura y cierre de las lumbreras y válvula del cigüeñal y analizar posteriormente si deben ser cambiados, según el destino de utilización del motor. Puede construirse fácilmente comprando en cualquier papelería un transportador de ángulos de 360° y unos 10 cm de diámetro, la marca Faber-Castell fabrica modelos de gran calidad.

Una vez tenga el transportador de ángulos, deberá agrandar el taladro que tiene en su centro para que acomode el diámetro del cigüeñal, generalmente 1/4" (≈ 6.5 mm) en motores de 5 a 10 cc. El transportador suele estar construido en plástico transparente, en este caso deberá pintar su parte trasera con pintura blanca para aumentar el contraste de las inscripciones y mejorar su legibilidad. El transportador puede ahora ser colocado en el motor como si de una hélice se tratase, es aconsejable colocar una arandela de contrachapado de 3 mm de espesor, entre el plato porta-hélices y el transportador, para evitar daños al segundo.

Ahora sólo falta realizar el puntero que señalará los ángulos, lo más simple es buscar un trozo de cable eléctrico monofilamento, de 1.5 ó 2 mm de diámetro. En uno de sus extremos se realiza un ojete con la ayuda de unos alicates de punta redonda, el extremo opuesto se afilará para que haga las veces de puntero, conviene también pintarlo de negro con un rotulador indeleble.

El paso final es colocar el puntero sujeto a uno de los taladros de la bancada del motor, utilizando un simple tornillo, tuerca y arandela, doble el cable para que señale convenientemente sobre el transportador y el trabajo estará terminado.

Cómo utilizar el medidor de tiempos para motores

Lo primero será recortar una tira de papel de unos 4 ó 5 mm de anchura y unos 10 cm de longitud, quite también la bujía y el carburador del motor, coloque el medidor de tiempos como se explicó más arriba, introduzca la tira de papel por la lumbrera de escape y gire el cigüeñal en el sentido de las agujas del reloj hasta que aprisione suavemente el papel entre la arista superior de la lumbrera y el pistón. Anote los grados que marca el medidor de tiempos, gire el cigüeñal en sentido contrario hasta que vuelva a aprisionar el papel y tome nota de los grados, la diferencia con la anotación anterior serán los grados de apertura de la lumbrera de escape, del mismo modo puede medir los tiempos de apertura de las lumbreras de admisión y ventana del cigüeñal.

Cómo construir un bastoncillo lijador

En primer lugar, ¿qué es eso de bastoncillo lijador?; se trata de un listón de madera, de sección circular de unos 3 mm de diámetro y entre 40 y 70 mm de longitud, al cual se acopla un trozo de lija, la Figura 3 aclarará seguramente todas las dudas.

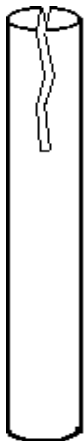


Figura 3

Para construirlo tome un palillo de madera para comida china, ideal para este propósito, corte un trozo a la medida que desee (entre 5 y 8 cm suele estar la longitud idónea) y realice en un extremo un corte longitudinal con la ayuda de una sierra de marquetería provista de un pelo de sierra fino, si el corte se realiza en ligero zig-zag se facilitará la sujeción de la lija. Para ciertas aplicaciones de mecanizado en motores muy pequeños, podría ser útil el uso de palillos de dientes redondos en lugar de los de comida china.

Corte una tira rectangular de papel de lija de agua del grano que necesite, introduzca un extremo por la ranura del bastoncillo, enrolle la lija una vuelta completa, marque la lija con un lápiz en coincidencia con el punto donde comenzó a enrollar, saque la lija de la ranura y corte la tira dos milímetros más larga que la marca realizada, doble hacia dentro la solapa de dos milímetros y vuelva a colocar la lija en el bastoncillo, introduciendo ambas solapas por la ranura, la lija tendrá una forma similar a la de la Figura 4 (observe que este dibujo está a escala ampliada respecto a la Figura 3 para facilitar la visión del mismo).



Figura 4

Cómo utilizar el bastoncillo lijador

Coloque el bastoncillo en el taladro eléctrico miniatura, como si de una fresa de mecanizar se tratase, coloque la lija en el bastoncillo y estará listo para su uso. No es una herramienta de gran tecnología pero es barato y realiza su trabajo.

Elija el grano de lija apropiado, por ejemplo de los números 600 u 800 para comenzar el trabajo, termine siempre con la lija más fina de que disponga, se aconseja del número 1200. La lija del 1200 produce un mecanizado de mejor terminación que el original.

El bastoncillo tiene aplicación para el suavizado y matado de aristas, especialmente las aristas interiores de las lumbreras de la camisa y aristas exteriores de la ventana de admisión del cigüeñal, en estos dos ejemplos la cantidad de material a eliminar es pequeña, para operaciones que requieran eliminar mucho material son más apropiadas las muelas (materiales muy duros, como acero o cromo) o fresas (apropiadas para bronce, latón, aluminio).

ANTES DE EMPEZAR...

☞ La primera regla es tener presente en todo momento que un motor de modelismo es un mecanismo de precisión en el que debe descartar cualquier maniobra de trabajo brusca, como martillazos o uso de palancas y recordar que si una pieza no sale con facilidad de su alojamiento es que no está empleando el procedimiento apropiado por lo que conviene que se asesore antes de correr el riesgo de dañar el motor seriamente y convertir una mejora en una costosa avería.

☞ Se debe trabajar sobre una superficie limpia, preferiblemente de color blanco, pueden utilizarse unos folios blancos colocados sobre la mesa con la ventaja añadida de que absorberán el aceite que desprendan las piezas, el papel de periódico no es adecuado como superficie de trabajo porque “camufla” las piezas pequeñas, sin embargo puede colocarlo bajo los folios blancos para mejorar su capacidad de absorción de aceite. Es conveniente también disponer de varias bandejas pequeñas o cajas de plástico donde poder dejar las piezas de menor tamaño sin peligro de que se pierdan o rueden por la mesa.

☞ Utilice una luz potente para iluminar el área de trabajo, esto ayudará a ver mejor los pequeños detalles que de otro modo se le escaparían. Es ideal disponer de una lámpara de mesa tipo flexo, que se pueda orientar a la zona de trabajo, algunos modelos disponen de lupa incorporada, este accesorio puede ser útil si el precio no es excesivo.

MEJORA DE LOS AJUSTES BÁSICOS

Desmontado del motor

Nunca se debe hacer girar el cigüeñal de un motor nuevo, y mucho menos arrancarlo, sin antes haberlo desmontado y limpiado cuidadosamente. Incluso motores de marcas prestigiosas pueden contener en su interior restos metálicos que pueden dañar considerablemente al motor. Igualmente, es altamente recomendable realizar cualquier trucaje antes del rodaje, tal como se dijo en la página 6.

Si hay algunas instrucciones de cómo desmontar el motor, léelas primero

Observe bien cada pieza del motor que vaya a desmontar, fíjese especialmente en si puede montarse en diferentes posiciones, si éste es el caso deberá marcar la posición original utilizando el marcador de punta de carburo o el granete antes de proceder al desmontado o inmediatamente después del mismo donde no pueda ser de otro modo. Un granetazo suave en la parte delantera o superior de una pieza le recordará la postura original, cada cual debe elegir su criterio de orientación y seguir el mismo en todos los motores, por ejemplo “delante y arriba” que significa marcar en su cara delantera las piezas que puedan colocarse hacia delante o hacia atrás (biela por ejemplo), mientras que se marcará en su parte superior aquellas piezas susceptibles de ser colocadas hacia arriba o abajo (tapa del cárter por ejemplo). Obviamente, nunca se marcará una pieza en sus superficies de fricción, si se procede de ese modo la pieza quedaría inservible.

Es interesante colocar los tornillos en orden de modo que pueda colocarlos en su taladro original al volver a montar el motor. Los tornillos son ligeramente diferentes entre sí, debido a las tolerancias de fabricación, esto hace que sus alojamientos queden ligeramente modificados y el intercambio de tornillos sólo puede traer malas consecuencias.

Aproveche el proceso de desmontado del motor para ir tomando nota de los elementos en que note un ajuste demasiado apretado o algún punto de fricción indeseado, la anotación se realizará en función del ciclo de carrera del pistón en el cilindro, por ejemplo 25 grados antes del Punto Muerto Superior (APMS). Estas anotaciones le descubrirán posibles defectos de fabricación que posteriormente habrá que subsanar, o bien le indicarán dónde debe prestar más atención a la hora de mejorar su motor.

Para facilitar esta toma de datos durante el desmontado del motor, en la página 64 encontrará el “ANEXO - B, Formato para toma de datos de posibles defectos” que le simplificará el trabajo y le ayudará a tener los datos ordenados.

Bujía

En primer lugar quite la bujía, ahora gire el cigüeñal del motor muy lentamente para sentir la resistencia interna. Si nota alguna resistencia anormal, anote dónde en función de la carrera del pistón en el cilindro, como se comentó más arriba, punto 1 del formato de toma de datos.

Tapa del cárter

Siga desmontando la tapa trasera del cárter extrayendo los cuatro tornillos de fijación (colóquelos ordenados sobre una bandeja, para poder volver a colocar cada uno en su alojamiento original durante el posterior proceso de montaje). Cuando extraiga la tapa cuide de no perder referencia de su posición original y observe si puede ser montada en otra posición (generalmente apreciará un chaflán interior para evitar que la golpee el pistón en su PMI), de ser así proceda a realizar una marca de referencia para poder montarla luego en su posición original.

Repita el giro muy lento del cigüeñal, anotando cualquier resistencia, ponga una hélice y apriétela normalmente. Anote cualquier resistencia al girarla, punto 2 del formato de toma de datos.

Culata

Ahora puede quitar la culata, pero antes márquela con un granetazo muy suave (lo justo para marcarla) en su superficie exterior delantera, le servirá como referencia al volver a montarla.

La culata viene generalmente sujeta por seis tornillos, que aflojará en forma de cruz. Es decir, empezará aflojando uno y seguirá con el opuesto para continuar con el contiguo al primero, luego su opuesto y así sucesivamente. Guarde los tornillos de forma ordenada, tal y como se describió en la sección de desmontado de la tapa del cárter.

La culata debe salir con relativa facilidad, debe tener un ajuste estrecho pero no presionar la camisa, si no sale bastará girar el cigüeñal un poco enérgicamente para conseguirlo gracias a la fuerza de la compresión (para esto la bujía debe estar apretada).

Si detecta que la culata tiene un ajuste demasiado apretado respecto a la camisa, tome nota de ello, punto 3 del formato de toma de datos.

Lo que se ha hecho hasta ahora indica si hay distorsión de alguna pieza, particularmente el cárter, verificándolo cuando la culata y tapa del cárter estén puestas

Camisa

Ahora le toca el turno a la camisa; ésta suele estar adherida al bloque y es difícil extraerla a mano (no debe ser así en un motor nuevo). Un buen sistema consiste en introducir en la lumbrera de escape la cabeza de un tornillo de nylon o la de una brida de nylon o, en su defecto, cualquier pieza de plástico y hacer girar el cigüeñal. El pistón al subir se apoyará en la pieza de plástico y empujará la camisa hacia arriba, entonces puede terminar de sacarla a mano sin dificultad. No utilice nunca piezas metálicas para calzar la camisa pues podría dañar el motor.

Si la camisa está muy apretada, da buenos resultados calentar el cárter entre 100 y 150 °C, la camisa saldrá entonces holgadamente.

La camisa debe ajustar estrechamente con el cárter, pero dicho ajuste no debe ser tan duro que obligue a grandes esfuerzos para extraerla, de ser así y dado que la camisa es flexible por la delgadez de sus paredes, al introducirla en el cárter podría deformarse. Tome nota si aprecia un ajuste demasiado apretado entre camisa y cárter, punto 4 del formato de toma de datos.

Biela, pistón, bulón y cigüeñal

Una vez fuera la camisa, si el cárter es de dos piezas se aflojan los tornillos que las unen y, al separar ambas partes, se podrá extraer el conjunto biela / pistón y cigüeñal con facilidad.

En esta fase del desmontado del motor es especialmente importante que proceda al marcado referencial de posición para biela, bulón y pistón. Téngalo en cuenta cuando los desmonte para no olvidar la posición original antes de haberlos marcado. La biela es fácil, el pistón se marcará interiormente, el bulón en un extremo, utilice el marcador con punta de carburo de tungsteno y cuide de no arañar las superficies de fricción de estos elementos.

Si el cárter es de una pieza bastará con girar el cigüeñal de manera que la muñequilla de éste quede en la parte inferior y, poniendo el motor con la tapa del cárter hacia abajo, mueva el cigüeñal ligeramente a uno y otro lado, la biela saldrá por sí sola quedando liberada junto con el pistón. Si es necesario utilice unas pinzas, pero nunca use la fuerza para extraer la biela o dañará el casquillo, haciendo obligada la sustitución de la biela por otra nueva.

Hay motores en los que primero hay que extraer el bulón y liberar el pistón antes de poder quitar la biela, el procedimiento a seguir depende de cómo esté construido el motor, si dispone de instrucciones del fabricante atégase a ellas, en cualquier caso por lo general el bulón puede extraerse a través de la lumbrera de escape (motores de escape trasero) o a través de un registro situado en la parte trasera del motor y que generalmente viene cerrado con un tapón roscado.

Si el bulón viene sujeto con cir-clips (anillos de acero en forma de “G”), se usarán unas pinzas dentadas para extraer el cir-clip (tenga cuidado pues tienen tendencia a saltar y perderse), luego será fácil sacar el bulón.

Si el bulón no viene sujeto con cir-clips, presentará un taladro axial que permitirá extraerlo gracias a la introducción en dicho taladro de una varilla de acero del diámetro apropiado, flexionando la varilla ligeramente hará agarre en el bulón y al tirar lo sacará con facilidad.

El bulón debe tener un ajuste estrecho con el pistón, pero debe poder girar en su alojamiento, asimismo los cir-clips no deben obstaculizar esta posibilidad de giro, si observa algo anormal en este sentido anótelo, punto 5 del formato de toma de datos.

Gire el cigüeñal de nuevo por si hay señales de resistencia y anótelo, punto 6 del formato de toma de datos.

Coloque una hélice, apriete bien la tuerca de fijación de la misma y vuelva a girar el cigüeñal para comprobar si los cojinetes a bolas están alineados convenientemente, si hay evidencias de resistencia al giro anótelo, punto 7 del formato de toma de datos.

Ahora puede desmontar el plato porta-hélices utilizando un extractor, herramienta imprescindible para no dañar el motor. Si el plato porta-hélices va acoplado al cigüeñal por medio de una chaveta debe tener especial cuidado en no perderla. El cigüeñal saldrá ahora simplemente empujándolo con la mano, hay casos en que esto no es así porque el cigüeñal queda adherido al rodamiento trasero y necesitará algunos golpes suaves con un martillo de cabeza de nylon para extraerlo.

Compruebe si el cigüeñal tiene una arandela separadora en su extremo en contacto con el rodamiento delantero, en caso de existir podría haberse quedado pegada a dicho rodamiento. Observe la posición de la arandela y anótelo, deberá volver a ponerse en la misma posición en la fase de montaje.

Cojinetes a bolas

Si su motor no tiene cojinetes a bolas, también llamados rodamientos, observará entonces un casquillo de bronce en el interior del cual gira el cigüeñal, el casquillo no puede extraerse y no debe intentarlo o dañará el cárter.

En principio puede no ser necesario desmontar los cojinetes a bolas, dado que son los elementos más difíciles se aconseja no desmontarlos a menos que sea imprescindible, lo sabrá si durante la fase de limpieza no consigue limpiarlos convenientemente o si durante las operaciones de trucaje penetrase en ellos residuos metálicos.

Si el motor es de gama media / baja y se está desmontando el motor para proceder a su revisión / trucaje previa al rodaje, se recomienda desmontar los rodamientos. La razón es que por ahorro de costes algunos fabricantes insertan el rodamiento delantero con una prensa y a temperatura ambiente, durante éste proceso es fácil que el rodamiento arranque virutas de aluminio de su alojamiento, si éstas se introducen en el rodamiento pueden dañarlo, pero peor aún es que simplemente impidan que el rodamiento pueda llegar al fondo de su alojamiento, esto es lo que generalmente sucede. La consecuencia es que al quedar los rodamientos más distanciados, el cigüeñal no alcanza al rodamiento delantero y al apretar la hélice se produce una compresión de ambos rodamientos, en pocos arranques las bolas de los rodamientos se desgastarán y comenzarán a liberarse partículas metálicas que arruinarán por completo el motor.

Para comprobar si esto puede suceder, mida con un calibre (de al menos 0.05 mm de resolución) la longitud del cigüeñal entre sus dos superficies de tope con los rodamientos, tome luego el cárter y mida la distancia existente entre las caras internas de ambos rodamientos. Para cada medida tome 3 muestras y haga luego la media. El resultado debe ser que la medida del cigüeñal sea superior, entre 2 y 4 décimas de mm. por lo general, a la separación entre los rodamientos en el cárter. Si esto no es así, o si la diferencia es menor de 0.2 mm., proceda a extraer los rodamientos.

Si necesita extraer los rodamientos, primero caliente el cárter a una temperatura entre 170 y 200 °C, puede conseguir esta temperatura en el horno de su casa o en un grill portátil, este último tiene la ventaja de que al ser pequeño consume menos energía eléctrica y su termostato está limitado a 200 °C, la decisión entre uno u otro dependerá del tamaño del motor, como medio de calentamiento puede usarse también una pistola de aire caliente de las que se venden expresamente para la aplicación de recubrimientos termoadherentes para Aeromodelismo, su máxima temperatura no supera los 200 °C, sin embargo es más difícil conseguir un calentamiento uniforme. Es importante no sobrecalentar el motor y calentarlo además de modo uniforme, ya que de otro modo podría sufrir deformaciones irreversibles.

Una vez caliente el cárter, el rodamiento delantero puede ser extraído suavemente, usando una espiga de madera para empujarlo, si ve que está blindado sólo de un lado no olvide que a la hora del montaje esa protección deberá ir hacia el exterior. El rodamiento trasero puede extraerlo golpeando el motor (por la parte de la tapa del cárter) contra una tabla de madera, a veces sale tan sólo por gravedad, por supuesto todo esto sólo funcionará mientras el motor está caliente y recién sacado del hornillo.

Si observa cualquier tipo de irregularidad en el giro de los cojinetes a bolas o en su alojamiento en el cárter, anótelos, punto 8 del formato de toma de datos.

Limpieza

Limpie todas las piezas concienzudamente con el limpiador 50-50. El viejo cepillo de dientes será de utilidad para alcanzar todas las esquinas y hendiduras. No olvide limpiar bien el interior del cigüeñal, utilice para ello un trapo o pañuelo de papel enrollado e impregnado en disolvente, puede ayudarse de un listón cilíndrico de madera.

Los cojinetes a bolas o rodamientos requieren un cuidado especial. Ponga en remojo el cárter sin quitar los rodamientos. El objeto de esto es eliminar todos los residuos de aceite seco en cada parte de los rodamientos, muchos motores tienen melladuras en las bolas a causa de que éstas no podían girar libremente en su ranura.

Si los rodamientos no se pueden limpiar convenientemente, proceda a extraerlos como se describió en la sección de desmontado del motor.

Complete la limpieza hasta que cada rodamiento gire libremente. Sea meticuloso y limpie cada pieza perfectamente, aquí es donde una luz potente le será de utilidad. Anote cualquier irregularidad en el giro de los rodamientos que no haya podido eliminar con una buena limpieza, punto 8 del formato de toma de datos.

Si dispone de un equipo de limpieza por ultrasonidos puede utilizarlo en esta fase, los resultados que suele ofrecer son impecables.

Inspección y preparación

No aceite las piezas, el residuo de la esencia de trementina es un aceite ligero que las protegerá de la oxidación durante las siguientes operaciones.

En esta sección se utilizará la información recogida durante el proceso de desmontaje y se verificará de nuevo, tenga en cuenta que pudo ser engañado por restos de suciedad, que ahora no existen, que le hicieron pensar en un problema mecánico realmente fuera de lugar. Se procederá a corregir los defectos que se hagan evidentes y se aprovechará para mejorar el acabado de otros elementos, todo ello contribuirá a mejorar ligeramente el rendimiento del motor (hasta en un 10%) y prolongar su vida útil evitando desgastes innecesarios durante la fase de rodaje.

Cigüeñal

Proceda antes que nada al montaje de los rodamientos en el cárter, si es que durante la fase de desmontaje fue necesario extraerlos (y evidentemente si su motor no tiene en su lugar un casquillo de bronce), coloque en primer lugar el delantero y por último el trasero, para ello introdúzcalos en una bolsa de plástico y déjelos en el congelador de su frigorífico durante un cuarto de hora, entretanto caliente el cárter a unos 200 °C siguiendo el método que mejor le parezca de los explicados más arriba en la página 12.

Con los rodamientos contraídos por el frío y el cárter dilatado por el calor, el montaje de aquellos será fácil, para la colocación del rodamiento trasero se recomienda ponerlo primero en el cigüeñal y usar éste como guía para posicionarlo en el cárter, una vez colocado el rodamiento trasero no saque el cigüeñal y ponga la tapa del cárter sujeta sólo con un par de tornillos (no los apriete a fondo), recaliente el conjunto si es necesario y proceda a colocar el rodamiento delantero, el cigüeñal le servirá como guía, para introducirlo más fácilmente utilice el separador de la hélice para empujar.

Si dispone de un taladro de columna puede usarlo como prensa, abra el mandril hasta que el cigüeñal entre holgadamente, disponga el motor en la columna con el cigüeñal hacia arriba, introduzca el rodamiento en el cigüeñal, luego el separador de la hélice y baje la columna para empujar el separador e introducir el rodamiento en su alojamiento.

Tenga cuidado mientras el cárter está caliente pues los rodamientos podrían desplazarse de su alojamiento y no quedar en la posición correcta cuando el cárter se enfríe y vuelva a aprisionarlos.

Verifique que los rodamientos están correctamente asentados:

1. Mida la longitud del cigüeñal entre sus superficies de apoyo con ambos rodamientos, algunos motores tienen una arandela entre el cigüeñal y el rodamiento delantero, añada el espesor de dicha arandela a la medida anterior.
2. Mida la longitud entre las caras internas de ambos rodamientos.

3. La longitud medida en el punto 1 debe ser superior a la del punto 2, generalmente será de 0.2 a 0.4 mm mayor, si no fuese así es que los rodamientos no están bien asentados, proceda entonces a calentar el motor de nuevo y llevarlos entonces a su correcta posición.

Vuelva a instalar el cigüeñal en el cárter, apriete la hélice y gire cuidadosamente. Si el cigüeñal no está perfectamente libre hay algunos problemas posibles:

- a) El alojamiento del cigüeñal en el cárter (entre los dos rodamientos) es estrecho. Quite los rodamientos, ponga algo de pulimento sobre el cigüeñal, insértelo en el cárter y gírelo a mano o con un taladro eléctrico. Limpie completamente y examine el cárter para ver dónde están las zonas salientes pulidas. Continúe con el pulimento hasta que el cárter tenga un acabado mate uniforme. Si su motor no tiene rodamientos a bolas, tenga cuidado de no exagerar en esta fase pues podría aumentar la holgura cigüeñal / cárter fuera de los límites normales.
- b) Los cojinetes a bolas pueden no estar correctamente asentados. Asegúrese de que los rodamientos tienen un ajuste libre en el cigüeñal, debe ser un ajuste sin holguras, estrecho pero no forzado. Si el ajuste es demasiado apretado, se reconoce porque cuesta mucho trabajo extraer el cigüeñal de los cojinetes e incluso puede ser necesario utilizar herramientas para ello, gire el cigüeñal en un taladro eléctrico y emplee papel de lija del número 600 para conseguir un ajuste apropiado. Apriete la hélice y gírelo. Debería haber un pequeño huelgo longitudinal en la parte trasera del cigüeñal. Este debería ser de unos 0.075 mm (ver Figura 5), lo apreciará tirando y empujando longitudinalmente. Si no obtiene este juego, caliente el cárter a unos 200 °C y asegúrese de que:

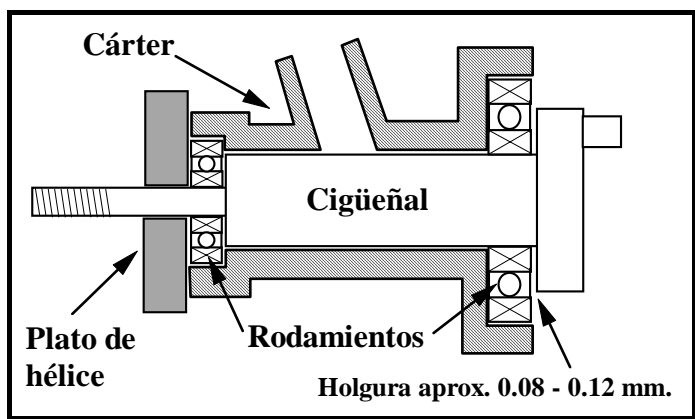


Figura 5 **Holgura longitudinal del cigüeñal**

- (1) El rodamiento trasero está totalmente introducido en su alojamiento del cárter (emplee el cigüeñal para empujar el rodamiento hacia adelante).
- (2) Con el cigüeñal en el rodamiento trasero, deslice el delantero hacia la posición más atrasada en su alojamiento (para ello es necesario calentar el cárter a unos 200 °C como se describió en la sección de desmontaje del motor). Utilice un taladro de columna para actuar como una prensa e introducir el rodamiento delantero en su alojamiento, como se describió más arriba en este apartado, si no dispone de un taladro de columna coloque la hélice mientras el cárter está todavía caliente y cuando se enfríe asegúrese de que gira libremente en ambos sentidos.

- c) Podría ser un mal rodamiento o estar dañado. Asegúrese de que los cojinetes están perfectamente limpios antes de decidirse a reemplazarlos por otros nuevos. Al girarlos a mano no se debe notar bloqueos o roces, si así fuera límpielos exhaustivamente, si el problema persiste debe sustituirlos, si observase que la banda de rodadura o las bolas están oxidadas debe también proceder a su sustitución.

Proceda ahora a mejorar la terminación de las superficies de fricción del cigüeñal del siguiente modo:

- Examine la superficie de la muñequilla con el microscopio de mano de 30 aumentos, la experiencia le dirá si es necesario mejorarla (en casi el 100% de los casos lo será), para asegurarse coloque un disco de fieltro para pulir en el taladro eléctrico miniatura, impregne el disco de fieltro con el pulimento en barra para acero, para ello haga girar el disco sobre la barra de pulimento, y proceda a pulir una parte de la superficie mecanizada del cigüeñal cercana a la rosca, cuando esté bien pulida compare su terminación con la del bulón observando ambas con el microscopio de mano, si el bulón presenta peor terminación proceda a pulirlo con el disco de fieltro, haga lo mismo con la superficie del cigüeñal en contacto con el cárter, sobre todo si se trata de un motor sin cojinetes a bolas.
- El trabajo de pulimento debe realizarse en dos fases, en la primera se pulirá longitudinalmente según el eje del cigüeñal, esto es perpendicular a las marcas de mecanizado, de modo que éstas se eliminen, termine puliendo transversalmente como si estuviese torneando la pieza. Debe terminarse de este modo pues en ese sentido trabaja la pieza en el motor.

El microscopio de mano le dirá cuándo el trabajo está terminado, observando la superficie con el microscopio se debe ver una sustancial mejora en la terminación, con gran aumento de brillo y prácticamente inexistencia de marcas de mecanizado.

Si ahora introduce la muñequilla del cigüeñal en su alojamiento de la biela, comprobará que a simple vista no puede observarse un incremento en la holgura original. Obviamente se ha producido una eliminación de material, pero tan pequeña, del orden de micras, que no perjudica en absoluto al motor sino muy al contrario, al eliminar las irregularidades del

mecanizado se está eliminando un suave efecto de lija que con el paso del tiempo va desgastando poco a poco la biela, la holgura resultante produce un golpeteo durante el funcionamiento del motor que a la larga conduce a la rotura de la biela.

Este trabajo prolongará por tanto la vida de la biela y eliminará también, o al menos reducirá grandemente, el riesgo de gripaje de la biela con el cigüeñal cuando el motor trabaja con carburación pobre y / o a elevadas RPM. El punto de fricción biela – cigüeñal es el talón de Aquiles de muchos motores.

Biela

Asegúrese de que el interior del cojinete de su extremo inferior (cabeza) esté achaflanado por el lado que hace contacto con el cigüeñal. Esto asegurará que la biela no se trabe en el radio de unión entre la muñequilla y el disco del cigüeñal. Si no presentase el mencionado achaflanamiento, éste puede lograrse sujetando la biela en una mordaza y, mediante el uso de un taladro de columna y una broca de diámetro 1.5 veces mayor que el taladro del cojinete, se abocardará muy ligeramente el cojinete, ejerciendo una presión muy suave. Posteriormente se aplicará, en la zona mecanizada, lija de los números 600 y 1200 al objeto de eliminar cualquier pequeña rebaba que pudiera haberse producido, así como suavizar las aristas vivas y pulir la superficie mecanizada.

Camisa y pistón

El objetivo básico es una camisa con poco o ningún estrechamiento por encima de la lumbrera de escape, emparejada con un pistón redondo (o segmento) que tenga un juego adecuado antes del rodaje. Los motores que trabajan "duros" cuando están nuevos aplican un esfuerzo extra a los ajustes de biela, cojinetes, pistón y bulón, lo que se traduce en pérdida de potencia y desgaste innecesario.

1.- Camisa.

Matado de aristas vivas

En primer lugar, mate las aristas vivas de las lumbreras, las que dan hacia el interior de la camisa. No se trata más que de eliminar la arista, no de darle un redondeado grande, así se quitará un punto de alta probabilidad de rozamiento elevado y donde se produce uno de los más altos grados de desgaste durante el rodaje del motor. Se aconseja realizar siempre esta modificación, sobre todo en motores con pistón a segmento ya que éste tiene más facilidad para engancharse en la arista superior de la lumbrera que un pistón sin segmento.

Realizando este trabajo se prolongará la vida útil del motor al evitar un desgaste innecesario durante el rodaje, también se previene la posibilidad de gripaje al eliminar este punto de posible rozamiento con la arista superior del pistón, un beneficio adicional será arrancar con más facilidad al mantener una mejor compresión en frío, ya que el rodaje no habrá producido un desgaste excesivo en el pistón o el segmento. Un complemento a esta modificación es la aplicación de conicidad a la parte superior del pistón, que se explicará más adelante.

Para matar las aristas, utilice el bastoncillo lijador y el taladro eléctrico miniatura, comience con lija de agua del nº 600 u 800, acabando con el nº 1200. Recuerde que no debe redondear demasiado la arista, sólo matarla.

Lapeado de la camisa

El lapeado de la camisa equivale a un rectificado que asegurará la perfecta forma cilíndrica de la misma, pondrá en evidencia cualquier deformación o punto saliente y permitirá corregirlos si son poco importantes. Este trabajo no es tan necesario como la eliminación de aristas vivas de las lumbreras, si debe decidirse por un trucaje simplificado inclínese mejor por matar las aristas vivas de las lumbreras.

Unte una ligera capa de pulimento sobre el pistón y lapee utilizando la biela para mover el pistón dentro de la camisa (lea antes los comentarios sobre motores ABC y pistones con segmento en los párrafos siguientes). Cuando el pistón se mueva suavemente sin resistencia, limpie a fondo y examine la camisa en busca de manchas brillantes. Normalmente se encuentran alrededor de las lumbreras, donde la camisa podría estar combada. Continúe lapeando, limpiando y examinando hasta que la camisa tenga un acabado uniformemente mate. Limpie todas las piezas muy cuidadosamente con el disolvente y el cepillo de dientes hasta que sea posible pasar sobre ellas un pañuelo de papel sin que se ensucie.

Si el motor es ABC (pistón de aluminio y camisa de latón cromado), el juego preciso es más difícil de determinar. Lapee suelto y corra el motor brevemente con mezcla rica. Quite la culata y examine la superficie cromada, si observa áreas brillantes el ajuste es todavía duro y es necesario un lapeado extra.

Si el pistón tiene segmento no es posible utilizarlo para lapear la camisa porque es demasiado pequeño en diámetro. En su lugar se necesitará una barra de aluminio que se ajuste estrechamente a la camisa, con el auxilio de un torno será fácil mecanizar la barra a las dimensiones necesarias. Lapee como se explicó anteriormente.

2.- Pistón.

Los motores de alto rendimiento tienen una gran superficie de lumbreras de admisión y escape en el cilindro. Ésta es lo suficientemente grande como para permitir al pistón rotar lateralmente en su alojamiento de modo que el pistón puede realmente golpear en el borde superior de la lumbrera durante su movimiento hacia el Punto Muerto Superior.

La forma de prevenir que esto suceda es dando una ligera conicidad a la parte superior del pistón (ver Figura 6). A una franja de 1.5 mm desde la parte superior del pistón se le da una conicidad de alrededor de 1°. Este mecanizado se realiza mejor con una máquina amoladora pero se puede hacer a mano con el suficiente cuidado.

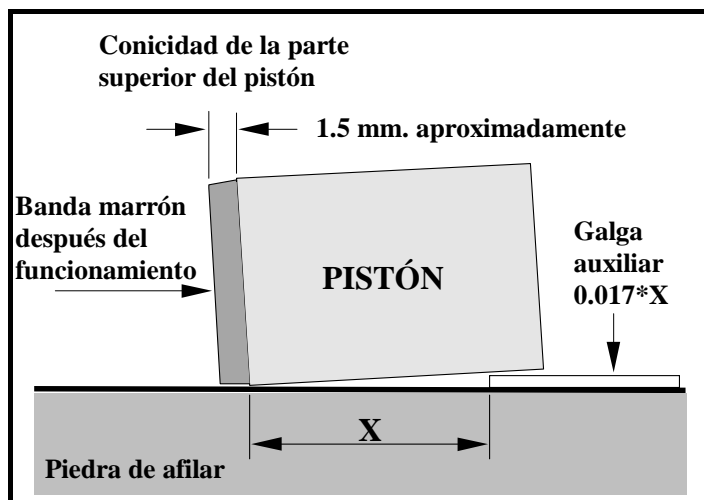


Figura 6

Trucaje del pistón

Esto parecerá muy crudo para los puristas pero la forma del acabado final no es crítica.

Aunque en la Figura 6 se establece que la galga debe tener un espesor $0.017 \cdot X$, lo cual es correcto para una conicidad de 1°, en la práctica se constata que es preciso un espesor de 2 a 3 veces mayor para conseguir que la eliminación de material sólo afecte a una franja de unos 1.5 mm, el espesor correcto deberá pues ser hallado en base al método de prueba y error.

Más que un ángulo de 1°, es importante que la franja de conicidad no sobrepase los 1.5 mm citados o de lo contrario el pistón podría perder compresión, es importante saber que 1.5 mm es lo adecuado para un motor de 3.5 cc y es evidente que para mayores o menores cilindradas se puede extrapolar siguiendo una sencilla regla de tres basada en las distintas alturas de los pistones.

Se puede comprobar si la conicidad es correcta una vez que el motor ha sido rodado por un tiempo, debería haber una banda de carbonilla marrón en la parte superior del pistón donde está la conicidad. La conicidad insuficiente se evidenciará como manchas brillantes en la zona superior de la falda del pistón.

Si el pistón tiene segmento, la aplicación de conicidad al mismo será de poca utilidad (pero conveniente en cualquier caso), pues el pistón con segmento tiene una holgura mayor respecto a la camisa que la que presenta un pistón sin segmento, ya que no es el pistón sino el segmento el que realiza el sellado de la compresión. En este caso es muy recomendable proceder a matar las aristas vivas de las lumbreras de la camisa, tal como se explicó en la página 15, sección “1.- Camisa.”

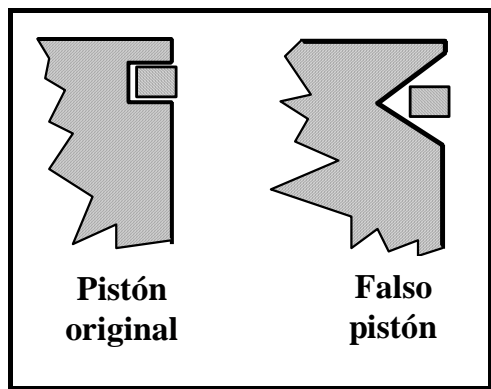
Proceda a pulir la superficie superior del pistón, esta superficie es parte de la cámara de combustión y al pulirla se favorece la turbulencia de los gases y se mejora el quemado de los mismos, esta modificación es complementaria al pulido de la cámara de combustión de la culata, que se explica en la página 18.

Para el pulido de la superficie superior del pistón puede emplear lija de agua de los números 800 al 1200, comenzando por el número más bajo, coloque un trozo de lija sobre una tabla de aglomerado y fíjelo con cinta adhesiva, frote el pistón contra la lija hasta que la superficie quede igualada, pase entonces a una lija más fina, nº 1000 por ejemplo y siga el mismo proceso, termine con la lija del 1200. Ahora aplique un poco de pulimento a la tabla de aglomerado (ya sin la lija) y frote el pistón contra la tabla hasta que consiga un brillo a espejo.

Segmento del pistón

Si el pistón tiene segmento es interesante proceder a realizar un lapeado de éste contra la camisa, de modo que su ajuste sea perfecto. Este trabajo mejora la compresión y también ligeramente la potencia entregada por el motor, el arranque en frío se facilita además como consecuencia de la citada mejora de compresión.

En primer lugar compruebe si es realmente necesario, seque bien el aceite que pueda tener la camisa y el segmento, coloque el segmento dentro de la camisa, ayúdese empujando con el pistón para asegurar que queda correctamente posicionado (se asume que el pistón no tiene deflector en su superficie superior), mirando contra una fuente luminosa compruebe si se ve luz entre el segmento y la camisa, si así fuera es necesario proceder al lapeado.



Para realizar el lapeado del segmento, torneé un falso pistón de aluminio macizo, no olvide mecanizar el alojamiento del segmento, para simplificar la mecanización puede realizar el alojamiento del segmento con forma triangular en lugar de rectangular, véase la Figura 7, haga un taladro ciego de Ø4 mm en su eje longitudinal (en la cara opuesta al segmento), rosque el taladro a M5 y coloque un tornillo de M5 de unos 5 a 8 cm de longitud, el citado tornillo hará las funciones de mango y facilitará el manejo del falso pistón.

Ponga el segmento en el falso pistón, aplique pulimento y lapee contra la camisa, procure hacerlo con el segmento en posición cercana a la que tendrá luego con el pistón verdadero (si es que el segmento tiene una posición fija en el pistón).

Figura 7

Lapee hasta que quede parejo. Esto es bastante más importante que una pequeña holgura del segmento. Limpie bien el conjunto y compruebe empujando el segmento dentro de la camisa – sin pistón, tal como se dijo más arriba – manténgalo contra una fuente luminosa y verifique que no pasa luz entre camisa y segmento, si es así estará perfecto. Examine también la superficie del segmento en contacto con la camisa, después del lapeado debe tener un acabado uniforme, si no es así continúe el lapeado.

Puede ser necesario repetir múltiples veces el proceso descrito de lapeado, limpieza, observación, hasta que consiga los resultados deseados.

El falso pistón es necesario para evitar al original un desgaste excesivo, ya que el aluminio del pistón es mucho más blando que el hierro del segmento y la propia camisa.

Bulón

Puede prolongar la vida de la biela si procede a pulir el bulón, para ello necesitará el taladro miniatura, disco de fieltro para pulir y pulimento en barra adecuado para acero.

Antes de comenzar el trabajo, observe el bulón con el microscopio de mano, podrá ver las irregularidades del mecanizado.

Impregne el disco de fieltro con el pulimento, para ello haga girar el disco sobre la barra de pulimento, y proceda a pulir el bulón. Comience a pulir longitudinalmente según el eje del bulón, esto es perpendicular a las marcas de mecanizado, de modo que éstas se eliminen, termine puliendo transversalmente como si estuviese torneando la pieza. Debe terminarse de este modo pues en ese sentido trabaja la pieza en el motor.

El microscopio de mano le dirá cuándo el trabajo está terminado, observando el bulón con el microscopio se debe ver una sustancial mejora en la terminación, con gran aumento de brillo y prácticamente inexistencia de marcas de mecanizado.

Camisa y cárter

Esto puede sonar totalmente irrelevante pero no lo es. Lapee la camisa contra el cárter hasta que el ajuste sea bueno y fácil, como el del pistón / camisa. Un ajuste apretado significa distorsión y eso son malas noticias. Asegúrese de que la camisa asienta fácilmente en el cárter. Un toque de pulimento y el consiguiente lapeado lo hará posible.

Culata

Es importante que la culata ajuste a la camisa tan bien como lo hace el pistón (ver Figura 8). Si la culata tiene un ajuste holgado, puede mecanizarse y colocársele un anillo a interferencia. El anillo podrá ser posteriormente mecanizado para dar a la culata el preciso ajuste requerido.

Esta es una operación compleja si no se dispone de los medios apropiados y no se recomienda su realización a menos que se trate de un motor diésel (en ellos este ajuste es fundamental) o que la holgura entre culata y camisa sea importante, lo que no será el caso la mayor parte de las veces a menos que se trate de un fallo en el proceso de fabricación del motor o bien el motor sea de ínfima calidad, en cuyo caso no merece la pena el esfuerzo.

De mayor importancia es que la culata no entre forzada en la camisa, de ser así se produciría una distorsión de la camisa, si este es el caso aplique pulimento y lapee la culata contra la camisa hasta conseguir un ajuste similar al del pistón.

Es útil también que la superficie interna de la culata, correspondiente a la cámara de combustión, presente una superficie lo más pulida posible. Así se favorece la turbulencia de los gases en la cámara de combustión y se mejora el quemado de los mismos, con el resultado de un incremento de potencia, pequeño por supuesto pero que sumado a los procedentes de otras modificaciones puede resultar en un porcentaje interesante.

Para el pulido interno de la culata puede emplear lija de agua de los números 800 al 1200, comenzando por el número más bajo, como siempre. Puede terminar frotando a mano con un trapo y un poco de pulimento, hasta conseguir una terminación superficial con brillo a espejo.

Tapa del cárter

Si la tapa del cárter entra apretada en éste, lapee la tapa contra el cárter utilizando pulimento. Pula también la superficie interior, la que mira hacia el cigüeñal, aplicando un poco de pulimento a una tabla de aglomerado y frotando la tapa contra ella describiendo círculos.

Si la tapa tiene un acabado rugoso, por ejemplo al chorro de arena, se invertirá demasiado tiempo en el pulido, en este caso es mejor comenzar por un lijado previo, fije con cinta adhesiva un trozo de lija de agua del nº 800 a una tabla de aglomerado y proceda a lijar la tapa frotándola contra la lija, una vez eliminadas las irregularidades puede proceder a pulir como se describe más arriba.

Montaje

Asegúrese de que todas las piezas están escrupulosamente limpias antes del montaje final. Utilice el viejo cepillo de dientes y el disolvente para realizar la limpieza. Séquelas con un pañuelo de papel, este pañuelo le indicará que las piezas están completamente limpias cuando al frotarlas con él ya no se ensucie.

Engrase todas las piezas ligeramente con el aceite 3 en 1 o similar; así se asegurará que no se produce ninguna corrosión antes de la puesta en funcionamiento del motor. Si ha realizado el trabajo de modo apropiado, el motor se notará diferente al hacerlo girar a mano y el sellado de la compresión le sorprenderá.

MEJORA DE LA MECÁNICA

En esta sección se describen modificaciones que afectan a la mecánica del motor, a diferencia de la sección de mejora de los ajustes básicos, aquí se realizan trabajos que sólo deben ser acometidos por personal con experiencia, un error aquí puede arruinar su motor. Para quienes no tengan experiencia en estas tareas se recomienda comenzar a practicar con un motor barato.

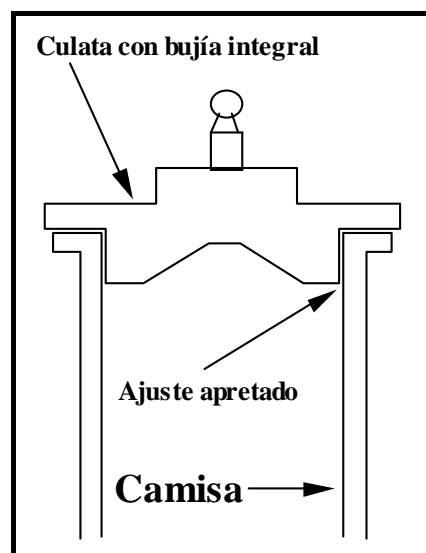


Figura 8 Ajuste camisa / culata

Relación de compresión

Fórmula 1

$$R = \frac{V + v_c}{v_c}$$

Donde R es la relación de compresión, V el volumen del cilindro o cilindrada y v_c el volumen de la cámara de combustión.

Puede trucar la relación de compresión reduciendo el volumen de la cámara de combustión, esto se consigue sustituyendo la junta de culata por otra de menor grosor o, si esto no es posible, rebajando unas décimas de mm la valona o aro superior de la camisa, pero para hacer esto último es necesario contar con la ayuda de un torno.

La teoría dice que a mayor relación de compresión obtendrá mayor rendimiento y potencia del motor, pero hay que tener muy en cuenta el tipo de combustible que está usando, pues la relación de compresión está en relación con dicho combustible y si por ejemplo se añade un alto porcentaje de nitrometano a la mezcla, será necesario reducir la compresión para lograr el máximo rendimiento y potencia.

La relación de compresión máxima, en términos conservadores, que se puede utilizar para el metanol, es 17:1 con una relación aire / combustible de 4.5:1. Para nitrometano es 6.5:1 (hasta 10:1 con mezcla rica) con una relación aire / combustible de 2.5:1 a 0.5:1.

En general, para aumentar la potencia es mucho mejor incrementar la proporción de nitrometano en la mezcla de combustible antes que subir la compresión, la razón es que el porcentaje de incremento de potencia que puede lograrse con el aumento de la relación de compresión es muy bajo comparado con el que se consigue con el incremento del porcentaje de nitrometano en el combustible. Además, el aumento de la relación de compresión puede tener como consecuencia un avance del encendido y si dicho avance es excesivo se produce detonación (se dice que el motor “pica biela”), si no se evita la detonación el motor puede destruirse en poco tiempo.

Tenga en cuenta que, aunque el aumento de compresión favorece el incremento de potencia del motor, generalmente también se busca que el motor sea flexible y fiable en todos los regímenes, en otras palabras, se desea que el motor posea un ralentí bajo, estable y una transición progresiva y suave, rápida si se necesita, hacia el máximo régimen, esto es así al menos para una utilización general y en la especialidad de Acrobacia. Si observa que el ralentí es inestable, no puede regularse al nº de RPM que se acostumbra en otros motores (no se indica aquí un número de RPM concreto por ser muy dependiente de la cilindrada y tipo de motor) y/o la transición a alto régimen es errática, es probable que la relación de compresión sea excesiva, para verificarlo, mida las RPM del motor a alto régimen y añada tantas juntas adicionales de culata como sean necesarias para que el funcionamiento del motor sea correcto, sin que pierda RPM a alto régimen o bien la pérdida sea pequeña.

Cámara de combustión

La mejor forma de esta cámara es la esférica, con la bujía en su centro. Esto favorece la turbulencia de los gases y mejora el encendido y la velocidad de combustión, que suele ser de 2000 m/s aproximadamente.

Otra ventaja de estas cámaras es la de no tener puntos calientes, o sea, aristas vivas que puedan ponerse al rojo y provocar el autoencendido.

Un aumento de la relación de compresión favorece, en teoría, el incremento de potencia y aceleración, pero los gases se calientan mucho más y por ello se debe procurar dar a la cámara una forma esférica, si fuera posible, y redondear todas sus aristas, la superficie deberá estar asimismo lo mejor pulida posible.

Para pulir la cámara de combustión puede utilizar pulimento para metales y aplicarlo frotando con un trapo de algodón, si la superficie presenta irregularidades o asperezas, debidas a un defecto de mecanización o terminación superficial al chorro de arena, puede ser necesario eliminar primero dichas irregularidades y asperezas por medio de la lija de agua del nº 400, 800 y 1000.

Mejora de la respiración

Para aumentar el rendimiento del motor, la modificación que generalmente aporta la mayor ganancia de potencia es la mejora de la respiración, o sea, el aumento de la cantidad de mezcla aspirada y la rapidez y facilidad de evacuación de los gases quemados.

Procure agrandar los conductos de entrada si es posible (cigüeñal, lumbreras, venturi), redondear aristas vivas que generan turbulencias en los gases y por consiguiente una reducción de la sección efectiva del conducto (véase Figura 11 y Figura 12 para referencia acerca de la forma ideal del conducto), pula lo mejor posible los conductos para reducir el rozamiento de los gases con su superficie, rozamiento que genera turbulencia superficial y por consiguiente una reducción de la sección efectiva del conducto.

El aumento del diámetro interno del venturi del carburador puede aportar en ciertos casos una considerable ganancia de potencia, pero hay que tener cuidado en este punto pues la ganancia de potencia puede venir acompañada de un empeoramiento en las propiedades de transición de baja a alta, asimismo se reduce la succión que ejerce el carburador sobre el combustible y esto puede conducir a fallos de carburación en condiciones de fuerte aceleración, como las que se dan por ejemplo durante el vuelo de un modelo acrobático. Estos efectos negativos se pueden erradicar mediante el empleo de una bomba de combustible, solución ésta que casi imprescindible si la superficie efectiva del venturi se agranda considerablemente.

Por lo dicho arriba, a menos que se esté dispuesto a colocar una bomba de combustible al motor, es aconsejable no agrandar directamente el diámetro del venturi sino instalar al motor, si ello es posible, otro carburador con un diámetro mayor de venturi. Si los resultados no son satisfactorios siempre será posible volver al carburador original.

El conducto interno del cigüeñal puede redondearse en su extremo de salida al cárter utilizando una muela (enrolle cinta aislante en la muñequilla del cigüeñal, o protéjala con un tubo metálico para prevenir arañazos), de este modo se producen menos turbulencias en el paso de los gases.

En la ventana de entrada al cigüeñal los gases deben cambiar de dirección bruscamente, en aquellos motores que esto suceda se puede suavizar rellenando con una mezcla de epoxi y limaduras de aluminio el codo que se forma entre el conducto del cigüeñal y la ventana de entrada a éste, previamente hay que desengrasar muy bien con acetona y mejor si se pasa una muela por la zona para exponer el metal limpio. En la Figura 9 puede observarse la forma ideal del cigüeñal.

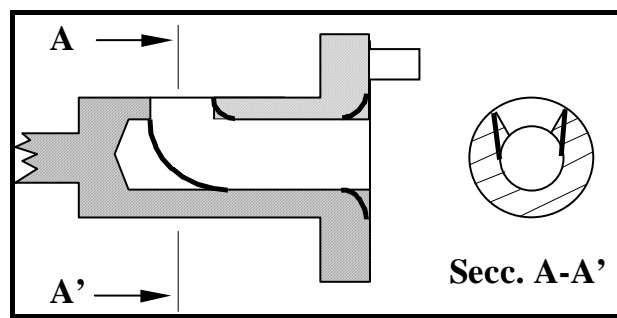


Figura 9

Truaje del cigüeñal

Las lumbreras son un punto muy crítico y hay que saber muy bien lo que se hace, concretamente no conviene tocar los ángulos de las lumbreras de admisión y en ellas el trabajo se limitará al redondeado de aristas, la de escape es menos problemática y se puede cambiar su altura para modificar el tiempo de escape, por supuesto sólo se modificará el tiempo de escape si fuese beneficioso para el fin que se persigue y de acuerdo a los criterios que se definirán más adelante.

El venturi tiene un límite en su incremento de diámetro a partir del cual se pierde potencia en lugar de aumentar, sólo la práctica le dirá cual es el límite, por lo general el incremento de su diámetro interior lleva aparejado un incremento de potencia junto con una reducción en la capacidad de succión del combustible, esto puede no ser perjudicial para un modelo de velocidad pero sí para un acrobático, el incremento del diámetro interno del venturi podría hacer necesario el uso de una bomba de combustible para garantizar un suministro de combustible regular y sin interrupciones.

A menudo la transición entre el venturi y cárter se hace en escalón debido a que la terminación del venturi presenta una pared demasiado gruesa, si este es el caso se debe rebajar el grosor de la pared, limando por el interior del venturi (lo ideal es utilizar un torno), hasta que coincida con el cárter, hay que hacer esto procurando que la forma interna del venturi sea la apropiada, o sea parabólica con la menor sección coincidiendo con el chiclé del carburador.

Con objeto de reducir la turbulencia y aumentar la velocidad de los gases, se deben eliminar los obstáculos que se hallen en su camino, puliendo todas las superficies de los conductos de paso lo mejor posible. Un punto que a menudo se olvida es la superficie interna de la tapa del cárter, conviene pulirla y para ello nada mejor que colocar una lija de agua del nº 400 sobre una tabla de aglomerado, lijar con cuidado de que quede plana, cuando la superficie se vea uniforme continuar con lija del nº 600 y 800, terminando con un pulido a espejo aplicando pasta de pulir directamente sobre la tabla y frotando la tapa contra ella.

Pistón

A fin de aminorar los rozamientos y la masa de las partes móviles, se puede recortar la falda del pistón de la forma que aparece en la Figura 10, según el grado de trucaje de menor a mayor, siempre cuidando que el corte realizado a la falda del pistón no asome en ningún momento por la lumbrera de escape durante el funcionamiento del motor.

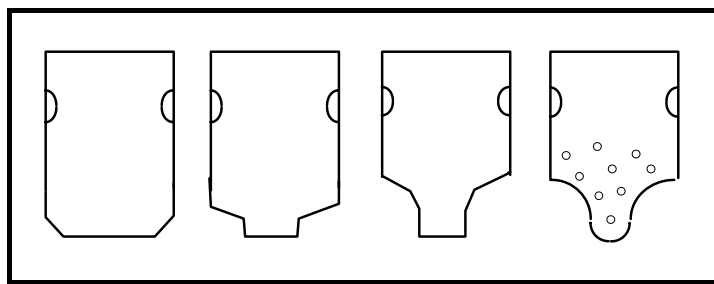


Figura 10 Grados de trucaje de un pistón, de menor a mayor

Puede ser útil, dado el incremento de RPM a que están sometidos los pistones mejorados, dotarles de un medio de enfriamiento y lubricación adicional. El medio más efectivo es practicar una serie de pequeños orificios en la superficie de la falda, éstos orificios, de menos de 1mm de diámetro, retienen pequeñas partículas de aceite que aseguran lubricación constante y una refrigeración adecuada (hay que asegurarse de que ninguno de estos orificios pueda asomar por la lumbrera de escape durante el funcionamiento del motor, si esto ocurriera se vería afectada la compresión del cárter).

No se recomienda experimentar con un elevado grado de trucaje del pistón a menos que se desee obtener el máximo nivel de potencia del motor, como en el caso de competiciones de velocidad, hacerlo puede acortar significativamente la vida del motor.

Ajuste del bulón

El bulón debe poder girar libremente tanto en el pistón como en la biela. De este modo se evitan esfuerzos torsionales que ocasionan el frenado y golpeo del émbolo, resultando una mayor vida del motor, más suave funcionamiento y algunas revoluciones extra dada la libertad con que se mueve el tren alternativo.

Si el bulón no gira libremente, aplique pasta de pulir y gírelo a mano en su alojamiento hasta conseguir el ajuste adecuado.

A veces el bulón roza contra los clips de fijación y esto impide su libre giro, en este caso se debe acortar su longitud en unas décimas de mm, esta operación puede realizarse fácilmente midiendo previamente la longitud del bulón con un calibre y frotando un extremo contra una piedra de afilar, midiendo la longitud cada cierto tiempo hasta alcanzar la deseada, entonces se matarán las aristas vivas del extremo recortado frotándolas contra un trozo de papel de lija de agua del nº 800, terminando con el del nº 1200.

Biselado de las lumbreras

El biselado de las aristas de las lumbreras es un factor a tener muy en cuenta puesto que influye en gran medida en su rendimiento, la forma ideal es la parabólica, la peor es sin biselar, o sea con aristas vivas a 90°. En una lumbrera sin biselar los gases "ven" la lumbrera con un 62% de la superficie que realmente tiene, lo que significa una pérdida de superficie efectiva de un 38%, esto da idea de la importancia del biselado, véase Figura 11 y Figura 12.

Biselado defectuoso:

Nota: En las zonas marcadas con "1" se produce un vacío que origina turbulencias y disminución de la sección efectiva de la lumbrera.

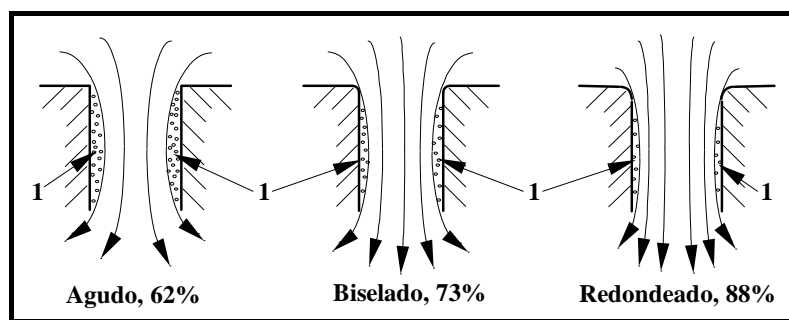


Figura 11

Rendimiento según el grado de biselado

Biselado correcto:

El biselado de lumbreras tiene su principal aplicación en las de admisión, véase la Figura 13, a la arista superior interna de la lumbrera de escape se le puede aplicar no más de un simple biselado puesto que lo contrario haría cambiar los tiempos de escape, a menos que realmente sea eso lo que se pretenda, en cuyo caso merece la pena considerar la realización de un biselado adecuado.

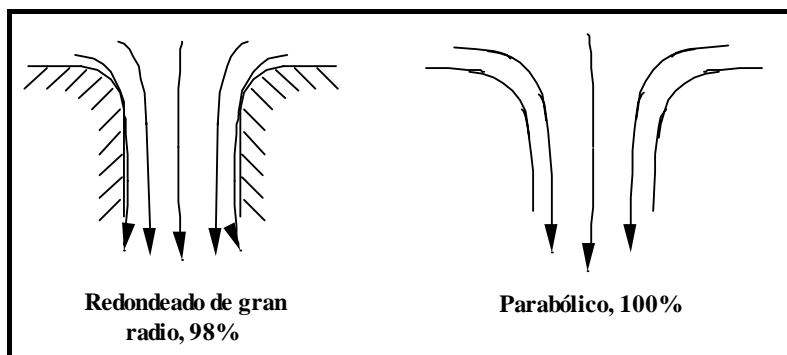


Figura 12 Rendimiento según el grado de biselado

La correcta realización del biselado de la lumbrera de escape, en sus aristas internas a la camisa, incluye el trabajo sobre las dos aristas laterales, y la superior tan sólo si se desea ampliar los tiempos de escape, en caso contrario no se aplicará a dicha arista más allá de un simple biselado, a la arista inferior se le aplicará también un biselado simple, más que nada para matar su arista viva y evitar que pueda arañar al pistón en circunstancias que así lo favorezcan.

La correcta realización del biselado de la lumbrera de escape, en sus aristas externas a la camisa, incluye el trabajo sobre cualquiera de las cuatro que no coincida con la superficie del conducto de escape del cárter, si la desigualdad es pequeña, puede pensarse más bien en su eliminación, para ello, estando correctamente asentada la camisa en el cárter, se introduce un marcador por el conducto de escape del cárter y se traza sobre la pared exterior de la camisa el perímetro del conducto de escape, se extrae luego la camisa y se procede a limar el material sobrante utilizando para ello el juego de limas suizas, se respetará siempre el biselado de las aristas internas de la lumbrera de escape, el cual habrá sido realizado con anterioridad a esta operación.

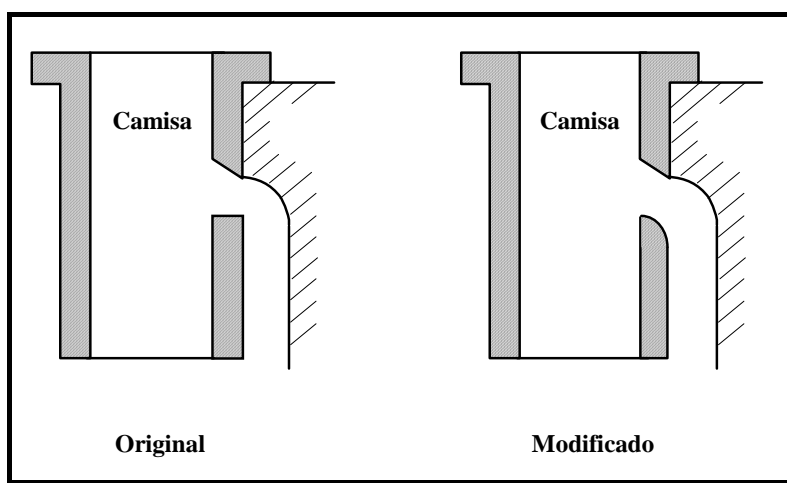


Figura 13 Trucaje de la lumbrera de admisión

La arista superior no se intentará igualar con la superficie del conducto de escape del cárter a menos que la desigualdad sea muy pequeña, la razón de ello es que los gases de escape tienen a salir en cierto ángulo hacia abajo, luego es conveniente que la forma de las aristas superiores de la lumbrera de escape siga ese ángulo.

A las lumbreras de admisión puede aplicárseles el redondeado de gran radio o parabólico (ver Figura 13), el cual, junto con la posibilidad de limar la falda de la camisa en su zona exterior coincidente con los transfers del cárter (sea precavido si realiza esta última modificación, pues puede reducir el grosor de la pared de la camisa a un nivel inaceptable, en general sólo debe limar alrededor del tercio inferior del material de la camisa que queda por debajo de la lumbrera), puede incrementar considerablemente la sección efectiva de la lumbrera, evitando turbulencias en los gases y en definitiva mejorando notablemente la respiración del motor.

Atención porque este biselado no debe cambiar los ángulos de las lumbreras, dichos ángulos corresponden a la parte superior de la lumbrera, la zona inferior es la que puede ser modificada, en la parte externa de la camisa.

Cualquiera que sea el trabajo de mecanizado que se realice sobre las lumbreras, al tratarse de puntos críticos para el funcionamiento del motor, es de gran importancia que la rugosidad de la superficie resultante tras el mecanizado sea tan buena o mejor que la previamente existente, por ello se suavizarán y pulirán las superficies mecanizadas por medio de la aplicación de lija del nº 600, 800 y 1200.

Montaje y funcionamiento

Al montar el motor proceda con el mismo cuidado y más atención que cuando lo desarmó. Comience introduciendo el cigüeñal y el pistón con la biela. Introduzca la camisa suavemente y guíe el pistón en su interior para seguir introduciéndola

hasta el final. En caso de que la camisa o el cárter carezcan de marcas de centrado, se debe mirar por el escape y girar la camisa hasta que las lumbreras estén bien centradas con las toberas del cárter.

A continuación monte la culata y apriete sus tornillos de igual modo que cuando la desmontó, en forma de cruz (si algún tornillo tuviese su rosca dañada deberá ser reemplazado). Por último monte la tapa del cárter, el carburador y el plato porta-hélices.

Antes de ponerlo en marcha deberá estar bien engrasado y, tanto si es nuevo como si ha realizado algún trucaje, deberá realizarse el oportuno rodaje. Hay que destacar que el rodaje es una fase crucial para la vida y rendimiento futuros del motor y siempre debe ser realizado.

En la actualidad algunos fabricantes y aeromodelistas comentan que los modernos motores no precisan rodaje, esto es cierto sólo en parte, los modernos procesos de fabricación y la utilización de maquinaria CNC permiten unas terminaciones impensables hace años, esto significa que si no se realiza el rodaje el motor no sufrirá daños o éstos no serán de importancia pero si realiza un rodaje correcto obtendrá un mejor rendimiento en general, dícese mejor arranque, mejor ralentí, mayor potencia y más larga vida útil.

En la página 24 encontrará un capítulo dedicado específicamente a la tarea del rodaje, con información detallada de cómo realizarlo.

CÓMO MEDIR LOS RESULTADOS DE LAS MEJORAS QUE REALICE A SU MOTOR

Todas las mejoras que se comentan en este libro y que aplique a su motor, darán como resultado un incremento de su potencia. A igualdad de condiciones geográficas (no es lo mismo una situación a nivel del mar que otra a 3000 m de altura en una montaña), similares condiciones climáticas (humedad relativa y presión atmosférica), misma hélice y combustible, si la potencia del motor aumenta también lo harán las RPM máximas y, por consiguiente, la fuerza de tracción que produce la hélice.

Lo único que necesitará para medir el incremento de potencia y tracción del motor será un buen tacómetro digital, y haber tenido la previsión de tomar nota de las RPM máximas alcanzadas antes del trucaje del motor. Con los datos de RPM antes y después del trucaje, por supuesto en las mismas condiciones de medida que se citaron más arriba, sólo tendrá que aplicar las siguientes fórmulas:

Fórmula 2

$$\Delta P_{(\%)} = 100 \cdot \left[\left(\frac{\text{RPM}_{\text{después}}}{\text{RPM}_{\text{antes}}} \right)^3 - 1 \right]$$

Fórmula 3

$$\Delta T_{(\%)} = 100 \cdot \left[\left(\frac{\text{RPM}_{\text{después}}}{\text{RPM}_{\text{antes}}} \right)^2 - 1 \right]$$

Donde ΔP representa el incremento de potencia en porcentaje respecto al inicial, ΔT es el incremento de tracción en porcentaje respecto al inicial, $\text{RPM}_{\text{antes}}$ son las RPM medidas antes del trucaje y $\text{RPM}_{\text{después}}$ son las RPM medidas después del trucaje.

Dicho de palabra, el incremento de potencia de un motor es directamente proporcional al cubo del incremento de RPM. Por otro lado, el incremento de la fuerza de tracción de un motor es directamente proporcional al cuadrado del incremento de RPM.

Evidentemente, estas fórmulas no sólo le permitirán medir la ganancia de potencia y tracción logradas gracias a una modificación mecánica del motor, sino también las producidas por un cambio en la formulación del combustible o en el diseño del resonador o silenciador, por ejemplo. Sin embargo, para que estas fórmulas tengan validez, las mediciones de RPM deben ser realizadas con la misma hélice, si la hélice no es la misma o difiere en algo de la original (si la ha equilibrado posteriormente, si se ha dañado debido a un golpe durante el funcionamiento del motor, si se rompió y la cambió por otra, incluso si es del mismo tamaño y fabricante, etc.) las fórmulas dejarán de ser válidas o cuando menos el resultado que de ellas se obtenga no será fiable.



APROVECHAMIENTO DE LA POTENCIA DEL MOTOR

O bviamente todas las mejoras de potencia que puede conseguir siguiendo los procedimientos reflejados en este libro no serían de gran utilidad si luego no sabe sacar el máximo rendimiento de esa potencia para la aplicación a la que destine el motor.

Básicamente lo dicho arriba se refiere ante todo a saber elegir el medio de propulsión adecuado para cada aplicación y de acuerdo a la curva de potencia del motor, por ejemplo en un coche se trata de la relación de engranajes de reducción, tipo y diámetro de ruedas apropiadas a la pista sobre la que se corre. Centrando ya estos comentarios sobre los modelos de avión, consiste en seleccionar la hélice apropiada (se asume que no se va a utilizar reductora ya que al no encontrarse este elemento en el mercado y por la complejidad que entraña su construcción, no se encuentra al alcance de la mayoría de los aficionados), después hay que procurar eliminar o reducir las pérdidas de potencia debidas a resistencias aerodinámicas (aunque estas resistencias aerodinámicas hasta cierto punto pueden ser interesantes en especialidades como la Acrobacia) de las cuales no se hablará al ser éste un artículo centrado en la mejora de los motores, todo esto debe conjugarse con un nivel de ruido contenido en aquellas aplicaciones donde así lo estipula la normativa de competición.

Realización del rodaje

Antes de poder aprender a aprovechar la potencia del motor es necesario disponer de ella, y cuanto más mejor, para esto es crítico la realización de un correcto rodaje.

El rodaje podría definirse como el proceso que ayuda a que el surtido conglomerado de piezas metálicas que conforman un motor nuevo pueda llegar a ser una unidad eficiente y fiable. Esto significa rodar el motor al principio de su vida bajo condiciones cuidadosamente controladas para evitar el riesgo de daño inmediato y ayudar a que las superficies de trabajo lleguen a suavizarse y alinearse apropiadamente para lograr una máxima eficiencia mecánica.

Durante el rodaje, la fricción y el calor generado por la interacción de las superficies microscópicamente rugosas se añade al calor de la combustión normal. Si el motor es forzado a alcanzar su máxima potencia demasiado rápidamente, las elevadas temperaturas resultantes pueden ocasionar un daño catastrófico a uno o más componentes, pero los resultados no son usualmente tan dramáticos, un mal rodaje generalmente produce que las piezas del motor se desgasten prematuramente, no consigan la terminación superficial adecuada y se limite la potencia entregada por el motor y la vida útil del mismo.

Hay que destacar que el rodaje es una fase crucial para la vida y rendimiento futuros del motor y siempre debe ser realizado. En la actualidad algunos fabricantes y aeromodelistas comentan que los modernos motores no precisan rodaje, esto es cierto sólo en parte, los modernos procesos de fabricación y la utilización de maquinaria CNC permiten unas terminaciones impensables hace años, esto significa que si no realiza el rodaje el motor no sufrirá daños, o mejor dicho éstos no serán de importancia, pero si realiza un rodaje correcto obtendrá un mejor rendimiento en general, dícese mejor arranque, mejor ralentí, mayor potencia y más larga vida útil.

Cada vez más aeromodelistas prefieren realizar el rodaje del motor en vuelo, esta es una práctica que en muchos casos resulta tan perjudicial como el no realizar rodaje, sólo hay que pensar en cuánto tiempo será necesario para hacer aterrizar con seguridad un aeromodelo que despegó con un ajuste de carburación demasiado pobre en su motor. Este evento produce sobrecalentamiento del motor y puede ser una simple anécdota para un motor bien rodado, pero para otro en proceso de rodaje puede ocasionarle un daño irreversible que afectará a su fiabilidad y posterior funcionamiento, cuando no un gripaje del grupo motor que obligue a una costosa reparación.

El rodaje se realizará, por tanto, en tierra, donde usted puede responder rápidamente ante un empobrecimiento de la mezcla y controlar adecuadamente el calentamiento del motor.

Emplee una hélice de una pulgada menos de paso que la que piense utilizar para el vuelo, la razón es que el motor trabajará a menor temperatura si se incrementan las RPM reduciendo la carga de la hélice (menos diámetro), esto ocurre porque las presiones en el cilindro disminuyen según se incrementan las RPM y las leyes de los gases dicen que cuando la presión baja también lo hace la temperatura. El par motor necesario para mover una hélice a unas RPM determinadas es lógicamente menor si se reduce el diámetro de la misma, esto significa que habrá que abrir más la aguja de alta del carburador para impedir que el motor se revolucione, con la consiguiente mejora en la lubricación y refrigeración del mismo.

Aunque hasta ahora sólo se ha hablado del rodaje de motores de avión, evidentemente lo mismo se aplica a motores de coche, barco o helicóptero, algunos fabricantes de estos motores recomiendan la realización del rodaje en bancada colocándoles una hélice de avión, esto es muy importante y debería hacerse así incluso si el fabricante no lo recomienda. Si el rodaje se realiza en el coche, barco o helicóptero, no se puede tener un control preciso sobre las RPM que el motor desarrolla en cada momento, ni sobre el par que el motor entrega. Hay quien realiza el rodaje al ralentí, esto puede no ser muy malo si el motor no es ABC, pero si el motor es de esta clase el perjuicio puede ser mayor que si el rodaje no se realiza, esto se debe a que la camisa de un motor ABC es cónica y está pensada para alcanzar forma cilíndrica con una temperatura

de funcionamiento adecuada, la cual no se consigue al ralentí y eso significa que el pistón sufrirá mayor roce y desgaste del necesario.

Rodaje de motores a pistón con segmento o lapeado

Los motores con pistón de acero lapeado o con segmento, cuando están nuevos trabajan a temperaturas significativamente más altas que los ABC. Lo que puede hacer para que su rodaje sea adecuado se resume en procurar reducir su temperatura y hacer que su lubricación sea adecuada.

Recuerde siempre que el rodaje se realiza gracias a los repetidos ciclos térmicos de calentamiento y enfriamiento, de nada o poco sirve hacer funcionar un motor durante horas a un régimen de giro constante. El rodaje requiere periodos de funcionamiento cortos durante los cuales se cierra ocasionalmente la aguja de alta para que el motor alcance ciertas RPM y temperatura e inmediatamente volver a enriquecer la mezcla para bajar a un régimen de 4 tiempos y permitir que el motor se enfríe.

Procedimiento de rodaje

1. Arranque y opere el motor, a un régimen de 4 tiempos, durante un minuto aproximadamente. Realice esto de 4 a 5 veces con periodos de enfriamiento intercalados. Cuando pueda tocar la cabeza del cilindro sin quemarse podrá pasar al siguiente punto.
2. Haga funcionar el motor en periodos de 3 minutos, de 8 a 12 veces, a un régimen rico de 4 tiempos, como en el punto anterior. Permita que el motor se enfríe completamente entre cada periodo.
3. Arranque el motor, empobrezca la mezcla hasta que el motor pase a un régimen rico de 2 tiempos. Escuche el motor cuidadosamente, y observe el tacómetro si dispone de uno. Si el motor empieza a perder RPM, rápidamente abra la aguja del carburador; el motor estará todavía demasiado duro y necesita más rodaje, repita el paso 2 hasta que el motor pueda mantener estable un régimen de 2 tiempos rico. Permita que el motor funcione a este régimen en periodos de 4 minutos, repita de 15 a 20 veces con enfriamientos intermedios.
4. En este punto, empobrezca la carburación cerrando la aguja del carburador hasta conseguir un régimen rápido de 2 tiempos. El motor debería poder mantener este régimen sin perder RPM, si no es así enriquezca la mezcla y ejecute de nuevo el paso 3. Recuerde siempre que el rodaje consiste en ciclos cortos de calentamiento y enfriamiento. Permita que el motor funcione a este régimen durante 5 minutos, repita de 10 a 15 veces con periodos adecuados de enfriamiento intercalados.

Mantenga un registro preciso del proceso de rodaje, anote para cada fase los tiempos de funcionamiento y observaciones si hay algo que destacar.

El tiempo necesario para el rodaje no puede establecerse de antemano, es distinto dependiendo del tipo de motor y su fabricante, en general oscila entre 3 y cinco horas para motores con pistón lapeado y entre 2 y 4 horas para motores con pistón a segmento.

Puede tomar como norma aproximada para determinar si el rodaje está completado la prueba de si el motor es capaz de mantener sus máximas RPM de modo estable (sin perder RPM) por un periodo de 30 segundos. Un indicativo visual en motores a segmento es que éste pierde las marcas de mecanización (mirar a través del escape), los motores con pistón lapeado son más difíciles de diagnosticar, aunque hay personas que se guían por el color u uniformidad del desgaste del pistón.

Régimen de 4 tiempos en un motor de 2 tiempos

Parece extraño hablar de funcionamiento a 4 tiempos en un motor de 2 tiempos, un motor de 4 tiempos genera una explosión cada dos vueltas del cigüeñal mientras que uno de 2 tiempos produce una explosión en cada vuelta. Obviamente un motor de 4 tiempos trabajará a menor temperatura que un 2 tiempos para un régimen de RPM dadas, es por ello que el régimen de 4 tiempos beneficia al rodaje de un motor de pistón con segmento o lapeado (que como se dijo al principio de esta sección, cuando están nuevos trabajan a temperaturas más elevadas que los ABC) pero, ¿cómo puede conseguir que un motor de 2 tiempos produzca una explosión cada dos vueltas de cigüeñal, al igual que lo hace un 4 tiempos?; se verá a continuación:

Para cada combustible existe un rango en la relación de la mezcla aire/combustible para la cual puede producirse la combustión (véase el capítulo sobre Límites Explosivos en la página 52). Si en un motor en funcionamiento va cerrando la aguja de alta, la proporción de combustible en el aire disminuye y esto produce unas temperaturas de combustión muy elevadas y destructivas. Si se empobrece más la mezcla se llega a un punto en el que el motor pierde el encendido. También se pueden producir fallos de encendido en el extremo opuesto de la relación aire/combustible, donde la proporción de combustible es excesiva (mezcla rica).

Se trata por tanto de hacer trabajar al motor con una mezcla muy rica, si se fija con detalle en la frecuencia del sonido del escape, según va abriendo la aguja de alta llegará un punto en el que note que la frecuencia parece disminuir, tal como si el

motor estuviese realizando una explosión cada dos vueltas de cigüeñal, esto es justo lo que está sucediendo y esa es la clave para mantener al motor frío y bien lubricado durante el rodaje.

La explicación del proceso es la siguiente: Durante el ciclo del motor, en la fase de escape no todos los gases quemados son expulsados del cilindro. Esto es normal. Sin embargo, cuando la carga siguiente de aire / combustible entra al cilindro desde el cárter y a través de las lumbreras de transferencia, ésta se mezcla con los gases quemados remanentes del ciclo previo, esa mezcla con los gases quemados reduce la proporción total de oxígeno y desplaza la relación aire / combustible fuera de los límites del rango de combustión. El resultado es que el motor falla el encendido en ese ciclo.

La mezcla no quemada hace un buen trabajo de purga en el cilindro, de modo que la próxima carga fresca de aire / combustible se encuentra con una cámara relativamente limpia, la relación aire / combustible está de nuevo dentro del rango de combustión y se produce la ignición de la mezcla. Este ciclo de fallos de encendido y explosiones se repite secuencialmente.

Tipo de combustible y lubricación durante el rodaje

El ajuste rico de la aguja de alta, junto al procedimiento de rodaje a 4 tiempos, aseguran que en todo momento haya un suministro abundante de lubricante atravesando el motor. Frío y aceitado, este es el secreto para el rodaje de los motores que no sean del tipo ABC.

Se recomienda que la mezcla empleada en el rodaje tenga un bajo contenido en nitrometano (de 5 a 10%), su contenido en lubricante debería estar entre el 24 y 30%, así se asegura de que las piezas internas del motor están cubiertas de lubricante en todo momento. Es altamente recomendable que al menos la mitad de la proporción de lubricante sea aceite de ricino ya que ofrece una excelente protección contra daños mecánicos en caso de un funcionamiento con ajuste de mezcla pobre.

Rodaje de motores ABC

Los modernos motores ABC requieren menos tiempo de rodaje que los motores a segmento o pistón lapeado que se comentaron anteriormente.

Los motores ABC (pistón de aluminio y camisa de latón cromado) son realmente motores a pistón lapeado. Su pistón no lleva segmento y por tanto dependen de un ajuste muy apretado entre el cilindro y el pistón para prevenir que los gases de la combustión se escapen debido a una holgura entre ambos.

Estos motores han sido desarrollados de modo que el pistón y la camisa se expanden de modo similar en todo el rango de temperaturas de funcionamiento. El problema estriba en que la porción de camisa situada sobre las lumbreras de admisión y escape se calienta mucho más que la parte de camisa situada por debajo. Esto significa que la parte superior de la camisa se expande más que la parte inferior durante el funcionamiento del motor.

Para compensar este efecto, el cilindro se mecaniza con una conicidad que hace que su diámetro interior es mayor en la parte inferior que en la superior. Cuando el motor está frío, el pistón ajusta muy apretadamente en la parte superior del cilindro. Debido a este ajuste a interferencia, los primeros arranques de un motor ABC nuevo se consideran críticos de cara a su futuro rendimiento.

Rodaje en banco

Como se mencionó anteriormente en la sección de rodaje de motores con segmento, todos los motores deberían ser rodados en una bancada de pruebas de modo que el operador tenga la posibilidad de controlar la mezcla aire/combustible rápidamente, en caso de necesidad, ajustando la aguja de alta. El problema que presenta el rodaje de un motor en vuelo es que es difícil determinar cuándo lo está haciendo trabajar sobrecalentado y con mezcla pobre. Incluso si reduce el régimen la mezcla todavía podría ser pobre.

Operar el motor de modo prolongado con mezcla pobre o poca refrigeración puede resultar, y de hecho lo hará, en un daño severo. Para prevenir esta situación sólo tiene que hacer el rodaje de los motores ABC en banco por un mínimo de 45 minutos, en ciclos de 2 ó 3 minutos con periodos adecuados de enfriamiento entre cada ciclo.

La principal precaución que debe tener durante el rodaje de un motor ABC será mantener el motor a la temperatura adecuada. Tal como se dijo más arriba, la camisa presenta una conicidad que hace que el pistón se “agarre” en la zona del punto muerto superior, este “agarre” desaparece cuando el motor alcanza su temperatura de trabajo. De lo dicho se deduce fácilmente que el motor no debe nunca rodarse en régimen de 4 tiempos ya que a este régimen su temperatura será muy baja y el rozamiento pistón / camisa muy elevado, con el consiguiente desgaste y pérdida de rendimiento y vida útil del motor.

Por tanto, los motores ABC deberán rodarse a un régimen de 2 tiempos más bien alto, pero siempre con mezcla rica.

Es fácil saber cuando un motor ABC ha sido rodado correctamente, su pistón mostrará una superficie mate, gris claro en su falda y más oscuro en su parte superior, no presentará arañazos profundos ni en abundancia.

Si el motor ha sido rodado incorrectamente, a una temperatura baja como consecuencia de haberlo hecho trabajar a 4 tiempos, o bien si ni siquiera se le ha hecho rodaje antes de ponerlo en servicio, el pistón mostrará una superficie con brillo, sobre todo en la arista superior del pistón, se verán también múltiples arañazos en sus costados, generalmente tendrá tendencia a perder compresión cuando lo gire a mano.

Hay quienes ruedan los motores ABC colocándoles un gran depósito, poniéndolos a régimen de 4 tiempos y haciéndoles trabajar así de una a dos horas. Esta práctica ocasiona un desgaste tal al grupo camisa / pistón que éste queda inservible para una utilización seria, es mejor no hacer rodaje a un motor ABC que hacérselo en esas condiciones.

Procedimiento de rodaje

1. Arranque y opere el motor, a un régimen rico de 2 tiempos, durante dos minutos aproximadamente. Realice esto de 4 a 5 veces con periodos de enfriamiento intercalados.
2. Haga funcionar el motor en periodos de 3 minutos, de 8 a 12 veces, a un régimen rico de 2 tiempos, como en el punto anterior. Permita que el motor se enfríe completamente entre cada periodo.
3. Arranque el motor, empobrezca la mezcla hasta que el motor pase a un régimen alto de 2 tiempos, pero todavía algo rico. Escuche el motor cuidadosamente, y observe el tacómetro si dispone de uno. Si el motor empieza a perder RPM, rápidamente abra la aguja del carburador; el motor estará todavía demasiado duro y necesita más rodaje, repita el paso 2 hasta que el motor pueda mantener estable un régimen alto de 2 tiempos rico. Permita que el motor funcione a este régimen en periodos de 4 minutos, repita de 7 a 12 veces con enfriamientos intermedios.
4. En este punto, empobrezca la carburación cerrando la aguja del carburador hasta conseguir un régimen máximo de 2 tiempos. El motor debería poder mantener este régimen sin perder RPM, si no es así enriquezca la mezcla y ejecute de nuevo el paso 3. Recuerde siempre que el rodaje consiste en ciclos cortos de calentamiento y enfriamiento. Permita que el motor funcione a este régimen durante 5 minutos, repita de 3 a 5 veces con periodos adecuados de enfriamiento intercalados.

Mantenga un registro preciso del proceso de rodaje, anote para cada fase los tiempos de funcionamiento y observaciones si hay algo que destacar.

El tiempo necesario para el rodaje no puede establecerse de antemano, es distinto dependiendo del tipo de motor y su fabricante, en general oscila entre 1 y 2 horas. Puede tomarse como norma aproximada para determinar si el rodaje está completado la prueba de si el motor es capaz de mantener sus máximas RPM de modo estable (sin perder RPM) por un período de 30 segundos.

Combustible para rodaje y vuelo

Decídase por el combustible que utilizará para el vuelo y úselo también para el rodaje. La principal precaución es asegurarse de que posee la cantidad suficiente de lubricante, nunca use menos del 20% de aceite. En algunas modalidades de competición se experimenta a veces con porcentajes inferiores al 20% (18, 16, 14% o incluso menores).

Al reducir el porcentaje de lubricante, se reduce también su presencia en la mezcla aire / combustible, lo que puede mejorar el quemado de dicha mezcla y la propagación de la llama en la cámara de combustión. Esto afecta lógicamente a la potencia que entrega el motor, pero son ganancias de potencia mínimas. Si utiliza porcentajes de lubricante entre 20 y 25% estará incrementando la vida media de su motor.

Más arriba se menciona que para el rodaje debe utilizarse el mismo combustible que para el vuelo, esto implica que el porcentaje de nitrometano debe ser el mismo en ambos casos. La explicación se halla en que a mayor porcentaje de nitrometano el cilindro trabaja a mayor temperatura, las dilataciones del cilindro / pistón son proporcionales a la temperatura que adquieren durante el funcionamiento del motor. Si se realiza el rodaje con un porcentaje de nitrometano mucho menor al de uso normal, durante la fase de rodaje las dilataciones serán menores y la fricción se incrementará, lo que significa mayor desgaste y, mayor juego entre camisa y pistón para porcentajes de nitrometano mayores, lo cual reduce el rendimiento.

El tipo de lubricante recomendado en todos los casos es aceite de ricino, la razón es que el aceite de ricino forma un barniz o gomas protectoras en las paredes del pistón y camisa en el caso de que se exceda su temperatura de descomposición (unos 260 °C en la culata). Este barniz evita el contacto directo metal contra metal a altas temperaturas, las cuales pueden ser ocasionadas por un ajuste pobre de la aguja de alta o una refrigeración insuficiente, o ambos a la vez. Normalmente, un motor sobrecalentado y engomado le avisará que algo va mal, pierde revoluciones o falla notablemente. Si lo para de inmediato podrá prevenir, generalmente, cualquier daño al pistón y camisa. Los aceites sintéticos también se descomponen a

unos 260 °C, pero no depositan la capa de gomas protectora y el resultado es un contacto directo metal contra metal que destruirá el pistón y camisa en cuestión de segundos.

Entonces, ¿porqué utilizar aceites sintéticos?. Hay varias razones, además de tener buena tensión superficial, los aceites sintéticos pasan a través del motor sin prácticamente dejar residuo alguno. Utilizando aceite de ricino hay que proceder al desmontado del motor más o menos periódicamente para eliminar las gomas por medios mecánicos. Con objeto de conseguir las ventajas de ambos tipos de aceite, para los motores ABC se aconseja usar como lubricante una mezcla entre aceite sintético y de ricino, con un porcentaje de entre 5 y 10% de ricino sobre el total. Un ejemplo de mezcla típica incluiría las siguientes proporciones: metanol, 80%; aceite sintético, 13%; aceite de ricino, 7%.

Generalmente es posible saber cuando un motor está engomado, no podrá mantener sus máximas RPM, también se sobrecalentará y llegará a ser imposible de ajustar la aguja de alta. Una vez el motor parado y frío, no podrá notar que está engomado, pues las gomas se solidifican inmediatamente, sin embargo, al volver a arrancarlo y cuando las gomas se licúen por efecto de la temperatura, el problema volverá a aparecer.

Motores ABC con ajuste camisa / pistón muy apretado

Estos motores necesitan de un cuidado especial para su rodaje, debido a que el rozamiento camisa / pistón es grande cuando están fríos, existe un peligro real de desgaste excesivo durante los primeros arranques. En este caso se debe precalentar el cilindro antes de proceder al arranque del motor para que la dilatación consiguiente aumente el juego camisa / pistón. Una pistola de aire caliente de las usadas para el entelado de los aeromodelos puede ser muy útil, unos 30 segundos de aplicación bastarán.

Curva de potencia

Para poder seleccionar la mejor hélice para cada aplicación, es de gran importancia poder disponer de la curva de potencia del motor, esto es así porque tanto si desea que el motor entregue su máxima potencia, su máximo par o la mejor relación potencia / consumo, siempre tendrá que procurar que trabaje en un determinado rango de revoluciones que cumplan las necesidades de cada aplicación concreta, la respuesta a cuál es ese rango la encontrará en la curva de potencia del motor. Los fabricantes no la incluyen con las especificaciones a pesar de su gran importancia, debe pues atenerse a las publicaciones (si tiene la suerte de que haya sido publicada una prueba de su motor) o bien calcularla usted mismo sobre la base de las fórmulas que más adelante se incluirán sobre toda una gama de hélices y que permitirán, conociendo las RPM a las que gira la hélice, saber la potencia y par que está entregando el motor, colocando al motor distintas hélices irá obteniendo una serie de puntos que podrán ser graficados y transformados en la curva de potencia del motor en cuestión.

Entonces, una vez conocida la curva de potencia, elija el punto de trabajo ideal para la aplicación, lo que se traducirá en un punto de X potencia e Y RPM, y gracias a las citadas fórmulas para el cálculo de la potencia consumida por una hélice para unas RPM dadas, para cada hélice pondrá como entrada las RPM y obtendrá una potencia necesaria, si es mayor que la X inicialmente seleccionada significa que el motor no podrá girar la hélice a esas RPM, si es menor quiere decir que el motor hará girar la hélice a más RPM que las Y deseadas.

Gracias a este método se podrá hacer una lista con las hélices que teóricamente pueden dar un punto de trabajo en la gama de potencia y RPM deseadas.

Cómo obtener la curva de potencia de su motor

Como ya se ha dicho anteriormente, el conocimiento de la curva de potencia del motor es la clave que le permitirá seleccionar la hélice más apropiada para su modelo. Es, por tanto, de gran importancia poder disponer de ella.

Existen varios métodos para conseguir la curva de potencia:

1. Aparece publicada en revistas de Aeromodelismo, si tiene la suerte de que su motor ha sido analizado en alguna revista de Aeromodelismo, no debe dudar en adquirir el número correspondiente.
2. Como por lo general no podrá encontrar una revista que haya publicado un análisis de su motor, deberá hallar la curva de potencia por si mismo, una alternativa es construir un banco de ensayos para medición de potencia, este es un trabajo complicado del cual se han publicado varios artículos en revistas de Aeromodelismo, no lo recomiendo.
3. Utilización de un juego de hélices calibradas, con ellas es sumamente fácil calcular la curva de potencia. El problema es la gran dificultad de localización y su alto precio, pues hay muy pocos fabricantes que disponen de este material, sin embargo, esto no es un problema puesto que usted mismo puede hacerse con su propio juego según se describe a continuación.

Cómo obtener su juego de hélices calibradas

Idealmente se puede obtener la curva de potencia de una hélice, en función de las RPM a las que gira, mediante el uso de un banco de ensayos para medición de potencia de motores, una vez obtenidas las curvas de potencia y par absorbido por una hélice en función de las RPM aplicadas ya no será necesario el uso del banco en las pruebas subsiguientes con esa hélice. Si se procede así con un grupo de hélices de distintos tamaños, se podrá obtener la curva de potencia de un motor por la simple prueba de cada hélice y anotación de las RPM obtenidas.

Dado que muy pocos lectores dispondrán del citado banco de ensayos para medición de potencia de motores, a continuación se describe un método alternativo de suficiente exactitud para el aficionado, el proceso es largo y requiere del uso de un ordenador y una hoja de cálculo, se basa en los análisis de motores que se publican regularmente en las revistas de Aeromodelismo, consiste en elegir una marca de hélice, por ej. APC, y buscar pruebas de motores en las que se indique las RPM conseguidas con un determinado tamaño de hélice, por ej. 10x6", con las RPM se va a la gráfica de curva de potencia / par y se obtendrán los correspondientes valores de potencia y par, introduciendo estos datos en la hoja de cálculo y aplicando la fórmula adecuada se puede extrapolar hacia más y menos RPM, se recomienda obtener al menos 3 mediciones procedentes de otras tantas pruebas publicadas para distintos motores, con todas ellas se hace un promedio y se obtiene la fórmula para esa hélice, se procede igual con otros tamaños y marcas de hélices.

No es el objetivo de este libro explicar en detalle la formulación empleada en la hoja de cálculo para el desarrollo de los cálculos citados, pero al lector con conocimiento medio de matemáticas y teoría de hélices no le sería difícil su deducción lógica. Se recomienda usar los datos ya procesados y que se publican a continuación, es deseable la adquisición de al menos dos unidades de cada una de las hélices indicadas, la razón es que con el tiempo cada fabricante va evolucionando sus modelos y los datos que aquí se recogen perderían su validez, por otro lado tener al menos dos hélices de cada modelo es una salvaguardia para el evento de que una se rompa algún día (por supuesto nunca se usarán esas hélices para colocar en los aeromodelos). Como referencia indicar que los datos contenidos en la Tabla 3 de la página 29 fueron procesados en febrero de 1997 y pertenecen a análisis publicados en los tres años anteriores en su mayoría.

La fórmula que, independientemente de la hélice que esté empleando, le permitirá calcular la potencia entregada por su motor, es la siguiente:

Fórmula 4

$$Potencia_{(BHP)} = \frac{K}{\left(\frac{10^5}{RPM}\right)^3}$$

Donde K es un factor constante que depende de cada hélice, en la Tabla 3 se puede ver para una serie de hélices analizadas, RPM son las revoluciones por minuto que alcanza el motor con esa hélice, se deben medir con un tacómetro óptico digital.



Hay que hacer notar que esta fórmula sólo es válida para un rango de RPM comprendidas entre 0 y 100000, en cualquier caso siempre para un punto de trabajo subsónico, a partir de los 950/1000 Km/h de velocidad de punta de pala nos aproximamos a la velocidad del sonido, la resistencia aerodinámica se incrementa exponencialmente y esta fórmula deja de ser útil.

Tabla 3

Marca de hélice	Modelo	Factor K
APC	12x6"	837.99
APC	11x10"	1016.96
APC	11x8"	764.21
APC	11x7"	681.38
APC	10x9"	703.73
APC	10x8"	594.29
APC	10x7"	504.72
APC	10x6"	421.21
APC	9x9"	559.2
APC	9x8"	438.43
APC	9x7"	332.79
APC	9x6"	260.84
APC	9x5"	220.75
APC	9x4"	188.72

Marca de hélice	Modelo	Factor K
APC	8x9"	397.56
APC	8x8"	316.96
APC	8x7"	233.07
APC	8x6"	186.29

Cómo utilizar sus hélices calibradas

El procedimiento a seguir es muy simple, todo se reduce a ir colocando una hélice tras otra al motor y midiendo las RPM máximas conseguidas, mediante la aplicación de la fórmula antes mencionada (cada hélice calibrada tiene su propio coeficiente que se puede encontrar en la tabla anterior) se podrá conocer la potencia entregada por el motor, graficando los distintos puntos obtenidos se obtendrá una gráfica de potencia, para la consecución de la citada gráfica se recomienda la hoja de cálculo Microsoft Excel.

Durante el proceso de pruebas y toma de datos con las hélices calibradas tan sólo hay que tener una precaución: se debe empezar por la hélice mayor que crea adecuada para su motor, si se equivoca y es demasiado grande no sucederá nada, pero si utiliza una hélice demasiado pequeña el motor podría resultar dañado por exceso de revoluciones.

Selección de la hélice

La complejidad del proceso de selección de la hélice se debe principalmente a que los aeromodelos por lo general no utilizan hélices de paso variable, éstas deben adaptarse entonces a las condiciones de vuelo que tengan más importancia para el buen desempeño de la aplicación a la que destine el aeromodelo, por ejemplo un modelo de velocidad necesita hélices de mucho paso para poder alcanzar la máxima velocidad de vuelo posible, esto perjudica claramente al despegue y aceleración que se verán comprometidos debido a que el perfil de la hélice en esas condiciones de baja velocidad presenta un elevado ángulo de incidencia y por tanto estará trabajando en pérdida con el consecuente incremento de resistencia aerodinámica y gran pérdida de tracción. En otras aplicaciones la solución no está tan clara y habrá que llegar a un punto de compromiso que deberá ser corroborado por la experimentación práctica.

Tan sólo como mera indicación de carácter general, se incluye a continuación la Tabla 4 que podrá usar como guía a la hora de seleccionar la hélice para aplicaciones de sport, pero si dispone de instrucciones del fabricante del motor mejor ríjase por ellas.

Tabla 4

Cubicaje del motor		Hélice para rodaje		Hélices sugeridas para vuelo	
c.c.	Pulgadas cúbicas	Pulgadas	cm.	Pulgadas	cm.
0.8	0.05	6x3	15x7.5	5¼x4, 5½x4, 6x3½, 6x4, 7x3	13.5x10, 14x10, 15x9, 15x10, 18x7.5
1.5	0.09	7x4	18x10	7x3, 7x4½, 7x5	18x7.5, 18x11.5, 18x12.5
2.5	0.15	8x4	20.5x10	8x5, 8x6, 9x4	20.5x12.5, 20.5x15, 23x10
3 a 4	0.18 a 0.24	9x4	23x10	8x5, 8x6, 9x5	20.5x12.5, 20.5x15, 23x12.5
4.75 a 4.9	0.29 a 0.3	9x6	23x15	9x7, 9½x6, 10x5	23x18, 24x15, 25.5x12.5
5.7 a 5.9	0.35 a 0.36	10x6	25.5x15	9x7, 10x5, 11x4	23x18, 25.5x12.5, 28x10
6.5	0.4	10x6	25.5x15	9x8, 11x5	23x20.5, 28x12.5
7.4	0.45	10x7	25.5x18	10x6, 11x5, 11x6, 12x4	25.5x15, 28x12.5, 28x15, 30.5x10
8.2	0.5	11x6	28x15	10x8, 11x7, 12x4, 12x5	25.5x20.5, 28x18, 30.5x10, 30.5x12.5
9.8 a 10	0.6 a 0.61	11x7	28x18	11x7½, 11x7¾, 11x8, 12x6	28x19, 28x19.5, 28x20.5, 30.5x15
11.5	0.7	12x6	30.5x15	11x8, 12x8, 13x6, 14x4	28x20.5, 30.5x20.5, 33x15, 35.5x10
12.8 a 13.1	0.78 a 0.8	13x6	33x15	12x8, 14x4, 14x5	30.5x20.5, 35.5x10, 35.5x12.5
14.7 a 14.9	0.9 a 0.91	14x6	35.5x15	13x8, 15x6, 16x5	33x20.5, 38x15, 40.5x12.5
17.7	1.08	16x6	40.5x15	15x8, 18x5	38x20.5, 45.5x12.5
19.7	1.2	16x8	40.5x20.5	16x10, 18x5, 18x6	40.5x25.5, 45.5x12.5, 45.5x15
24.6	1.5	18x6	45.5x15	18x8, 20x6	45.5x20.5, 51x15
29.5	1.8	18x8	45.5x20.5	18x10, 20x6, 20x8, 22x6	45.5x25.5, 51x15, 51x20.5, 56x15
32.8	2	20x8	51x20.5	18x10, 20x6, 20x10, 22x6	45.5x25.5, 51x15, 51x25.5, 56x15

La elección de la hélice puede ser relativamente sencilla o compleja dependiendo de la aplicación:

- a) Velocidad o carreras, se requiere que el motor suministre su máxima potencia para lograr la mayor velocidad posible.
- b) Acrobacia, se requiere que el motor suministre la máxima potencia pero con el condicionante del mínimo ruido (la normativa lo exige) y máxima tracción (necesaria para las subidas a la vertical) posibles, se valora también la capacidad de frenado de la hélice en los descensos con objeto de mantener una velocidad de vuelo constante, por otra parte la hélice debe permitir alcanzar la suficiente velocidad en vuelo nivelado para que la inercia del modelo permita reducir la influencia que las turbulencias atmosféricas presentan sobre su trayectoria.
- c) Duración, se busca el mejor rendimiento del conjunto motor - hélice que permita un mejor aprovechamiento del combustible.
- d) Vuelo de sport, aquí el rendimiento del conjunto motor - hélice es secundario, tampoco es importante lograr la máxima velocidad posible, sin embargo es interesante centrarse en conseguir una velocidad de vuelo suficientemente segura, generalmente se centra entre los 80 y 100 Km/h, junto a buenas cualidades de tracción y un nivel de ruido contenido puesto que muchos campos de vuelo están recibiendo quejas por ruido excesivo.

En cualquiera de las aplicaciones citadas se seguirá el procedimiento que a continuación se describe, en él se realizan una serie de preguntas de las cuales se desprenden restricciones que deberá tener en cuenta a la hora de elegir la hélice o conjunto de hélices más apropiadas para el aeromodelo.

Restricciones de sonido

Las limitaciones en el sonido que emitirá el conjunto motor - hélice en funcionamiento influyen directamente en la selección de la hélice. Si su aplicación debe regirse por unos límites de sonido, al conjunto de hélices seleccionado en el punto anterior deberán aplicarse las citadas restricciones, resultando en que algunas de las hélices no serán válidas debido a su alto nivel sonoro. A continuación se explica todo esto con más detalle.

Hay cuatro fuentes principales de ruido en la motorización de un aeromodelo, a continuación puede verlas ordenadas de mayor a menor, aunque en algunos casos puede no cumplirse este orden:

1. Hélice.
2. Escape del motor.
3. Venturi.
4. Resonancia de la estructura del Aeromodelo.
5. Soplo contra superficies.

Muchos se sorprenderán de que el motor no sea la primera fuente de ruido, casi todos tratan de colocar al motor un silenciador más efectivo sin lograr grandes resultados (y los que lo hacen no caen en la cuenta de que la reducción de ruido no ha sido gracias al silenciador sino a las RPM que ha hecho perder al motor). En los últimos años los fabricantes han mejorado los silenciadores considerablemente, esto es mucho más cierto si se aplica a los modernos escapes resonantes con etapa silenciadora incorporada.

Que el ruido generado por el venturi esté en tercera o cuarta posición depende en gran modo de la construcción del modelo, concretamente de la carena del motor y en particular de las entradas de aire para la refrigeración del motor. De esto se hablará más adelante en el apartado correspondiente.

Ruido generado por la hélice

La hélice genera ruido como consecuencia del rozamiento con el aire, el cual es proporcional a su velocidad de giro, las puntas de la hélice es la parte de la misma que presenta una mayor velocidad lineal, aparte de ser la mayor fuente de turbulencias, en consecuencia la mayor parte del ruido es generado por las puntas.

Puede minimizar el ruido que generan las puntas de la hélice de varios modos:

1. Forma de las puntas. La forma que actualmente se considera la mejor es la de cimitarra, donde el borde de ataque se curva hacia el borde de salida en lugar de presentar la forma rectangular típica de la mayoría de las hélices que hoy por hoy se pueden encontrar. Las hélices APC y Master Airscrew modelo "Scimitar" son un ejemplo de una buena forma de puntas.
2. Fidelidad del perfil. Si secciona la pala de la hélice transversalmente podrá observar la sección del perfil de la pala en el punto seccionado, generalmente el espesor del perfil es mayor del deseable debido a consideraciones técnicas de resistencia del material empleado (para que soporte las altas RPM a las que debe trabajar) y de facilidad de fabricación (es más sencillo y barato fabricar una hélice con un grosor de perfil mayor del apropiado ya que los procesos de fabricación requieren una precisión menor). Un mayor espesor del perfil incide directamente en el borde de salida de la hélice, que será redondeado, en algunas hélices se puede medir hasta 1 mm, esto se aleja del ideal que sería un borde de salida lo más afilado posible.
Un ejemplo de hélice con poca fidelidad de perfil puede encontrarse en cualquier hélice de nylon o madera de hace más de 10 años, mientras que las hélices APC (fabricadas en nylon reforzado con fibra de vidrio) ilustran positivamente un ejemplo de hélices con gran fidelidad de perfil, especialmente los modelos de competición.
3. Reduciendo la velocidad de la punta de la pala, el límite práctico se puede establecer en unos 620 Km/h para un nivel sonoro de unos 92 dBA (obviamente puede haber variación según el fabricante y diseño de la hélice), pasado el cual el ruido generado aumenta considerablemente. Se puede calcular la velocidad de la punta de la pala por medio de la siguiente fórmula:

Fórmula 5

$$V_{pp} = \frac{6 \cdot P \cdot RPM}{10000}$$

Donde V_{pp} es la velocidad de la punta de la pala en Km/h, P es el paso de la hélice en cm y RPM son las revoluciones por minuto a las que gira la hélice.

En la Figura 14 puede ver una gráfica que le facilitará la selección del diámetro de la hélice o comprobación de si el que está utilizando es correcto para conseguir un nivel de ruido contenido. En la leyenda situada a la derecha de la gráfica se relacionan los distintos diámetros de hélice, unidades en cm. Tal como se indica, las líneas que representan a cada diámetro de hélice terminan en el punto donde el nivel de ruido superaría los 92 dBA, o sea, unos 620 Km/h de velocidad de la punta de la pala.

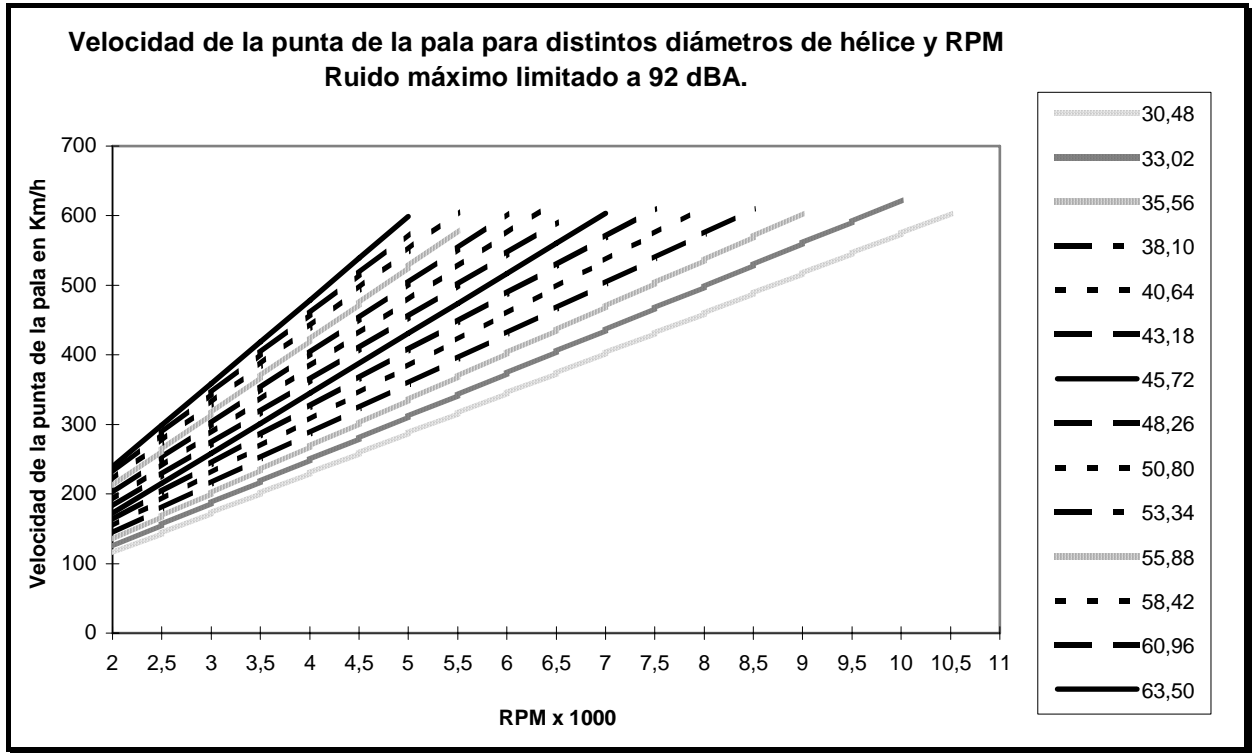


Figura 14

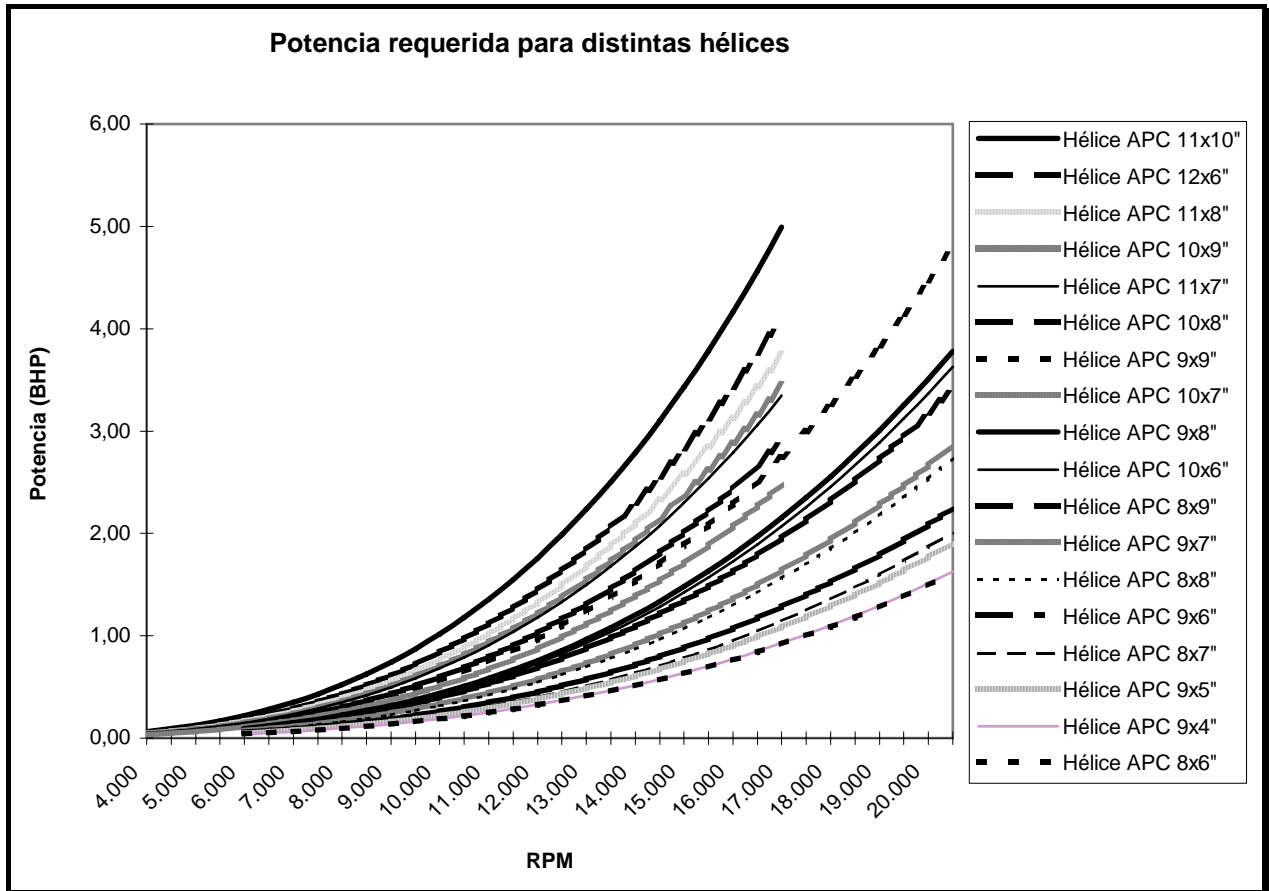


Figura 15

En la Figura 15 encontrará información sobre la potencia que se requiere para mover una serie de hélices a distintas RPM, estos datos complementan los expuestos en la Figura 14 de la página 33. Si la hélice que va a usar entra dentro de la gama expuesta en la Figura 15, conociendo la curva de potencia del motor y el punto donde le va a hacer trabajar (potencia máxima o par máximo), cruzando estos datos en la Figura 15 se tendrán una o varias hélices que permitirán al motor trabajar en los valores de potencia y RPM seleccionados, ahora debe ir a la Figura 14 para comprobar que el diámetro de la hélice no es excesivo para las RPM a las que la va a hacer trabajar, si se superan los 620 Km/h puede ser necesario repetir el proceso y seleccionar una hélice distinta.

Por supuesto, el proceso de selección de una hélice que se menciona arriba no es 100% exacto pero constituye una buena aproximación y punto de partida que simplificará grandemente el proceso de selección de la hélice.

En la Figura 17 puede encontrar la velocidad máxima a la que podrá volar el Aeromodelo, suponiendo un paso de hélice y RPM dadas (RPM en el suelo), Se ha supuesto un rendimiento de la hélice del 80%, así como un incremento de RPM en vuelo del 10%. Estos datos corroborarán el proceso de selección de hélice anterior, si la velocidad de vuelo no es la adecuada, aquél deberá volver a repetirse.

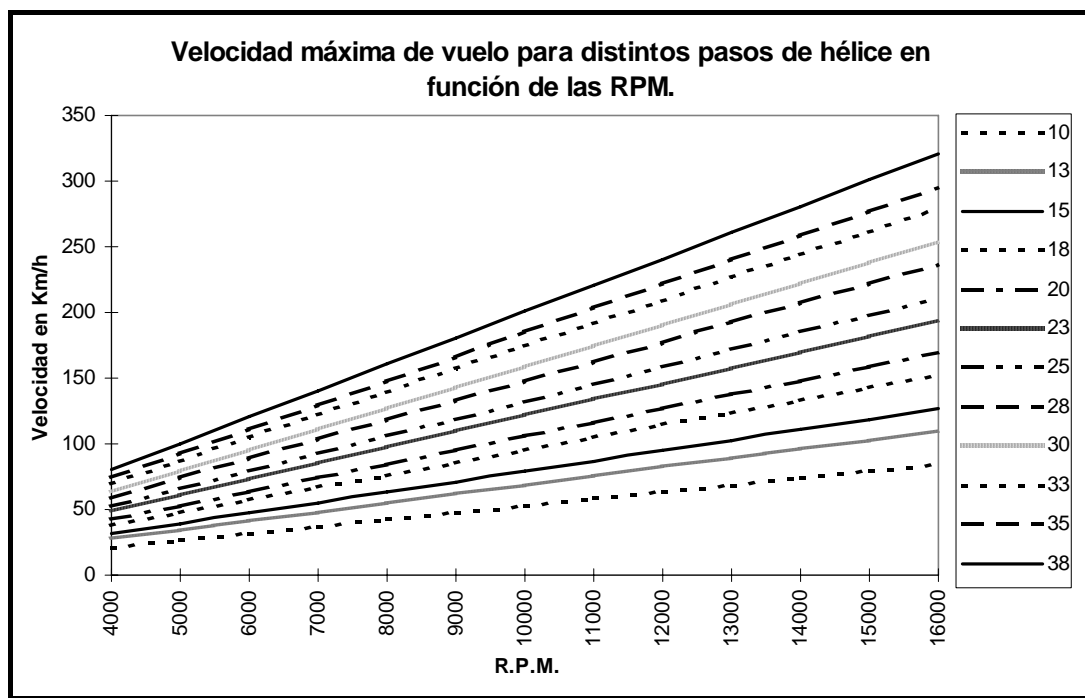


Figura 17

- Un medio obvio de reducir la velocidad de la punta de la pala consiste en reducir las RPM mientras se mantiene constante el diámetro de la hélice, la forma más fácil de conseguirlo es reduciendo la potencia entregada por el motor pero esto no será deseable en la mayoría de los casos.
- Otra forma es aumentando la carga que la hélice supone para el motor, el resultado por lo general es una pérdida de RPM, esto conlleva una pérdida de potencia a menos que se estuviese haciendo trabajar al motor por encima de su punto de máxima potencia. La carga puede ser incrementada de tres formas distintas:
 - a) Aumentando el número de palas
 Incrementar el número de palas de la hélice tiene como consecuencia un gran incremento en la carga que la hélice supone para el motor, es por ello que generalmente debe ser acompañada de una reducción en el diámetro de la misma.
 - ⇒ La ventaja de esta solución estriba en que se puede mantener el paso de hélice que tenía anteriormente y que mejor se adapte a las sus necesidades, igualmente al reducir el diámetro de la hélice ya no será en muchos casos necesario reducir las RPM, con lo que el motor permanece trabajando en el rango óptimo de RPM y la potencia entregada se mantiene al mismo nivel.
 - ⇒ La desventaja es que a mayor número de palas mayor también es la resistencia aerodinámica y además las turbulencias que genera cada pala influyen más en las otras debido a su mayor proximidad, todo esto resta eficiencia a la hélice, también la hélice pierde eficiencia al reducir su diámetro, por otro lado se incrementa el efecto giroscópico que produce la hélice ya que al aumentar el número de palas está también aumentando la masa total de la hélice, finalmente el precio de la hélice se incrementa a veces considerablemente y en el mercado no existe la suficiente variedad como para cubrir todas las aplicaciones. A pesar de estos inconvenientes, la solución del aumento del número de palas de la hélice es siempre una importante posibilidad a tener en cuenta.

En caso de optar por esta solución es aconsejable centrarse en las hélices tripalas, las cuatripalas presentan el efecto giroscópico, resistencia parásita e interferencias de una pala con las otras mucho más acentuados, aparte de que las hélices cuatripalas son de difícil localización, sumamente caras y de muy limitada variedad de tamaños.

b) Aumentando el paso de la hélice

Esta es la forma más rápida y sencilla de aumentar la carga que la hélice representa para el motor, a igualdad de diámetros, una hélice de mayor paso necesita un par motor más elevado para moverla a unas determinadas RPM.

⇒ La ventaja de esta solución se centra en que es barata y fácil de conseguir, en el mercado se pueden encontrar gran variedad de pasos diferentes para cada diámetro de hélice.

⇒ La desventaja es que obliga a utilizar un paso que no se adecua a su aplicación, la pérdida de RPM ocasiona una reducción en la potencia entregada por el motor. En ciertas aplicaciones, como la Acrobacia, resulta altamente contraproducente el incremento del paso de la hélice por el mero hecho de querer mantener la velocidad de la punta de la pala dentro de ciertos límites puesto que compromete las cualidades de trepada y aceleración del modelo, a la vez que reduce las propiedades de frenado del modelo que tiene la hélice durante los descensos, la única solución entonces es utilizar acrobáticos “balísticos” donde la pérdida de cualidades de la hélice se suple por un aumento de velocidad del modelo (gracias al diseño de modelos estilizados y con la mínima resistencia aerodinámica posible) y por consiguiente su inercia, lo que soluciona el problema de las subidas a la vertical pero empeora los descensos donde no es posible contener el incremento de velocidad y también se perjudica al vuelo nivelado que se realiza a mayor velocidad, lo que facilita que el modelo se salga de cuadro y se dificulte la realización de las maniobras ya que a mayor velocidad hay menos tiempo para realizar cada una de ellas y menos tiempo también de reacción en caso de errores.

c) Aumentando la superficie de la pala de la hélice.

Consiste en elegir hélices cuya pala sea más ancha, hay fabricantes que dan esta posibilidad y para cada hélice tienen 2 versiones, una de pala ancha y otra de pala estrecha, sin embargo, no tienen esta opción en toda la gama y solamente dos opciones pueden no ser suficientes en muchas aplicaciones.

⇒ La ventaja de esta solución es que puede utilizar el paso que mejor se adapte a las necesidades de la aplicación.

⇒ La desventaja es que, como en el caso del incremento de paso, se produce una reducción en la potencia entregada por el motor como consecuencia de la bajada de RPM, también resultará difícil conseguir la hélice con el ancho de pala que necesite y casi siempre será necesario que la construya usted mismo, un trabajo que parece mucho más difícil de lo que es en realidad, ya que con un poco de experiencia y las herramientas adecuadas no se tarda más de una hora en terminar completamente una hélice de madera.

Resumiendo, la mejor forma de reducir las RPM de un motor cuando desee mantener el diámetro de la hélice, para conseguir así una reducción del nivel sonoro, será emplear una hélice tripala aunque, dada la poca variedad existente y su mayor complejidad de construcción por el aficionado, la decisión puede decantarse hacia la bipala con pala más ancha. En cualquier caso siempre se deben experimentar las dos alternativas.

Ruido generado por el escape del motor

Si bien el ruido generado por el escape del motor no tiene una relación directa con la selección de la hélice más apropiada para el modelo, se incluye aquí dado que el sistema de escape que escoja tiene relación directa en la potencia entregada por el motor y, por consiguiente, está influyendo de modo indirecto en el tamaño de la hélice que el motor podrá mover.

Hoy en día no se concibe operar un motor sin colocarle un silenciador apropiado en el escape, a pesar de la mejora que se ha producido en los últimos años en la eficacia de los silenciadores, la mayoría tienen todavía bastante campo donde progresar, exceptuando honrosas excepciones de algunos fabricantes como Irvine que con sus modelos “Quiet” dan ejemplo del camino que todos los fabricantes deberían seguir.

La mayoría de los silenciadores reducen en un 20% o más la potencia entregada por el motor, esto se debe principalmente al reducido volumen que presentan para la expansión de los gases de escape, esta afirmación se corrobora por el hecho de que un resonador sin etapa silenciadora puede silenciar igual o mejor que la mayoría de los silenciadores estándar y además incrementa la potencia de un 15% a un 30%, si al resonador se le añade una etapa silenciadora (tan sólo hay que adquirir el modelo con esas características, son los denominados “muffled” o “quiet pipes”) no se observa una reducción significativa en las RPM pero sí una mejora en el nivel de ruido, esto es así por lo que anteriormente se comentó del elevado volumen interno del resonador.

Los resonadores deben ajustarse para que “sintonicen” con un punto de RPM para el cual se quiere aumentar la potencia, evidentemente será aquél en el cual se mueve la hélice que mejor se adecua al modelo, no sirve de nada un resonador sintonizado para 20000 RPM cuando se usa una hélice que el motor no puede mover a más de 8000 RPM por ejemplo, esta situación puede incluso dañar el motor a medio o largo plazo.

El efecto secundario que producen los resonadores es el de convertir la curva de potencia del motor en “picuda” con el pico centrado en las RPM a las que el resonador está sintonizado ya que el aumento de potencia sólo se produce en un rango de RPM más o menos estrecho según el diseño del resonador pero siempre centrado alrededor del punto de sintonía, esto perjudica a la flexibilidad del motor por cuanto se compromete la transición progresiva del régimen de RPM bajo al alto, llegando casi a desaparecer el medio régimen por el efecto de la resonancia que tiende a llevarlo al punto de RPM de sintonía, hay casos en los que el efecto es tan pronunciado que el motor parece que presenta una carburación todo o nada, resultando difícil mantenerlo en un régimen intermedio, de ahí que se comprometa la linealidad de funcionamiento del carburador y la flexibilidad del motor.

De lo dicho arriba se desprende que colocar un resonador con etapa silenciadora a un motor puede ser o no provechoso sólo dependiendo de la aplicación a la que éste va destinado. En aquellos casos donde la citada pérdida de flexibilidad no tiene importancia y además se busca la máxima potencia por encima de todo, está claro que hay que utilizar un resonador, este es el caso de los modelos de carreras y velocidad, en otros casos como la acrobacia o el vuelo de sport hay que considerar seriamente los pros y los contras del uso del resonador puesto que en estas aplicaciones es de gran importancia una curva de potencia lo más plana posible, es por ello que yo particularmente recomiendo para esas aplicaciones la adquisición de un motor de mayor cilindrada si es que se requiere mayor potencia, ya que la ganancia de potencia que otorga un resonador no puede conseguirse por el trucaje del motor, y acoplarle un silenciador de volumen dos o tres veces mayor al silenciador estándar, esto significa que tendrá que construirlo usted mismo en la mayor parte de los casos debido a la poca variedad que se puede encontrar en el mercado.

Concluyendo, el escape estándar resta potencia al motor, hay que sustituirlo por un resonador con etapa silenciadora (si sus inconvenientes no son un problema para la aplicación) o bien por un silenciador de mayor volumen, ambas soluciones rebajan el nivel sonoro del escape. A continuación se detallan las fórmulas para poder construir usted mismo un silenciador efectivo y que no reste potencia al motor.

Tipos de silenciadores

- De absorción, se hacen pasar los gases de escape a través de una cámara que contiene lana de fibra de vidrio o de acero u otro material similar, la energía del sonido es mecánicamente absorbida y disipada en la lana. Este tipo de silenciador no es apropiado para los motores de modelismo a bujía de incandescencia porque se obstruye rápidamente como consecuencia del alto contenido en aceite de los gases de escape, sí puede sin embargo ser empleado en motores a bujía de chispa, pues en ellos el contenido de aceite en la mezcla de combustible es muy bajo.

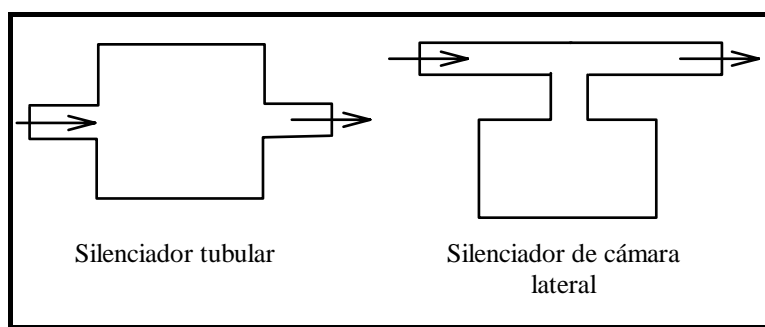


Figura 18

- De reacción, consiste en una combinación de cámaras, unidas por tubos, de determinado volumen y longitud de acuerdo a la frecuencia de trabajo, las ondas sonoras se reflejan múltiples veces en el interior de las cámaras y así se consume su energía.

Este silenciador puede ser de dos clases, tubular y de cámara lateral, ver Figura 18, el primero ofrece mejores prestaciones pues amortigua todas las frecuencias sonoras a excepción de la fundamental y aquellas cuya longitud de onda es múltiplo de la longitud del tubo, mientras que el silenciador de cámara lateral tan sólo amortigua las frecuencias sonoras correspondientes a su fundamental y aquellas cuya longitud de onda es múltiplo de la longitud de la cámara (justo el efecto opuesto al tubular). Por tanto, en adelante nos centraremos en el tipo tubular.

Silenciadores tubulares, cómo diseñarlos

Este tipo de silenciador posee una frecuencia de resonancia (F_0) o fundamental, que no es amortiguada, y amortigua 12dB cada vez que se dobla la frecuencia (una octava) por encima de F_0 . Todas las cámaras y tubos experimentan ondas estacionarias para las frecuencias en que la longitud física de la cámara o tubo es un número entero de la longitud de onda de esa frecuencia, dividida por 2ⁿ. La Fórmula 6 y la Fórmula 7 dan: la primera las longitudes de resonancia para una frecuencia determinada, para la longitud de onda completa y sus submúltiplos, la segunda las frecuencias de resonancia para una longitud determinada.

Fórmula 6

$$L = \frac{508000}{F \cdot 2^n}$$

Fórmula 7

$$F = \frac{508000}{L \cdot 2^n}$$

Donde L viene expresado en mm y F es la frecuencia de la onda sonora en Hz.

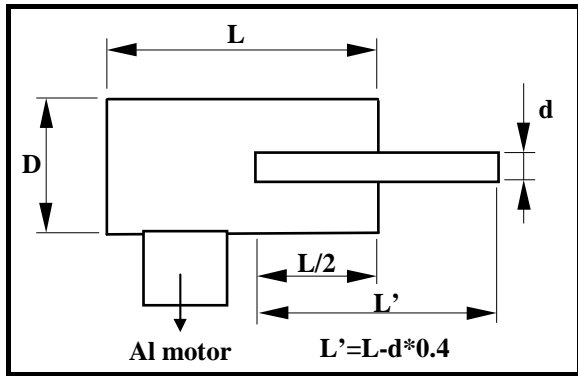


Figura 19

De lo dicho se puede deducir que, tanto la cámara de expansión del silenciador como el tubo de salida de gases deben ser de igual longitud, de forma que ambos tengan la misma banda de paso. Para ser exactos, la longitud acústica del tubo interno debe ser reducida en 0.4 veces su diámetro interior (ver Figura 19).

Si se coloca el tubo de salida introducido justo hasta el centro de la cámara de expansión, las bandas de paso de media longitud de onda se cancelan, el resultado es que tan sólo se permite el paso de longitudes de onda completas y se mejora grandemente el rendimiento del silenciador. Es como un instrumento musical pero a la inversa, por lo tanto el silenciador debe ser construido con precisión.

El primer paso en el diseño del silenciador será la selección del diámetro y longitud de la cámara de expansión. En general son preferibles cámaras cortas y anchas, de modo que la primera banda pasante se produzca a alta frecuencia, pero el silenciador debe ser también aerodinámico.

Otro factor a tener en cuenta es el volumen interno de la cámara de expansión, debe ser al menos 10 veces la cilindrada del motor para un régimen de RPM inferior a 12000, si el motor va a girar a regímenes superiores será necesario utilizar un volumen más grande. La Fórmula 8 le permitirá calcular el volumen mínimo necesario para la cámara de expansión del silenciador:

Fórmula 8

$$V = \frac{RPM \cdot v}{1200}$$

Donde V es el volumen de la cámara de expansión en cm^3 , RPM son las revoluciones por minuto del motor a máximo régimen y v es la cilindrada del motor en cm^3 .

Se recuerda que la fórmula para el cálculo del volumen de un cilindro es:

Fórmula 9

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Donde V es el volumen en cm^3 , r es el radio de la base en cm y h es la altura en cm.

Lo ideal es que la primera onda estacionaria se forme a frecuencia superior a 5000 Hz, esto significa que el silenciador amortiguará las frecuencias por debajo y por encima de 5000 Hz, o sea las más molestas para el oído humano. De la aplicación de la Fórmula 6 indicada más arriba se deduce que la longitud de la cámara de expansión no debería sobrepasar los 10 cm, y mejor si es más corta. Partiendo de la longitud será fácil calcular el diámetro de la cámara de expansión por la simple aplicación de la Fórmula 10:

Fórmula 10

$$D = \sqrt{\frac{RPM \cdot v}{300 \cdot \pi \cdot L}}$$

Donde D es el diámetro de la cámara de expansión en cm, RPM son las revoluciones por minuto del motor al régimen máximo, v el cubicaje del motor en cm^3 y L la longitud en cm elegida para la cámara de expansión.

O bien, si parte de un diámetro fijado por cuestiones de aerodinámica o simplemente porque va a intentar utilizar un tubo de unas dimensiones determinadas, con la Fórmula 11 podrá calcular la longitud de la cámara de expansión:

Fórmula 11

$$L = \frac{RPM \cdot v}{300 \cdot \pi \cdot D^2}$$

Donde D es el diámetro de la cámara de expansión en cm, RPM son las revoluciones por minuto del motor al régimen máximo, v el cubicaje del motor en cm^3 y L la longitud en cm elegida para la cámara de expansión

Las dimensiones que obtenga de la Fórmula 10 ó de la Fórmula 11, según si parte de una longitud o diámetro predeterminados para la cámara de expansión, son mínimas, pueden ser incrementados si desea mejorar el rendimiento del silenciador pero debe tener en cuenta las recomendaciones que se derivan de la aplicación de la Fórmula 6 — debe procurar que la longitud de la cámara de expansión no exceda de 10 cm — como se indicó anteriormente.

Un elemento importante es el tubo de salida de gases, su diámetro interior define la presión de gases que se mantiene en el interior de la cámara de expansión (es importante si se va a utilizar la presión del silenciador para la alimentación de combustible del motor) y, si es excesivamente grande, aparte de reducir la presión de gases en la cámara de expansión, hará perder eficiencia al silenciador. Se calcula de modo aproximado con la Fórmula 12:

Fórmula 12

$$d = \sqrt{\frac{v \cdot RPM}{1627,8}}$$

Donde d es el diámetro interno del tubo en mm y v es la cilindrada del motor en cm^3 .

Se puede conocer ahora el rendimiento del silenciador mediante el cálculo de su frecuencia de resonancia fundamental, F_0 :

Fórmula 13

$$F_0 = \frac{a}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{A}{V \cdot L}}$$

Simplificando,

Fórmula 14

$$F_0 = 8085 \cdot \sqrt{\frac{A}{V \cdot L}}$$

Donde F_0 viene dada en Hz, a es la velocidad del sonido en los gases de escape calientes (unos 50800 cm/s), A es la superficie de la sección transversal de la cámara de expansión del silenciador en cm^2 , V es el volumen de la cámara de expansión en cm^3 y L es la longitud de la cámara de expansión en cm.

Las frecuencias a las que se producirán ondas estacionarias, las cuales no serán amortiguadas por el silenciador, son aquellas cuya longitud de onda coincida con múltiplos enteros de la longitud de la cámara de expansión del silenciador. Se calculan por medio de la Fórmula 15:

Fórmula 15

$$F = \frac{n \cdot a}{L} = \frac{n \cdot 50800}{L}$$

Donde F viene dada en Hz, n es un número entero mayor que cero, a es la velocidad del sonido en los gases de escape calientes (unos 50800 cm/s) y L es la longitud de la cámara de expansión en cm.

Por ejemplo, para la primera onda estacionaria n valdrá 1, para una longitud hipotética de la cámara de expansión de 10 cm, sustituyendo en la fórmula se tendrá que la primera onda estacionaria se produce a la frecuencia de 5080 Hz (como se dijo más arriba, la longitud máxima práctica para la cámara de expansión no debe superar los 10 cm, ya que a mayor longitud de esta cámara, la frecuencia de la primera onda estacionaria será menor y se situará dentro del rango de frecuencias más molestas para el oído humano, de 1000 a 5000 Hz.).

El tubo que conecta el escape del motor con la cámara de expansión puede ser colocado en cualquier posición en dicha cámara. Su sección transversal será de un 20 a un 50% mayor que la superficie de la lumbrera de escape del motor. Este tubo, dada su longitud, restará algo de potencia al motor, sin embargo, más adelante se verá cómo calcular su longitud de modo que se obtenga un efecto resonante en él y se anule esa pérdida de potencia. Es importante, de cara a minimizar las pérdidas de potencia debidas a este conducto, evitar dobleces agudos en el mismo.

Cómo mejorar un silenciador estándar

Lo que se ha explicado hasta ahora es suficiente para poderlo aplicar a un silenciador estándar de cualquier motor y obtener una buena mejora en su rendimiento, lo único que hay que hacer es calcular el diámetro idóneo para el tubo de escape, mediante la aplicación de la Fórmula 12 (la longitud de dicho tubo como ya se sabe no debe superar los 10 cm y para su cálculo se usará la fórmula que se puede ver en la Figura 19), y taladrar la salida del escape (si es necesario) para fijar el nuevo tubo (introducido justo hasta su mitad) que se pegará con epoxi de alta temperatura o mejor adhesivo para reparación de tubos de escape.

Esta es posiblemente la única modificación necesaria para rebajar a límites aceptables el nivel de ruido de motores con cilindrada por debajo de los 7 cc.

Mayor reducción del nivel de ruido

Si se necesita una mayor reducción en el nivel de ruido que la que puede conseguirse con el silenciador de una sola cámara de expansión, se puede añadir una segunda cámara, esto será casi imprescindible en motores cuya cilindrada sobrepase los 7 cc.

Si se realiza la citada segunda cámara con la longitud calculada por la Fórmula 16, pero manteniendo su diámetro, se conseguirá un efecto de solape, donde la segunda cámara amortiguará aquellas frecuencias que no lo sean por la primera. Se logrará

Fórmula 16

$$L' = \frac{2}{3} L$$

entonces una reducción del nivel sonoro en todo el rango de frecuencias, se pueden conseguir reducciones del

orden de 30 dB respecto al nivel de ruido del escape libre. Se puede ver un

ejemplo de un silenciador de doble cámara de expansión en la Figura 20, para el cálculo del diámetro interior de los tubos de salida de las dos cámaras, así como su longitud, hay que hacer referencia a la Figura 19 y a la Fórmula 12.

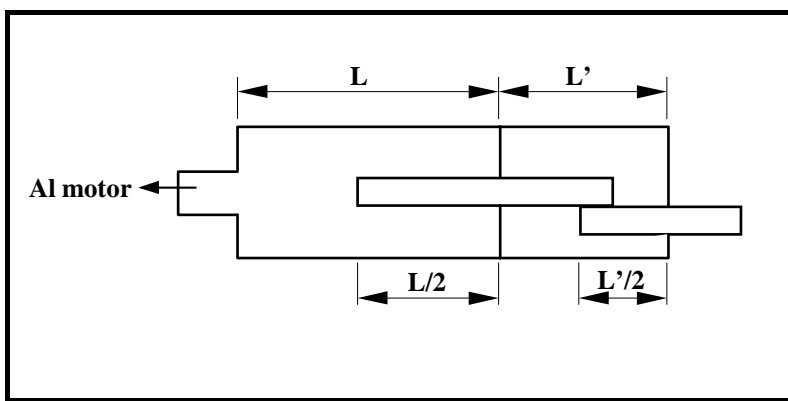


Figura 20

Técnicas de construcción de silenciadores

Los materiales base para la construcción de silenciadores son los siguientes:

- Chapa de hierro de 3 mm de espesor, se utiliza para el codo de acoplamiento entre motor y silenciador.
- Chapa de hierro de 0.3 mm de espesor, servirá para la construcción de las cámaras de expansión del silenciador, así como de los tubos necesarios si no se encuentran en el comercio de la medida adecuada.
- Tubo de hierro, latón o cobre (el hierro es mejor por ser más resistente y pesar menos), de los diámetros necesarios.
- Varilla de soldadura de plata.
- Fundente para la soldadura de plata.

Las herramientas necesarias son las siguientes:

- Corta-tubos.
- Martillo.
- Lima para metales.
- Yunque de acero.
- Equipo de soldadura autógena o, en su defecto, una buena pistola de soldar a gas butano.
- Ladrillos refractarios.

Procedimiento a seguir:

1. Corte la chapa de hierro de 3 mm de espesor de modo que quede bien adaptada a la ventana de escape del motor, puede ser de ayuda un tampón de tinta en el que mojar la ventana de escape del motor para luego dejar su huella impresa sobre un papel blanco y realizar así una plantilla con la forma exacta.
Para la realización de la ventana en esta chapa de hierro, se recomienda la realización de una serie de taladros tangentes para luego terminar a base de lima.
2. Adapte el codo de cobre a la chapa que se acaba de realizar, se precisará de un martillo, lima y yunque.
3. Lije o lime bien las superficies a ser soldadas, de otro modo la soldadura será defectuosa.
4. Suelde el codo y la chapa, los ladrillos refractarios son imprescindibles como superficie de trabajo para esta operación. La técnica consiste en calentar la varilla de plata y sumergirla en el fundente, si la temperatura era suficiente se recubrirá de una capa de fundente. Caliente ahora al rojo las piezas a ser soldadas y aplique la varilla de plata a la junta a soldar, la varilla se fundirá y la plata fluirá a lo largo de la junta, la plata debe formar un menisco en la unión de ambas piezas, si se queda corto de plata no se apreciará el menisco, si se excede quedarán acumulaciones de plata o grumos que sólo sirven como peso inútil.
Si una vez frías las piezas se observa un defecto en la soldadura, será necesario lijar de nuevo las superficies a soldar antes de proceder a su retoque, las altas temperaturas oxidan las piezas con rapidez y el óxido impide que pegue la soldadura.
5. Elimine los restos de fundente simplemente lavando las piezas con agua caliente.
6. Puede dar un mejor aspecto a las piezas soldadas si las pinta con pintura para tubos de escape de coche, o bien las cepilla con un cepillo redondo de cerdas de acero y el taladro.
7. La soldadura y terminación de las piezas que constituyen el silenciador se realiza del mismo modo ya descrito para la construcción del codo de escape.

Cómo evitar las pérdidas de potencia debidas al silenciador

El silenciador se completa con el codo de acoplamiento con el motor y el tubo de unión de dicho codo con el propio silenciador. Como se dijo anteriormente, es importante que el conducto que une el motor con el silenciador no presente dobleces agudos, asimismo su área transversal debe ser entre un 20 y un 50% mayor que la superficie de la lumbrera de escape del motor. Se dijo también más arriba que tanto los tubos como las cámaras pueden entrar en resonancia a ciertas frecuencias sonoras, si se aprovecha este efecto y se coloca un tubo de la longitud apropiada de modo que entre en resonancia cuando el motor trabaje al máximo régimen, se minimizarán las pérdidas de potencia e incluso se conseguirá una ganancia.

Sin entrar en detalles acerca de la teoría de los resonadores, y suponiendo una velocidad de transmisión del sonido en los gases de escape calientes de 50800 cm/s, la Fórmula 17 le proporcionará la longitud L en mm a la que debe colocar el silenciador respecto del motor. Esta longitud se refiere a la del conducto que une el motor con el silenciador, medida desde la falda del pistón en la lumbrera de escape y hasta la pared de salida del silenciador (o la pared de separación en los silenciadores de doble cámara).

Fórmula 17

$$L = \frac{127000}{3} \cdot \frac{E + A}{RPM \cdot n}$$

Donde L es la longitud en mm del conducto de unión entre el motor y el silenciador, E son los grados del periodo de apertura del escape, A son los grados del periodo de apertura de la admisión, RPM son las revoluciones por minuto y n es el factor de longitud de onda del resonador, para $n=2$ la resonancia es de media longitud de onda, para $n=4$ la resonancia es de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda.

Por razones de rendimiento, generalmente se elige la resonancia en $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, longitudes de onda mayores tienen como consecuencia una mayor longitud del conducto que une el motor con el silenciador y eso significa pérdidas de potencia por el rozamiento de los gases con las paredes del conducto. Si la resonancia en $\frac{1}{4}$ de longitud de onda no es adecuada para su modelo debido a que el silenciador queda demasiado alejado del motor, puede optar por una longitud mitad ($\frac{1}{8}$ de longitud de onda), el ajuste fino de la longitud se vuelve entonces un poco más crítico.

Hay que hacer notar que la longitud del conducto de unión entre codo y silenciador mencionada más arriba es sólo aproximada, la longitud exacta se debe hallar por la práctica, se irá al campo de vuelo provisto de tacómetro, corta-tubos y lima para metales y se verificará la corrección de la longitud mediante pruebas prácticas de vuelo con distintas longitudes del tubo.

Un tubo con la longitud adecuada hará aumentar la potencia al motor en las trepadas a la vertical mientras que en los descensos el motor girará algo irregularmente y lo hará perfectamente regular en vuelo horizontal. Si la longitud del conducto es demasiado larga el motor no funcionará nunca de modo regular y no se detectarán incrementos de potencia en subidas o descensos. Si la longitud del conducto es demasiado corta se conseguirán altas RPM en estático, pero el motor trabajará a mayor temperatura y quemará bujías en vuelo, si es todavía más corto se podrá observar que la potencia aumenta al hacer un picado (al aumentar las RPM debido al descenso se produce la entrada en resonancia del tubo).

Las uniones del codo de acoplamiento con el motor, el tubo y el silenciador, se realizarán con tubo de silicona, estas secciones no deben tocarse para evitar que entre ellas se transmitan vibraciones, pero el espacio entre las secciones será el mínimo posible para evitar que el sonido escape.

Ruido generado por el venturi

El incremento de velocidad a que es sometido el aire al ser succionado por el venturi del carburador produce ruido. En pocos casos se trabaja en rebajarlo puesto que es mucho menor que los anteriormente mencionados, en cualquier caso es interesante saber que se han realizado experimentos al respecto y es posible reducirlo recubriendo el carburador con una caja que incorpora un filtro de gomaespuma, la gomaespuma hace de filtro de aire y a la vez de amortiguador para el ruido generado por el venturi.

Resonancia de la estructura del Aeromodelo

Las vibraciones que produce el motor se transmiten a la estructura del Aeromodelo produciendo un efecto de resonancia que amplifica el ruido, podría denominarse "efecto tambor".

Poco se puede hacer por reducir las vibraciones del motor, salvo asegurarse de que la hélice y el cono empleados están correctamente equilibrados para que estos elementos no generen vibraciones adicionales.

La solución que permitirá paliar este problema será la incorporación de amortiguadores de vibraciones entre la cuaderna parallamas y el motor. Comercialmente se pueden encontrar de diversos diseños, pero por su efectividad y relativamente bajo precio, para motores de 10 a 50 cc pueden utilizarse los “silent-blocks” de motosierra. Se trata de unos cilindros cortos de goma negra que llevan embutidos o bien una tuerca en cada extremo o un par de tornillos, según el modelo que adquiera.

Ruido producido por el soplo contra superficies

Cuando una superficie no tiene una buena forma aerodinámica, el soplo del viento contra ella generará turbulencias, las cuales a su vez son fuente de ruido.

Se puede distinguir entre el ruido generado por superficies alejadas del soplo del motor y superficies cercanas al mismo.

Sobre las primeras (tren de aterrizaje, bordes marginales, acordes de ala, estabilizador y deriva con el fuselaje, etc.) no merece la pena hablar dado que el volumen sonoro es bajo y, además, puede fácilmente apreciarse si se para el motor en vuelo y hace al modelo dar una pasada a velocidad de crucero (descenso en picado a un ángulo de unos 30°) cerca de usted.

El ruido generado por superficies cercanas al motor tiene mayor importancia, esto es así porque el aire expulsado por el motor se ve comprimido por las superficies adyacentes (frente de la carena) y en esos puntos presenta su mayor velocidad (que siempre es mayor a la velocidad de vuelo del modelo, a menos que éste entre en un picado con el motor a ralentí).

Para reducir en lo posible el ruido producido por el soplo contra superficies se puede hacer lo siguiente:

1. Carenar siempre el motor, así se evitan las grandes turbulencias que se generan entre motor y cuaderna parallamas.
2. Procurar que las entradas de aire en la carena para la refrigeración del motor no presenten bordes afilados, se evita así que produzcan un efecto de silbato o sirena.
3. Procurar que el carburador y otros elementos que sobresalgan del fuselaje estén lo más alejados posible de la hélice, para ello en muchos casos no hay más remedio que utilizar un prolongador de cigüeñal, el cual además permitirá dar una forma más estilizada al morro del modelo.

El resonador

Cómo diseñar un resonador

Las fórmulas que se incluyen más adelante le permitirán realizar los cálculos de sus propios resonadores, como verá algunos parámetros no son fijos y se acepta un valor comprendido entre el rango indicado en la fórmula, esto se debe a que el cálculo de un resonador es tan complejo que no puede ser reducido a unas simples fórmulas, debiendo por tanto ser verificado en la práctica.

Durante el diseño también debe tener en cuenta la aplicación a que va a destinarse el motor, por ejemplo en aplicaciones de velocidad se buscará un resonador altamente sintonizado al objeto de conseguir la máxima potencia, con la desventaja, en este caso poco importante, de que el gran efecto de resonancia prácticamente elimina el régimen medio del motor y hace también más crítica la carburación, sin embargo en otras aplicaciones (acrobacia R/C por ejemplo) será más interesante buscar menor incremento de potencia porque se mantendrá una curva de potencia del motor más plana y eso significa un motor más flexible y de más fácil carburación, con una buena transición y posibilidad de trabajo a regímenes medios de potencia.

Cuando le sea posible encontrar un resonador apropiado para su motor y a un precio razonable, lo que será la mayor parte de las veces, sin duda cómprelo. No merece la pena el gasto de tiempo que debe dedicar al diseño, construcción y prueba de un resonador, sabiendo que quizá necesite construir varios para encontrar el que se ajuste a sus necesidades, si en el mercado puede encontrar lo que necesita.

Incluso si adquiere su resonador en el mercado, la Fórmula 23 le servirá para calcular la distancia a la que debe colocarlo del motor para que trabaje eficazmente, recuerde que esta medida depende directamente de las RPM y por ejemplo en un avión las RPM dependen a su vez de la hélice y combustible que se empleen, un cambio en uno de los dos significa que el resonador debe volver a ser ajustado.

Fórmula 18

$$D_e = \sqrt{\frac{4 \cdot A_e}{\pi}}$$

Fórmula 19

$$D_1 = 1.15 \dots 1.27 \cdot D_e$$

Fórmula 20

$$D_2 = 2.0 \dots 3.0 \cdot D_e$$

Fórmula 21

$$D_3 = 0.58 \dots 0.75 \cdot D_e$$

Fórmula 22

$$L_1 = 6 \dots 10 \cdot D_1$$

Fórmula 23

$$L_2 = \frac{\alpha \cdot (\varphi_e + \varphi_t)}{24 \cdot RPM}$$

Fórmula 24

$$L_3 = 8 \dots 12 \cdot D_3$$

Donde:

- A_e = Área de la lumbrera de escape, en mm².
- D_e = Diámetro equivalente de la lumbrera de escape, en mm² (círculo de igual superficie que la lumbrera).
- φ_e = Tiempo de apertura de la lumbrera de escape, en grados.
- φ_t = Tiempo de apertura de las lumbreras de transferencia, en grados.
- RPM = Revoluciones por minuto para las que el resonador debe actuar.
- α = Velocidad del sonido, en m/s, (de 500 a 600 m/s).
- D_1 = Diámetro del tubo de entrada, en mm.
- D_2 = Diámetro máximo del resonador, en mm, mayor diámetro implica también un resonador con mayor grado de sintonía, producirá mayor potencia pero la curva de potencia será más picuda y la carburación del motor más crítica.
- D_3 = Diámetro del tubo de salida, en mm.
- L_1 = Longitud del tubo de entrada, en mm.
- L_2 = Longitud desde la lumbrera de escape del motor hasta el centro del cono de reflexión, en mm.
- L_3 = Longitud del tubo de salida, en mm.

Selección de la bujía de incandescencia

Lo mejor es tomar como punto de partida la recomendación del fabricante del motor. En lo que se dice a continuación se asume que la bujía es nueva o está en buenas condiciones, véase también la información sobre el mantenimiento de la bujía en la página 48.

Partes de que consta la bujía

La bujía se compone de tres partes, el cuerpo, el contacto central y el filamento. El cuerpo va eléctricamente aislado del contacto central y el filamento va unido por cada extremo a las dos piezas citadas.

El material de que se compone el cuerpo es generalmente hierro, a veces puede ser de latón. El contacto central suele estar fabricado en latón o hierro y niquelado.

El filamento se compone de una aleación con base de platino, que actúa como catalizador para producir la combustión de la mezcla gaseosa, rodio (metal que funde a 2000 °C) e iridio (muy resistente a los agentes químicos que lleva el combustible de estos motores y que funde a 2400 °C). Tanto el rodio como el iridio aumentan la resistencia del filamento y hacen que éste pueda aguantar las altas temperaturas que se generan en el interior de la culata durante la combustión de los gases.

Proceso de selección

Si el motor se para o baja de RPM radicalmente al desconectar la alimentación de la bujía, o bien el ralentí es difícil de mantener estabilizado en un cierto régimen, o bien el motor se para cuando lo acelera partiendo de un ralentí correcto, todo esto son indicios de que la bujía es demasiado fría para su motor. Se debe colocar al motor la siguiente bujía más caliente en la escala térmica o bien probar una bujía con barra.

Si el motor produce un ruido de repiqueteo al máximo de RPM, petardea mucho o afloja hélices de vez en cuando, es probable que el grado térmico de la bujía sea demasiado caliente. Estos síntomas pueden también indicar que el punto de encendido está demasiado adelantado como consecuencia de que la bujía está demasiado introducida en la cámara de combustión. Antes de cambiar la bujía pruebe a colocarle dos arandelas en lugar de una, esto aleja el filamento de la cámara de combustión y produce un ligero retardo en el encendido. Si el problema todavía persiste se deberá colocar la siguiente bujía más fría en la escala térmica.

Si se incrementa significativamente el contenido de nitrometano del combustible, se debe también colocar una bujía más fría al motor.

Los cambios de bujía que se realicen serán generalmente recompensados por un ligero incremento de RPM una vez que se encuentre la adecuada, por ello se deben anotar las RPM máximas conseguidas con la bujía inicial y comparar con las que sucesivamente se vayan probando. Si se encuentra el citado incremento de RPM se estará seguro de que la bujía que se utiliza es la adecuada.

Ajuste de la Carburación

El carburador tiene como función regular la mezcla apropiada de aire / combustible. Cuando el flujo de ambos elementos es regular y estable y su proporción es la adecuada, la carburación es perfecta y el motor trabajará de modo óptimo.

Este equilibrio se ve alterado por un cambio de régimen de RPM, el carburador debe también ser capaz de gestionar la perfecta combinación aire / combustible a todos los regímenes del motor, o por las condiciones ambientales tales como presión, temperatura y humedad.

Requerimientos de combustible – aire en un motor de alto rendimiento (el combustible es gasolina):

Condición de funcionamiento	Relación de mezcla (en peso) Combustible : Aire
Arranque	1:1-3
Ralentí	1:6-10
Funcionamiento a baja velocidad	1:10-13
Funcionamiento normal con carga baja	1:14-16
Funcionamiento con carga alta	1:12-14

Si se conoce la relación combustible-aire cuando el motor trabaja a la máxima potencia (1:12.5 cuando el combustible es gasolina, 1:5.5 para el metanol), calculando cuánto aire consume el motor se podrá deducir el consumo teórico de combustible trabajando el motor a la máxima potencia. La fórmula que puede usarse para hallar el consumo de aire, en Kg/h es:

$$1.99 \cdot \frac{D}{32.8} \cdot \frac{RPM}{1728} \cdot \frac{EV}{100}$$

Donde D es la cilindrada del motor en cc, RPM son las revoluciones por minuto y EV es la eficiencia volumétrica.

A las revoluciones de máximo par, la eficiencia volumétrica (EV) debería ser entre un 90 y un 100% para un motor de alto rendimiento, este valor caerá, respecto a la curva de par del motor, a mayores y menores RPM. Si un motor produce un par máximo de 3 Nw*m a 7500 RPM y 2.5 Nw*m a 8500 RPM (revoluciones a las que entrega la potencia máxima), si la EV a 7500 RPM es, digamos, del 95%, la EV a 8500 RPM será:

$$\frac{2.5}{3} \cdot 95 = 79.17\%$$

Resulta obvio que cuando el motor trabaja a sus RPM de máxima potencia es cuando pasa a través de él la mayor cantidad de aire, luego hay que calcular el flujo de aire a este régimen de giro.

Para hallar el consumo teórico de combustible (Kg/h), multiplique el flujo de aire por la relación combustible – aire. Si la relación es 1:12.5 (gasolina), multiplique por 0.08, si la relación es 1:5.5 (metanol), multiplique por 0.18. La gasolina pesa 0.899 Kg. por litro, luego para encontrar el consumo de combustible teórico, en litros por hora, debe dividir el resultado anterior por 0.899 (0.959 para el metanol).

Si tiene usted la curiosidad de realizar las operaciones matemáticas anteriores, suponiendo que el motor tiene una cilindrada de 23 cc, obtendrá como resultado un consumo teórico a potencia máxima de 0.48 l/h si se usa gasolina, o bien 1.02 l/h si se usa metanol.

Humedad, un aditivo natural que incrementa el octanaje

El incremento en la humedad relativa del aire no sólo trae como consecuencia que en un determinado volumen de aire disminuye la cantidad de átomos de oxígeno, sino que también habrá un número mayor de moléculas de agua que se interponen entre las moléculas de oxígeno y del combustible. El efecto es que se incrementa el espacio entre estas últimas moléculas, reduciéndose la velocidad de propagación de la llama en la cámara de combustión ya que las moléculas de agua no contribuyen a la combustión.

En consecuencia, el agua suprime la combustión violenta, denominada detonación, tal y como un aditivo para incrementar el octanaje lo haría por medios químicos.

Un incremento en la humedad relativa podrá compensar a veces por un incremento en la temperatura del aire, la cual demanda típicamente un incremento de 1 octano por cada 13°C que aumente la temperatura del aire.

A la inversa, un gran descenso en la humedad relativa y un incremento en la temperatura del aire podría perjudicar seriamente al motor, debido a la detonación, a no ser que se incremente el octanaje del combustible, se retrase el encendido (bujía más fría en un motor a bujía de incandescencia) o bien se enriquezca la mezcla combustible – aire.

Un incremento de 25 mm de mercurio en la presión barométrica pide un incremento de un octano en el combustible, lo que alternativamente puede compensarse mediante el enriquecimiento de la mezcla o retrasando el encendido. Sin embargo si simultáneamente se produce una subida de la humedad relativa, se necesitará una menor compensación.

La humedad relativa del aire se puede determinar midiendo la temperatura con dos termómetros, uno de ellos estará seco y el otro tendrá el elemento sensible recubierto con un paño de algodón empapado en agua. Cuando ambos termómetros marquen la misma temperatura, la humedad relativa será del 100%. La tabla siguiente ilustra el cálculo de la humedad relativa en función de la temperatura que marcan los citados termómetros.

Porcentaje de humedad relativa

Termómetro seco, °C	Diferencia con termómetro húmedo, °C					
	-1	-3	-5	-8	-12	-18
5	86	58	35			
15	90	71	52	30		
25	92	77	64	45	22	
35	94	80	70	55	37	15

Usted sabrá probablemente que el aire es menos denso a 1500 metros de altitud que al nivel del mar, pero quizás no sabía que las condiciones atmosféricas pueden hacer que la densidad del aire a nivel del mar sea aproximadamente la misma que a 1500 metros de altitud.

Tanto la humedad como la temperatura y la presión atmosférica afectan a la densidad del aire, de esto se deduce que la relación combustible – aire que alimenta el motor variará de hora en hora según cambian los citados parámetros, modificando por consiguiente la potencia máxima entregada por el motor. En condiciones normales, este cambio de la densidad del aire no tiene un efecto significativo, a menos que el motor se utilice en una modalidad de competición donde la potencia máxima prime sobre cualquier otro factor, en este caso la densidad del aire debe ser tenida en cuenta.

Cuando baja la densidad del aire, se reduce la cantidad de oxígeno que entra al cilindro y la mezcla se hace más rica. A la inversa, el aumento de la densidad del aire tiene como consecuencia el empobrecimiento de la mezcla combustible – aire. Para compensar este efecto de enriquecimiento o empobrecimiento, será necesario reajustar la aguja de alta (abrirla para una mayor densidad del aire, cerrarla en caso contrario), en casos extremos puede ser necesario reajustar también la aguja de baja. Normalmente, un cambio en la densidad del aire, que obligue a reajustar el carburador, no se produce en un mismo día, de un día para otro es sin embargo importante proceder a un reajuste de la aguja de alta en el primer arranque del motor, tanto más si la especialidad a la que se destina el motor es sensible a la parada del mismo, por ejemplo aviones de R/C, donde una parada de motor puede significar el fin del avión.

Reglaje de la aguja de alta

En tierra, la aguja de alta hay que regularla para una mezcla ligeramente rica. Esto es así porque en vuelo el motor trabaja más suelto e incrementa ligeramente sus RPM, necesitando, por tanto, algo más de combustible.

Si se emplea un tacómetro, se regulará la aguja de alta hasta conseguir el máximo de RPM, entonces se abre muy despacio hasta que, sin que se note un cambio en el sonido del motor, aquel baje unas 300 RPM para un motor trabajando a unas 13000 RPM, ó 150 RPM para un motor trabajando a 8000 RPM.

Si no se utiliza tacómetro, después de regular la aguja de alta para conseguir el máximo de RPM, se abrirá muy despacio hasta el punto donde se empieza a notar un cambio en el sonido del motor, parando justo antes de dicho punto.

Una vez regulada la aguja de alta, se pondrá el modelo en posición vertical (motor mirando hacia el cielo), el motor no debe perder RPM sino ganar las que antes le había quitado, en este caso el ajuste es correcto. Si el motor pierde RPM se abrirá ligeramente la aguja de alta hasta el punto donde sea capaz de mantener el régimen.

Reglaje de la aguja de baja

Existen dos tipos básicos de carburador según la regulación de baja que incorporan, el más moderno es el de aguja de baja, el diseño antiguo que hoy día prácticamente no se usa utiliza un tornillo para regular la mayor o menor apertura de un orificio de entrada de aire auxiliar, no se hablará de ellos porque su ajuste es sumamente fácil, tan solo recordar que se ajustan de modo inverso a los de doble aguja que son los que se explican a continuación.

La aguja de baja regula el paso de combustible cuando el carburador se cierra, no sólo regula el ralentí sino toda la banda de RPM desde éste hasta el máximo régimen. La regulación de los medios es automática y viene dada por el diseño del carburador, tan sólo hay que regular el ralentí y el resto de la banda de RPM queda automáticamente ajustado.

Dado que la aguja de baja está situada en oposición a la de alta, su regulación influye sobre la segunda, el reglaje de la aguja de baja requerirá pues de varias iteraciones como se describe a continuación:

- a) Cierre el carburador hasta conseguir las RPM de ralentí deseadas, aquí es muy útil el empleo de un tacómetro, en general son adecuadas de 3500 a 4000 RPM para un motor que trabaje a unas 13000 RPM en régimen máximo, es mejor un ralentí un poco alto pero estable que uno bajo e inestable porque el segundo tenderá a producir paradas de motor al realizar la transición a altas RPM.
- b) Compruebe si el motor está trabajando rico o pobre, a veces se verá de inmediato, si el motor pierde RPM progresivamente hasta pararse es que trabaja rico, si al ponerlo a ralentí se para instantáneamente es que trabaja pobre. Si está rico cierre la aguja de baja $\frac{1}{2}$ vuelta, lo contrario si está pobre. Si el motor no llega a pararse, estrangule suavemente con los dedos el tubo de entrada de combustible al carburador, si el motor se para es que trabaja pobre, si se acelera netamente es que trabaja rico, si se acelera ligeramente para luego empezar a perder RPM es que el ajuste es adecuado. Proceda a ajustar la aguja de baja en consecuencia y según lo dicho anteriormente. Repita este proceso hasta que consiga un ralentí estable, ya que durante este ajuste puede haber una variación en el régimen de RPM para la posición de ralentí inicialmente seleccionada, puede ser necesario abrir o cerrar ligeramente el barrilete del carburador para mantener las RPM de ralentí deseadas.
- c) Acelere despacio hasta el máximo de RPM, reajuste la aguja de alta según se describió en el apartado correspondiente.
- d) Cierre el carburador y compruebe el ajuste de ralentí, en caso de haber variado como consecuencia del ajuste de la aguja de alta, repita los pasos descritos en el punto b) pero con retoques mínimos de la aguja de baja.
- e) Compruebe los regímenes medios, para ello ponga el motor a ralentí y lo déjelo así por 20 ó 30 segundos, transcurridos los cuales acelere al máximo bruscamente, si la transición no es rápida y el motor expulsa mucho humo por el escape y / o petardea o “tose” es que el ralentí es demasiado rico y debe cerrar un poco la aguja de baja. Si el motor se para instantáneamente, o bien falla para luego seguir funcionando al máximo de RPM, es que el ralentí es demasiado pobre y debe abrir ligeramente la aguja de baja.

MANTENIMIENTO DEL MOTOR

Aparentemente este apartado no está relacionada con el trucaje y preparación de motores pero se incluye aquí por cuanto puede serle de ayuda para verificar el estado del motor y por consiguiente si el trucaje ha sido bien realizado.

El primer paso en la tarea de mantenimiento es el desmontado completo del motor con objeto de poder examinar todas sus piezas, para más detalles vea el comienzo de la sección “MEJORA DE LA MECÁNICA”. El último paso será el montaje, vea también el apartado “M”, página 22, dentro de la sección “MEJORA DE LA MECÁNICA”.

Examen de la cámara de combustión

La mejor forma de conocer el estado y el funcionamiento de un motor es observando el interior de la culata. Si ésta aparece con un color oscuro o parduzco y uniforme será señal de que el engrase ha sido óptimo y no ha habido ningún agente extraño en el interior del motor, si por el contrario aparece marcada con puntos brillantes o pequeños golpes que han

marcado el material será señal de que en su interior ha existido algún cuerpo extraño, bien una impureza exterior, el filamento de una bujía o un clip de fijación del bulón.

Existe la posibilidad de que este agente, si existió, al ser arrastrado a la parte superior del motor, haya dañado algún otro elemento, por lo que en este caso deberá prestar especial atención al efectuar el reconocimiento de la camisa y pistón.

Examen del equipo motor

El equipo motor está compuesto principalmente por el ajuste camisa-pistón, siendo este el punto de verificación más importante de todo el motor.

El primer punto es comprobar si éste posee algún arañazo pronunciado, que denotará la presencia de alguna partícula nociva. Si en este arañazo notase que la uña se engancha al pasarla sobre él, significa que el daño es grande y si se aprecia una reducción en las prestaciones del motor habrá que proceder a la sustitución del equipo motor.

Otro punto será observar el estado del pistón. Si el pistón posee en su parte superior un anillo brillante es señal de que el motor trabaja con poco engrase, por lo que conviene subir el porcentaje de aceite en la mezcla. Otro síntoma es que se haya tornado de un color grisáceo y sin brillo, esto denota desgaste y envejecimiento prematuro, suele verse en motores de coche que no disponen de un buen filtro de aire. Si por el contrario el pistón posee un color oscuro y uniforme es que este motor ha trabajado en óptimas condiciones, por lo que la única verificación posible será la de la compresión del equipo motor.

La verificación de compresión en un motor ABC, de camisa cónica, se realiza como sigue:

Suba con el dedo, sin apretar excesivamente, el pistón hacia la parte alta de la camisa (recuerde que el motor está completamente desmontado), si éste se queda por debajo o a ras de la parte superior, el motor está en perfectas condiciones, por el contrario si sobresale de 1 a 1.5 mm este motor está empezando a morir, si pasa de esta medida este conjunto necesita ser reemplazado (esto es válido para un motor de coche de 3.5 cc de cilindrada, en general el pistón no deberá asomar más de $\frac{1}{4}$ de su altura). Si opta por poner un grupo camisa-pistón nuevos, es conveniente realizar el trucaje de biselado de lumbreras, eliminando de paso las rebabas que suele haber en las aristas interiores de las lumbreras, teniendo especial cuidado de suavizarlas muy bien con lija de agua de los números 600, 800 y 1200 para que no quede ningún saliente hacia el interior.

La verificación de compresión en un motor ABC de camisa cilíndrica o en un motor pistón de acero lapeado, se realiza como sigue:

Con el motor montado, bujía y hélice colocados, aplique unas gotas de aceite sobre la culata, alrededor de la bujía, y haga girar la hélice para comprobar que no tiene pérdidas, aceite entonces el pistón y haga girar la hélice hasta el punto donde comienza la compresión, continúe el giro de la hélice lentamente hasta que el pistón alcance el punto muerto superior.

Si llegados aquí se ve que ha perdido toda la compresión (lo delatan las burbujas que se ven salir por el escape) debe pensar en sustituir el grupo camisa-pistón, si no es así pare unos tres segundos y siga el giro, si se nota el empuje de la compresión que aún quedaba en el cilindro es que el motor está en buenas condiciones, si por el contrario no queda compresión significa que el motor está envejeciendo pero todavía puede utilizarlo con buenos resultados.

La verificación de compresión en un motor con segmento se realiza como sigue:

En los motores a segmento no es fácil determinar cuándo la compresión es insuficiente, por su propia construcción estos motores siempre pierden compresión más o menos fácilmente al girarlos a mano, pues la fuerza de la explosión de los gases en el cilindro es la que hace expandirse al segmento y garantizar el sellado del cilindro. Por lo general, en un pistón bien aceitado, será posible llegar al punto muerto superior todavía con compresión, pero se perderá en menos de un segundo. La mejor garantía en estos motores es conocerlos en su estado nuevo, examine cada nuevo motor justo después del rodaje y anote los tiempos de pérdida de compresión que haya observado, de este modo podrá saber cuándo el desgaste del equipo motor es excesivo

Ya sea el motor de tipo ABC o no, para verificar la compresión es muy útil el uso de un instrumento de medida de compresión para motores de modelismo, se trata de un instrumento similar a los manómetros empleados para la medición de la presión de los neumáticos de coche pero con un adaptador que rosca en el alojamiento de la bujía. Si tiene el cuidado de utilizarlo después del rodaje de su motor y guardar registro de la medida obtenida, será fácil saber cuando el motor ha perdido compresión.

Para utilizarlo, se quita la bujía al motor y se coloca el instrumento en su lugar, entonces se hace girar el motor por medio de un arrancador o bien a mano girando la hélice con rapidez (es más conveniente usar el arrancador ya que le dará medidas más consistentes), el indicador guarda medida de la presión máxima registrada. Para la buena conservación del indicador no debe olvidar ponerlo a cero antes de guardarlo.

Examen del cigüeñal

La principal verificación de este elemento recae en la muñequilla, es el punto de mayor desgaste, para verificar ésta se puede emplear un micrómetro para medirla y comprobar que su desgaste no ha llegado a 0.1 mm (para una muñequilla de 5mm de diámetro). Si se carece de un micrómetro esta comprobación se puede efectuar respecto de uno nuevo, comparando el juego de la biela en ambos cigüeñales.

Si el cigüeñal es nuevo y su muñequilla presenta marcas de mecanizado como anillos en su superficie, si son poco profundos puede tratar de eliminarlos con lija de agua del nº 600, 800 y 1200, puliendo luego con un trapo y pulimento para coches; si las marcas son profundas conviene sustituir el cigüeñal por otro nuevo. La muñequilla correcta presenta un brillo a espejo y no puede observarse en ella marca alguna.

Si el cigüeñal está usado y observa como pequeñas manchas en la superficie de la muñequilla, manchas que al pasar una cuchilla por encima se nota que sobresalen de su superficie (lo que significa que son acumulaciones de restos metálicos), esto indicará que la biela ha trabajado en condiciones de poca lubricación y ha estado próxima al gripaje.

Se deben eliminar las citadas acumulaciones metálicas con lija de agua de los números 800 y 1200, puliendo luego con un trapo y pulimento para coches. En este caso la biela deberá ser examinada cuidadosamente como se describe más adelante. Si está usando menos del 20% de aceite en el combustible, es recomendable que aumente el porcentaje de éste. Si el combustible lleva aceite sintético es recomendable que sustituya al menos un 5% del aceite sintético por aceite de ricino.

Verifique también si el cigüeñal está doblado como consecuencia de algún golpe en un aterrizaje de morro, esto se comprueba más fácilmente una vez colocado en el motor, monte una hélice y sujete el motor en un tornillo de mesa (sin apretar demasiado), haga girar la hélice de lado a lado y, mirando el disco que describe la hélice al girar y fijándose en sus puntas, deberá ver que ambas pasan exactamente por el mismo punto.

Si no fuera así verifíquelo con otra hélice, preferentemente a estrenar, en caso de detectarse un cigüeñal doblado deberá ser sustituido de inmediato ya que las vibraciones que ocasiona producirán un desgaste prematuro de otros elementos del motor y reducirán su vida útil (eso sin tener en cuenta posibles daños a la larga al aeromodelo y equipo de radio).

Rodamientos del cigüeñal

Éstos deben carecer de cualquier holgura axial, de ser así hay que sustituirlos inmediatamente. Si los hace girar con la mano deberán hacerlo suavemente, si se detienen y nota cierta dureza que se supera al continuar el giro puede ser indicio de dos cosas, suciedad o alguna bola deformada, para verificar la causa limpie escrupulosamente el rodamiento y si entonces el problema continúa proceda a su sustitución.

Para extraer los rodamientos caliente el bloque del motor hasta que éstos caigan por su propio peso, los detalles de cómo hacerlo puede encontrarlos en la página 13. Si algún rodamiento se resiste ayúdelo empujando con una varilla de madera.

Atención con el rodamiento frontal, si está blindado sólo en un lado, esta protección deberá ir hacia el exterior.

Examen de la biela

Ésta aparecerá con un posible rozamiento en la parte de la cabeza, esto es normal porque en ocasiones roza contra la tapa del cárter. Los puntos que debe examinar son la cabeza y el pié, observando que en estos dos puntos no exista una excesiva holgura. En caso de que exista esta variación de medida, la sustitución es obligatoria. Si hay dudas al respecto es aconsejable comparar con una biela nueva.

Otra de las razones por las que la biela se ve seriamente dañada es en el rodaje de un motor con grupo camisa - pistón excesivamente ajustado, por lo que una vez finalizado el rodaje conviene sustituirla sin contemplaciones.

Hay que observar también la superficie interna de los cojinetes de cabeza y pié de biela, tanto si incorpora cojinetes de bronce como si no, el interior debe presentar una superficie lisa y homogénea.

Si observa zonas de más brillo puede ser señal de golpeteo debido a una holgura excesiva. Si observa arañazos o zonas grises donde casi puede apreciarse el grano del material puede ser indicio de posible gripaje, en este caso puede incluso ser encontrado parte del material de la biela pegado a la muñequilla del cigüeñal o al bulón. En ambos casos la sustitución de la biela es imperativa, en caso de existir restos de material de biela pegados al bulón o muñequilla, deberán ser despegados y proceder a un pulido de los elementos afectados con un papel de lija de agua del número 1200, terminando con un trapo empapado en pulimento de coches.

Examen del cárter

El punto más conflictivo en éste es el alojamiento interior del cigüeñal, que debe carecer de arañazos o desgaste excesivo puesto que junto con el cigüeñal realiza la función de válvula para la entrada de los gases.

Para verificarlo introduzca el cigüeñal y poniéndolo en posición que no se vea la abertura de alimentación de este último, sople observando que el aire no pase con facilidad, de ser así el cárter estará inútil y debe ser sustituido por otro nuevo.

Examen del bulón

Para extraerlo tendrá que retirar, con ayuda de unas pinzas fuertes y de punta fina o unos alicates apropiados, los clips en forma de "G" que lo sujetan (este es el modo más común de construcción, otros motores no tienen sistema de fijación del bulón sino que éste tiene en sus extremos unas tapas de teflón para reducir el rozamiento con la camisa).

Puede ser necesario sustituir los clips una vez extraídos porque se deforman fácilmente, si no puede localizar el repuesto apropiado esto no representa mayor problema ya que la construcción de los citados clips es sencilla utilizando acero cuerda de piano de la sección adecuada (generalmente 0.3 mm para motores de hasta 7.5 cc, en este caso vale el cable monofilamento que se usa para Vuelo Circular).

Es sumamente importante que estos elementos estén en buenas condiciones y correctamente asentados en sus alojamientos, si llegaran a salirse durante el funcionamiento podrían destruir el grupo motor.

Extraiga ahora el bulón del pistón observando que no tenga holguras en su alojamiento, de ser así generalmente este desgaste lo sufre el pistón por lo que sería preciso cambiar el grupo camisa-pistón (están emparejados).

La verificación del bulón en sí se efectúa observando que su superficie sea uniforme y sin escalones. Por ejemplo si es más estrecho en el centro que en los extremos es señal de que ha sufrido un excesivo desgaste producido por el rozamiento de la biela, en este caso es preciso reemplazar el bulón.

Si el bulón es nuevo y presenta marcas de mecanizado como anillos en su superficie, si son poco profundos puede tratar de eliminarlos con lija de agua del nº 600, 800 y 1200, puliendo luego con un trapo y pulimento para coches; si las marcas son profundas conviene sustituirlo por otro nuevo.

El microscopio de mano le será útil para examinar en detalle la superficie del bulón. El bulón correcto presenta un brillo a espejo y no puede observarse en él marca alguna.

Estado de las juntas

En los tres puntos que encontrará juntas es en la culata, tapa del cárter y carburador. La tapa del cárter posee normalmente una junta de papel la cual es aconsejable sustituir directamente, debido a su bajo precio, en cuanto se detecte el más mínimo daño. Si la junta se encuentra rota, doblada o machacada su sustitución es obligatoria. A veces la tapa del cárter lleva una junta tórica en una ranura al efecto, deberá ser sustituida si está mordida, cortada o aplastada por efecto del envejecimiento de modo que no realice su función de sellado correctamente.

La culata monta unas juntas circulares de aluminio, cobre o latón, de distintos grosores, con las cuales se puede aumentar o disminuir la relación de compresión. En caso de rotura o deformación las deberá sustituir por otras iguales. Como orientación y si no dispone de medios para medir las viejas, en un motor de 3.5 cc puede colocarse una junta de 0.1 a 0.15 mm de grosor para un combustible al 12% de nitrometano, se pondrá de 0.2 mm de grosor para un 20% de nitrometano.

La junta del carburador es de goma, generalmente de forma tórica, para que cumpla sus funciones correctamente no deberá presentar mordeduras, grietas o estar aplastada, en estos casos deberá ser sustituida al igual que si al quitarla observa que no recupera su forma tórica y queda deformada por estar envejecida y haber perdido la flexibilidad.

Bujía de incandescencia o “glow”

Este es un elemento a menudo olvidado y, sin embargo, es un punto crítico para el buen funcionamiento del motor. Quizá se deja de lado porque aunque esté en mal estado no perjudica a la vida del motor, pero puede perjudicar a la vida del aeromodelo puesto que una bujía en malas condiciones reduce grandemente la fiabilidad de funcionamiento del motor, que puede pararse o fallar en el momento más inoportuno y ocasionar que el avión se estrelle.

Pero, ¿cuál es la finalidad o función de una bujía de incandescencia?, la bujía actúa como catalizador para producir la combustión de la mezcla cuando se alcanza cierto punto de compresión. Esto significa que los motores glow son realmente de tipo semidiésel.

Conocer la función de la bujía ayuda a entender qué pasa cuando ésta se encuentra en mal estado: el punto de encendido se modifica, lo que ocurre es que se retrasa puesto que un filamento de bujía oxidado y / o deteriorado pierde sus cualidades como catalizador, el efecto es como si la bujía fuese de grado térmico muy frío.

Cuando el deterioro se hace patente se producen fallos puntuales en la combustión, sobre todo al acelerar partiendo del ralentí.

Un paso más en el deterioro de la bujía se traduce en frecuentes paradas de motor, básicamente al acelerar partiendo del ralentí o bien cuando el motor permanece algún tiempo al ralentí (en esas condiciones el grado de incandescencia de la bujía es menor y si está deteriorada puede llegar a perder la incandescencia).

Una bujía en la última etapa de su deterioro se comporta de la siguiente forma:

- El arranque se dificulta por la pérdida de poder catalítico del filamento.
- El motor se ahogará con facilidad durante el arranque porque su dueño pensará que la falta de explosiones se debe a una falta de combustible y procederá erróneamente a purgarlo.
- Si arranca el motor y quita la alimentación de la bujía, aquél se parará de inmediato o bajará radicalmente de vueltas al desconectar la alimentación de la bujía, a menos que lo haya acelerado para que se caliente suficientemente y desconecta la bujía con el motor al máximo de RPM, aun así el motor se parará cuando reduzca el régimen.
- Otro síntoma es la dificultad en mantener un ralentí a un régimen de RPM estable.

Razones por las que una bujía envejece:

† Las bujías envejecen por varias razones, la primera a tener en cuenta son las partículas de metal. Cuando el motor está nuevo hay más probabilidad de que se liberen partículas de metal, sobre todo durante el rodaje (esta es una de las razones por las que no es recomendable realizar el rodaje al motor en vuelo, la probabilidad de parada por un problema con la bujía es grande), en el rodaje se produce un ajuste fino de las piezas móviles que componen el motor, lo que se traduce en un mayor desgaste inicial.

Es muy recomendable reservar una o varias bujías para los rodajes y nunca emplearlas para el vuelo, en muchas ocasiones la bujía queda inservible después de realizar el rodaje de un motor y en todos los casos quedará dañada en mayor o menor medida.

Si el motor se hace funcionar en condiciones de ambiente polvoriento, la sección de cigüeñal situada entre ambos rodamientos puede producir el desgaste del cárter debido a la abrasión producida por el polvo, esto libera partículas metálicas que perjudican a la bujía.

Una bujía dañada por partículas metálicas se reconoce porque su filamento presenta excrecencias o acumulaciones metálicas adheridas o soldadas al mismo.

† Alimentador para la bujía. Si se emplea un “power panel” con control de potencia variable podría estar aplicando un sobrevoltaje a la bujía, para comprobar que este no sea el caso pruebe con bujías de diferente grado térmico, midiendo con un polímetro el voltaje aplicado a la bujía (en las condiciones de máxima potencia entregada por el power panel), el voltaje no debe sobrepasar los 1.5 V. en ninguno de los casos. El brillo de la bujía es también un indicativo, aunque menos fiable, del voltaje aplicado, si éste es correcto el color debe ser un naranja medio, si es excesivo verá un amarillo brillante.

Si usa una batería de Ni-Cd no hay problema pues su voltaje nominal es de 1.2 V, realmente aquí el inconveniente es que el voltaje puede resultar demasiado bajo para el correcto calentamiento de la bujía.

Si emplea una batería de plomo de 2 V debe utilizar una longitud de cable que le permita reducir el voltaje a menos de 1.5 V. gracias a la caída de potencial que se producirá en el citado cable, para ello tome la bujía más caliente de que disponga y, colocando un cable de sección 0.75 mm² y 2.5 m de longitud, mida la tensión aplicada a la bujía (será menos de 1.5 V. porque la longitud de cable es excesiva) y vaya reduciendo la longitud del cable de 10 en 10 cm hasta que logre una tensión entre 1.4 y 1.45 V.

Dado que una bujía fría consume mayor intensidad de corriente, la caída de potencial en el cable será mayor y tendrá un voltaje aplicado a la bujía de unos 1.3 V., en cualquier caso más que suficiente para su correcto calentamiento.

A destacar que se da la coincidencia de que a la bujía más caliente le corresponde el filamento más fino y, por consiguiente, su resistencia eléctrica es mayor. Esto significa que su consumo eléctrico es reducido, del orden de 2A en las bujías más calientes, lo contrario sucede con las frías, las bujías más frías llegan a consumir hasta 5A.

- † Vibración. La bujía está diseñada para soportar las vibraciones armónicas del motor, pero no puede soportar una vibración violenta. Cualquier metal cuando está incandescente es mucho más blando y maleable que en su estado normal y, por tanto, puede doblarse fácilmente.

Una bujía caliente puede ser inutilizada por una vibración inusualmente fuerte. Si la fijación del motor a la bancada está floja estará ante un problema dado que la amplitud de las vibraciones será tanto mayor cuanto más holgura tenga el motor en la bancada. La diferencia entre esta vibración y un motor montado sobre amortiguadores de goma es que los amortiguadores, como su nombre indica, amortiguan las vibraciones.

Los materiales que se usan para la bancada, madera por ejemplo, suelen ceder después de la primera instalación, es conveniente comprobar el apriete de los tornillos que fijan el motor a la bancada varias veces durante la primera hora de funcionamiento después de la instalación del motor, y después regularmente cada tres horas de funcionamiento.

Otro factor que influye en la vibración es el equilibrado del cono y la hélice, si no están equilibrados adecuadamente no sólo dañarán la bujía sino que también perjudicarán la vida del motor y el equipo de radio.

- † Motor ahogado. Un motor ahogado es un asesino de bujías, esto es particularmente cierto si se usa un arrancador eléctrico. Siempre se debe girar el motor lentamente una o dos veces después de la purga y después lanzar la hélice a mano unas tres veces antes de conectar la alimentación de la bujía, nunca lance la hélice con la mano desnuda, utilice una varilla de madera al efecto, un dedil de plástico o un guante de cuero para protegerse, incluso sin alimentación el motor es peligroso ya que si está ahogado no pasará del PMS y por la inercia del movimiento puede producirse un corte en la mano con el borde de salida de la hélice.

- † Funcionamiento pobre. Cuando se hace trabajar a un motor con una mezcla pobre su temperatura se incrementa incluso hasta el punto de fusión del aluminio. El incremento de temperatura de la bujía es paralelo al del motor. Una bujía sobrecalentada por un funcionamiento con mezcla pobre está al término de su vida y puede fallar en el momento menos pensado. Físicamente la bujía lo evidencia por un filamento de color mate y/o retorcido y deformado, es conveniente sustituir la bujía y abrir un poco la aguja de alta.

- † Exceso de aceite en la mezcla del combustible o bien carburación demasiado rica. Se evidencia porque el filamento de la bujía aparece ennegrecido o de color marrón grasiento. Debe cerrar un poco la aguja de alta o bien sustituir parte del aceite de ricino por sintético en la composición de la mezcla, siempre que esto no signifique que el porcentaje de ricino baje del 5% ya que se perderían sus efectos antigripantes para el motor.

- † Exceso de compresión. Se evidencia porque la bujía presenta el filamento retorcido y deformado. Se debe reducir la compresión añadiendo una junta de culata adicional.

Nota : La bujía en buen estado tiene un filamento brillante y sin deformidades, esto evidencia que la carburación y compresión son correctas, generalmente también la cámara de combustión presentará una tonalidad marrón.

REFRIGERACIÓN DE MOTORES

En esta sección se trata de describir los fundamentos de la refrigeración de los motores de dos tiempos refrigerados por aire.

Temperaturas críticas de funcionamiento en motores refrigerados por aire

Centro de la cabeza del émbolo	350°C
Periferia de la cabeza del émbolo	310°C
Cabeza de la válvula de escape	700°C
Vástago de la válvula de escape.....	200°C
Cabeza de la válvula de admisión.....	100°C
Vástago de la válvula de admisión	100°C

Estas temperaturas son aproximadas, variando algunos grados según el tipo de motor, los materiales, dimensiones, relación de compresión de los cilindros, composición del combustible empleado y revoluciones a las que trabaja el motor. Estos

datos corresponden a motores de cuatro tiempos para motocicleta pero pueden darle una idea aproximada de las temperaturas que soportan los motores de modelismo.

Transmisión del calor

Se realiza por medio de las aletas de refrigeración, las cuales deberán tener su superficie calculada de modo que no sea excesiva y se pierda la temperatura considerada como normal de trabajo o insuficiente y el motor se sobrecaliente.

Un motor está diseñado para trabajar a una cierta temperatura, si es excesiva el motor puede sufrir daños, pero lo mismo puede suceder si es demasiado baja, esto es particularmente cierto en motores ABC. Si no tiene evidencias objetivas o medios técnicos para medir la temperatura del motor, no debe buscar soluciones para reducir su temperatura de funcionamiento, cualquier cambio en el motor debe apoyarse en datos o evidencias.

Existe una creencia popular de que un buen motor no debe alcanzar una alta temperatura de funcionamiento, cuando digo alta temperatura quiero decir según una apreciación subjetiva realizada al tacto, eso es completamente falso por cuanto un motor normal alcanza temperaturas en torno a los 200 °C en la superficie exterior de la culata, en funcionamiento a pleno régimen, y al tacto cualquier temperatura que supere los 70 u 80 °C se aprecia como muy alta, pues quema los dedos.

El principio de funcionamiento de las aletas de refrigeración se basa en el fenómeno físico del poder dispersivo de las puntas, fenómeno consistente en que el calor se transmite con mayor velocidad en aquellos sólidos no refractarios cuya superficie esté recubierta de puntas o aletas que incrementen su área normal.

Las aletas deben poseer en su base un espesor igual a la pared que refrigeran, este espesor disminuye progresivamente hasta alcanzar al final de su extensión la mitad del espesor que poseían en su punto de origen. La longitud de estas aletas varía entre la tercera y cuarta parte del diámetro del cilindro que las soporte, siendo menor su longitud cuantas más aletas posea el elemento a refrigerar. La distancia máxima comprendida entre dos aletas consecutivas debe corresponder a la tercera parte de su longitud, lo que determina el mínimo número de aletas que debe poseer un cilindro. En la Figura 21 puede observar un dibujo ilustrativo de lo dicho.

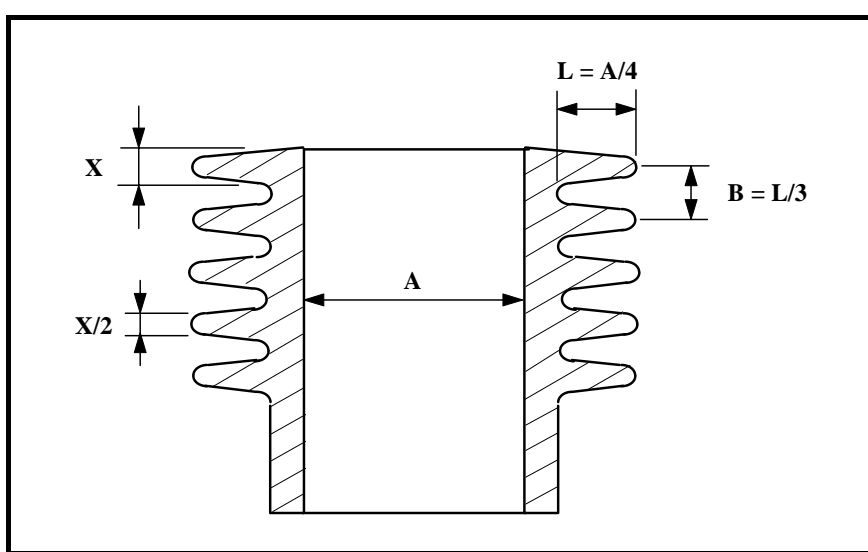


Figura 21 Dimensiones ideales de las aletas de refrigeración

COMBUSTIBLE

El combustible contiene energía química que se libera en forma de calor (energía térmica) durante la combustión, el cometido del motor es transformar dicha energía química, con mayor o menor rendimiento, en energía mecánica que se aprovecha para impulsar el modelo de avión, barco, etc.

En un motor de dos tiempos el combustible es algo más..., es una mezcla de combustible y lubricante y ha de servir simultáneamente como elemento productor de energía y elemento de engrase que impida que las piezas en fricción del motor se desgasten y / o agarroten. Al recorrer la mezcla las distintas partes del motor, las engrasa debido a su gran contenido en lubricante. Al detonar la mezcla aire / combustible en la cámara de combustión también hay lubricante, lo que ocasiona algunos problemas, como ocurre en las motocicletas (perlado de la bujía), que no siempre son deseados.

A continuación se dan diversos datos técnicos sobre distintas sustancias, a destacar que no todas tienen aplicación en el campo del modelismo.

El objetivo de este capítulo es ayudarle a comprender mejor las razones por las que se emplea una determinada composición de combustible, aditivos y lubricantes, y los efectos de estos componentes sobre el funcionamiento del motor.

Proceso de combustión

Toda combustión no es sino una oxidación. Se conoce como oxidación la combinación de una sustancia con el oxígeno o la eliminación del hidrógeno de la misma. La respiración humana es un ejemplo de oxidación.

Los productos que ceden el oxígeno que llevan en su composición se conocen como oxidantes y en determinadas condiciones pueden añadirse a las mezclas, ya que permiten obtener mayor rendimiento por centímetro cúbico. Deben ser usados con profundo conocimiento de causa, pues muchos de ellos son productos de mayor o menor poder explosivo o, como mínimo, bastante peligrosos.

Entre los distintos oxidantes utilizados en combustibles Glow, el más conocido es el nitrometano; los demás, o muchos de ellos, son difíciles de hallar, de utilización peligrosa y a unos precios escalofriantes. Sólo a título informativo pueden citarse: hidracina, óxido de propileno, peróxido de hidrógeno, tetranitrometano, nitrobenceno, etc.

No se recomienda en modo alguno la experimentación con aditivos oxidantes distintos al nitrometano (sólo de utilidad en motores a bujía de incandescencia), debido a su peligrosidad y a los pocos beneficios que pueden dar, si alguno, por encima del nitrometano. A este respecto, es interesante saber que la hidracina está prohibida en algunos países a causa de su peligrosidad.

Límites explosivos

Sustancia	Límites
Benceno	1.35 a 8%
Acetona	3 a 13%
Metanol	5.5 a 21%
Etanol	2.8 a 9.5%
Éter Etilico	1.7 a 48%
Parafina, gasoil, gasolina	Aprox. 1 a 3.5%

Cuando el vapor de un líquido inflamable se mezcla con aire, esa mezcla sólo puede arder para una concentración de vapor comprendida entre dos límites, que vienen dados en % de volumen de vapor del líquido inflamable respecto al aire.

Los carburadores de los motores de modelismo están ajustados para producir una mezcla aire / combustible en una proporción adecuada para el combustible que el fabricante del motor recomienda, si se le añaden al combustible aditivos, en proporción suficiente, cuyos límites explosivos se alejan de los del combustible inicial, se conseguirá una carburación muy crítica.

Punto de inflamación

Es la temperatura a partir de la cual un líquido inflamable desprende vapores susceptibles de arder.

Líquido	Pto. de inflamación
Éter Etilico	- 41°C
Benceno	-21°C
Acetona	-17°C
Tolueno	-2°C
Metanol	0°C
Acetato de Butilo	25°C
Parafinas y Aceite Diesel	Alrededor de 65°C

El combustible debe haber pasado a fase de vapor para realizar una correcta explosión en la cámara de combustión del motor. Este dato tiene importancia cuando se le compara con la temperatura ambiente, pues de él se desprende que si la temperatura ambiente está por debajo del punto de inflamación del combustible empleado, la puesta en marcha del motor será dificultosa y puede incluso requerir el precalentamiento del motor por medios externos

Temperatura de ignición espontánea

Es aquella para la cual la mezcla de vapor inflamable y aire arde espontáneamente sin la aplicación de llama o chispa.

Sustancia	Temp. de Ignición Espontánea
Acetona	630°C
Benceno	580°C
Tolueno	553°C
Acetato de Etilo	484°C
Metanol	475°C
Etanol	421°C
Acetato de Amilo	379°C
Petróleo	280°C
Aceite Diesel	240 a 260°C
Parafinas	Alrededor de 250°C
Gasoil de alto cetano	220 a 240°C
Éter Etilico	188°C

Dado que al comprimir un gas (aumentar su presión) su temperatura aumenta, es obvio que si se utiliza un aditivo con temperatura de ignición más baja que el combustible estándar eso adelantará el encendido y puede producir el efecto de detonación, haciendo entonces necesario reducir la relación de compresión y / o usar bujías más frías.

Lo contrario sucederá si el aditivo posee una temperatura de ignición espontánea más alta que el combustible estándar o recomendado por el fabricante del motor.

Calor de vaporización

Se llama calor de vaporización a la cantidad de calor que hay que comunicar a 1 gramo de un líquido para que pase al estado de vapor a la temperatura de ebullición.

Sustancia	Calor de vaporización (cal/gr.)	Temp. de ebullición (°C)
Agua	536.5	100
Acetona	125.3	56.7
Benzol	94	
Etanol	201.8	78.4
Éter	90	34.6
Metanol	262	
Nitrometano	144	
Gasolina "premium" sin plomo	75	
Gasolina "premium" con plomo	75	
Óxido de propileno	123	

Calor de combustión

Es la cantidad total de calor liberado cuando una cantidad dada de una sustancia es quemada completamente.

Sustancia	Calorías / gramo
Aceite de Parafina - petróleo	11 000
Aceite Diesel	10 900
Acetato de Etilo	6 100
Acetona	6 944
Benceno	9 960
Benzol	9 610
Etanol	6 944
Éter Etilico	8 800
Gasolina	10 555
Metanol	5 444
Methylal	7 900
Nitrito de Etilo	4 450
Nitrobenceno	6 030
Nitrometano	2 778
Nitropropano	3 722
Óxido de Propileno	7 777
Nitroacetato de Etilo	2 560

Puede parecer evidente que cuanto más alto sea el calor de combustión del combustible utilizado en el motor, se conseguirá mayor potencia.

Esto es cierto sólo si la cantidad de aire necesario para quemar ese combustible que tiene mayor calor de combustión no es superior (o no demasiado) al necesario para quemar la misma cantidad de combustible estándar.

Si se necesita mucho más aire (lo que sucede en todos los casos a excepción de ciertos aditivos como el nitrometano en los motores de bujía de incandescencia), le obligará a cerrar más la aguja de alta del carburador y el resultado será un incremento de potencia nulo sumado a un mayor calentamiento del motor como consecuencia de la reducción de consumo de combustible por minuto y la menor lubricación que eso significa, aunque eso sí, se conseguirá una mayor autonomía de funcionamiento y muy probablemente una carburación más crítica como ya se explicó en el apartado sobre Límites Explosivos.

Grado de octano

El grado de octano del combustible es un índice de la compresión que la mezcla combustible / aire puede soportar antes de que se produzca el autoencendido de la misma, a mayor grado de octano mayor compresión podrá soportar un motor sin que se produzca el temido autoencendido. Si no se cambia la relación de compresión del motor, usar un combustible con mayor grado de octano no aumentará la potencia entregada por el motor, sin embargo, utilizar un combustible con grado de octano menor al que el motor necesita debido a su diseño, puede ocasionar problemas de autoencendido, con la consiguiente pérdida de potencia, e incluso llegar a destruir el motor.

Existen dos métodos para el cálculo del grado de octano, que dan lugar a dos índices distintos, el RON y el MON. El primero (Research Octane Numbers) es el que utilizan las compañías fabricantes de gasolina, el segundo (Motor Octane Numbers) proviene de la prueba del combustible a mayores RPM y mayor temperatura, resultando en que el MON viene a ser de 6 a 12 unidades más bajo que el RON.

Equivalencia entre los índices RON y MON para la gasolina:

RON	MON
90	83
92	85
96	88
98	90
100	91.5
105	95
110	100
113	103

Estos valores son sólo aproximados, pudiendo variar hasta dos unidades dependiendo del fabricante del combustible. Los combustibles que se fabrican para motores de modelismo no indican el grado de octano, esto es debe a que no viene a ser significativo, si se trata de combustible diésel, los motores que lo emplean tienen regulación de compresión y pueden adaptarse a cualquier octanaje; si se trata de combustible a base de metanol, la variación del índice MON entre diversos fabricantes es pequeña, del orden de 2 unidades. Donde sí interesará tener en cuenta el octanaje será a la hora de adquirir gasolina para los motores que usan este combustible, para prevenir problemas siempre será mejor comprar gasolina del mayor octanaje posible.

Combustible	Peso específico	RON	MON	Relación combustible / aire (en peso)
Acetona	0.79			1:10.5
Avgas 100/130 "green"	0.69	105 – 110	100 – 102	1:12.9
Avgas 100/130 "blue"	0.71	105 – 110	100 – 102	1:12.7
Benzol	0.88	105 – 110	95 – 100	1:11.5
Etanol	0.79	108 – 115	90 – 92	1:6.5
Éter dietílico	0.71			
Metanol	0.79	105 – 115	89 – 91	1:4.5
Nitrometano	1.13			1:2
Nitropropano	1.05			
Gasolina "premium" sin plomo	0.74	98	87	1:12
Gasolina "premium" con plomo	0.73	97	87	1:12.5
Gasolina "racing" con plomo (USA)	0.73	112 – 114	102 – 104	1:12.7
Gasolina "racing" sin plomo (USA)	0.75	104 – 106	94 – 96	1:13.2
Gasolina "racing" 100, sin plomo	0.75	100	90 – 92	1:13.0
Óxido de propileno	0.83			
Toluol	0.87	120 – 124	110 – 112	1:9.8
Triptano	0.69	110 – 112	100 – 102	
Xileno	0.86	117 – 118	115 – 116	

Componentes de la mezcla

En la composición de la mezcla puede encontrar unos productos digamos obligatorios, son el combustible y lubricante, y otros no tanto que son los aditivos.

Combustible

El combustible es el elemento que se quema y libera su energía química en forma de calor (energía térmica), calor que a su vez el motor transforma en energía mecánica. Se podría pensar que el mejor combustible sea aquél que al quemarse desprenda más calor por unidad de peso, esto no es cierto, el mejor combustible es aquél cuya mezcla con el aire, en proporción comprendida dentro de sus límites explosivos, genera al quemarse mayor energía calorífica. Sirva la siguiente comparación entre gasolina y metanol para ilustrar esta afirmación:

Para la gasolina, la mezcla combustible / aire que permite obtener la máxima potencia es 1:12.5. Con alcohol metílico como combustible, se puede incrementar la relación combustible / aire hasta 1:4.5, aunque es preferible 1:5.5, menos de 1:7 sería demasiado pobre.

Un gramo de gasolina tiene una energía potencial de 10555 calorías, un gramo de metanol sólo 5444. Esto significa que el metanol puede producir sólo un 51.6% de la energía calorífica que puede generar la gasolina, por unidad de peso. Sin embargo, debido a que el metanol se mezcla con el aire en proporción superior (1:5.5 frente a 1:12.5), se puede producir más energía calorífica en el motor quemando metanol, aproximadamente un 17% más.

El valor antes citado de un 17% más de energía calorífica a favor del metanol, comparado con la gasolina, se obtiene mediante la siguiente operación:

$$\frac{\frac{1}{5.5} \cdot 5444}{\frac{1}{12.5} \cdot 10555} - 1 = 17.22$$

Si ha sido usted un poco observador, se habrá percatado de que, para una misma potencia mecánica, un motor que utilice metanol quemará más del doble de combustible que otro que emplee gasolina.

Lubricante

El lubricante tiene como función reducir los rozamientos entre las partes móviles del motor, contribuye por tanto a aumentar su vida útil y permite conseguir regímenes de RPM mucho mayores de los que sería posible sin su contribución. Dado que en su mayor parte no se quema y es expulsado por el escape, contribuye también a la refrigeración del motor ya que en su vaporización absorbe calor.

Aditivos

La función de los aditivos consiste en incrementar la energía liberada durante la combustión, pueden actuar de dos modos principalmente, uno es liberando oxígeno (lo que permite quemar más combustible en cada detonación), como es el caso del nitrometano, y el otro es actuando como catalizadores y facilitando así que el combustible se queme mejor y de modo más rápido liberando toda su potencia en el menor tiempo posible.

Lubricantes

El lubricante es un elemento obligado tanto para la mezcla Diesel como para la Glow, puede ser de origen vegetal, mineral o sintético. A continuación se describen con más detalle.

Aceites vegetales

Existen diversas clases; el más usual es el de ricino. Debe ser usado muy puro, lo que dificulta su localización. El mejor es el desgomado de primera prensada, se obtiene por prensa hidráulica y en el proceso se extrae solamente el 36% del contenido de las semillas.

El disponible habitualmente en droguerías y almacenes de productos químicos y farmacéuticos es – generalmente – una mezcla de ambos, con lo cual se incorporan al primer aceite un conjunto de ácidos grasos (estearinas) que pueden ocasionar con el tiempo, al convertirse en estearatos, un enranciamiento del aceite, fenómeno que se conoce fácilmente por el olor.

En tales condiciones no debe utilizarlo puesto que resulta imposible mezclarlo con el metanol (la mezcla se torna blanca como la leche al agitarla y en pocos minutos de reposo el aceite se separa y deposita en el fondo del recipiente).

Aceites minerales y sintéticos

En los últimos años, y por diversas razones, se han empezado a emplear en modelismo los aceites sintéticos y / o minerales (aún cuando no sean iguales, para el caso van a ser considerados como sinónimos).

Existen varios tipos con diversas características, y algunas veces pueden hallarse mezclados con el aceite de ricino (por ejemplo la marca Castrol-M), lo que da a entender que no son tanta panacea como parecen. Para su correcto uso deben conocerse bien sus características, el empleo indiscriminado puede conducir a resultados no satisfactorios.

Efectos de una mala lubricación

La lubricación contribuye a mantener la temperatura del motor dentro de los límites óptimos de funcionamiento, tan malo es el exceso como el defecto de temperatura. Hacer funcionar al máximo de potencia un motor cuando está casi helado es una barbaridad tan grande como hacerlo con alta temperatura. Decimos alta temperatura cuando la culata empieza a ponerse algo oscura, si esto ocurre más vale no pensar en calcular la temperatura que podrán alcanzar el pistón, interior de la culata, cojinetes, cigüeñal o la cabeza de biela..., que es donde está el verdadero meollo.

La cabeza de biela es la parte de ésta que va unida a la muñequilla del cigüeñal. Es una de las zonas más delicadas del motor y debe ser tratada con mimo ya que casi todos los problemas empiezan por ahí. Una biela mal lubricada o mal refrigerada — que para el caso viene a ser lo mismo, pues el aceite no deja de comportarse como refrigerante —, acabará agarrotándose tarde o temprano; lo que en mecánica se conoce como "griparse", destrozando a continuación, unas veces más generosamente que otras, el resto del motor. La rotura puede afectar a la camisa, el pistón, las lumbreras, la culata, los mismos rodamientos, en fin, a todo el conjunto.

Existen también otros tipos de averías en que los villanos de la tragedia son los rodamientos o los clips de sujeción del bulón (cir-clips), pero son más atribuibles a la suerte o al desgaste. Los verdaderos imputables a la lubricación y al aumento de temperatura, ya que al aumentar la temperatura de forma desahogada la lubricación se resiente, son los de la cabeza de biela y la muñequilla del cigüeñal. Un 95% de las averías tienen su punto de partida precisamente ahí.

Lubricación y aceites

Los aceites van perdiendo viscosidad a medida que la temperatura aumenta, a partir de ahí su poder engrasante y antigripante disminuye considerablemente. Hace algunos años los motores no alcanzaban un alto número de vueltas, como máximo llegaban a las 14000 - 16000 RPM, y muy rara vez se gripaba una biela. Hoy día existen motores que llegan al doble e incluso más, los motores de coche de 3.5 cc están girando entre 25000 y 45000 RPM, los 15 cc para ducted-fan pueden llegar a 19-25000 RPM. Con ello los materiales están yendo al límite de su resistencia y no es extraño que, alguna que otra vez, rompan.

Las velocidades lineales del pistón se mantienen justo en el límite tolerable de los 18-20 m/s, y a tal velocidad, y temperatura consiguiente, las dilataciones resultan muy considerables.

Por otra parte, el deseo de poder disponer de cada vez mayor potencia ha obligado a usar mezclas más sofisticadas y complicadas; con ello, y con la alta concentración de nitrometano y otros productos, el aceite de ricino clásico llega a límites extremos. Algunos aeromodelistas han empezado a adoptar el uso de aceites sintéticos ya que se disuelven mejor en nitrometano puro y su conducta en determinadas condiciones parece mejor.

No cabe ninguna duda de que el aceite sintético parece mejor a altas temperaturas que el ricino clásico; pero ante una situación de extrema presión y temperatura, el aceite sintético rompe la capa de película lubricante, con lo cual el gripaje es inmediato, fatal e inevitable. El ricino, por el contrario, al llegar a una situación límite actúa como aditivo de extrema presión

y reacciona formando "gomas", es decir, depositando una capa oscura y pegajosa sobre las superficies en cuestión que evita — o intenta evitar — el gripaje. Esta capa oscura deberá ser eliminada cuidadosamente, con una lija ultrafina al agua del nº 1200, de las superficies donde se haya depositado, ya que de lo contrario el motor no tendrá sus brillantes características anteriores; pero lo que es muy probable es que, en el caso opuesto, de no haberse utilizado aceite de ricino en la composición de la mezcla de combustible, hubiera sido necesario reconstruir el motor por alguna rotura o gripaje, con los consiguientes y posteriores problemas.

Esta es la explicación de las capas oscuras que se depositan en el pistón y la camisa de los motores ABC particularmente; es una señal inequívoca de que el motor ha estado funcionando o muy caliente o excesivamente "seco" — con la aguja demasiado cerrada — o, lo que es más probable, por la suma de ambas cosas.

Por lo demás, hay algunos sistemas para paliar — no evitar — que una biela pueda trabajar con escasa lubricación; uno de los más comunes es practicarle una o dos perforaciones para que pueda tener un mejor engrase (los típicos taladros que se pueden ver en las modernas bielas). Pero de cualquier modo, el mejor método para conservar un motor en perfecto estado es haber efectuado un concienzudo rodaje — lo que no quiere decir parsimonioso y lento —, o sea, un rodaje alto de vueltas (esto es sólo válido para motores ABC) pero con mezcla de alto contenido en aceite y siempre más bien "graso" que "seco", y un uso de la aguja todo lo medido y sabio que sea menester; tenga presente que si cierra un punto más la aguja, tal vez logre sacarle alguna vuelta más al motor, pero también unas cuantas horas menos de vida.

Otro método para aumentar la lubricación de la cabeza de biela puede ser la realización de un taladro ciego en el eje de la muñequilla del cigüeñal, posteriormente realice un taladro perpendicular a éste, que atravesará la muñequilla de parte a parte y centrado en la posición que posteriormente ocupará la biela. El diámetro del taladro pasante no deberá ser mayor de 0.8 mm. Debe tener presente que el aceite de este punto siempre será deficitario, simplemente por la propia construcción del motor. Al poseer el aceite un peso específico mayor que el metanol, aquél será centrifugado hacia las paredes del cárter en mayor proporción, con lo que la mezcla que aceita la muñequilla posee menor proporción — local — de aceite que la total. Este efecto se puede o debe notar con mayor agudización en los motores de admisión frontal que en los de admisión trasera, ya que al penetrar la mezcla al cárter a través del cigüeñal va centrifugándose a medida que lo recorre, con lo cual cuando llega al cárter lo hace bastante más centrifugada que si entra directamente a través de la válvula rotativa trasera.

Concretando, no existen soluciones definitivas en lo que a gripajes de biela se refiere. El mejor aceite es aquél del que se conocen sus limitaciones. La mejor mezcla es aquella de la que se está seguro de que posee una calidad adecuada en todos los lotes de fabricación de la misma. No use mezclas hechas a "ojímetro", ya que su calidad, proporción y fiabilidad estarán en entredicho y lo peor de todo es que sólo notará sus efectos cuando el motor ya esté roto.

Un consejo de uso general es mantener los envases del combustible cerrados "a cal y canto", lo más herméticamente posible, en especial si usa un contenido de nitrometano porcentualmente alto. La luz ultravioleta descompone el nitrometano y puede hacer también que el aceite de ricino se separe del metanol, luego es una buena práctica que el recipiente sea opaco y se guarde en lugar oscuro y fresco. El metanol tiene propiedades hidrófilas, absorbe la humedad del aire, esto soporta el consejo anterior de conservar el combustible en envases herméticamente cerrados.

El calor favorece también la degradación de la mezcla y, por tanto, se evitará almacenarla en lugares con altas temperaturas. Una precaución adicional es filtrar concienzudamente la mezcla con papel de filtro; el uso de una media o tejido fino es útil para eliminar impurezas grandes pero no para las pequeñas que taponan el paso fino de la aguja del carburador. Si desea evitar roturas debe llevar la aguja de combustible más bien abierta que cerrada.

A continuación puede ver unas tablas con diversos datos técnicos sobre distintos aceites. Pero cuidado, no todos los aceites vegetales se emplean en modelismo, en realidad no se recomienda otro aceite vegetal que no sea el de ricino, los otros aceites vegetales se han incluido como comparativa para mejor ilustrar las razones por las que el aceite de ricino es único en su clase.

Aceite vegetal	Peso específico a 15.5°C
Aceite de ricino	0.910 – 0.920
Aceite de oliva	0.914 – 0.918
Aceite de colza	0.913 – 0.916

Aceite vegetal	Viscosidad en Centistokes a 37.7°C
Aceite de ricino	293.40
Aceite de oliva	46.68
Aceite de colza	50.91
Aceite de coco	28.58
Aceite de almendra	43.20

Viscosidad comparada en Centistokes de distintos aceites para modelismo						
Tipo de aceite	0°C	20°C	50°C	100°C	150°C	200°C
Aceite de ricino	9-11000	1041	124	202	50	26
Castrol MSSR	–	–	–	2307	–	–
Ucon LB 625	1550	350	–	2200	80	–
ML 70	3000	–	–	3000	127	6.5-7

Propiedades físicas de algunos aceites lubricantes				
Propiedad	Ricino	LB 625	ML 70	LB 650
Temperatura crítica	275 °C	220 °C	260 °C	253 °C
Calor específico	0.434	0.540	–	–
Temperatura de ebullición	–	180 °C	240 °C	–

Aditivos para combustible diesel

- Nitritos de Amilo y Etilo.
- Nitratos de Amilo y Etilo.
- 3-Cloro-Etil Nitrato.
- Paraldehido.
- Peróxidos orgánicos: Butil Hidro-Peróxido Terciario, Butil Peróxido Di-Terciario, etc.

El uso de uno u otro aditivo lo determina el precio y la facilidad de conseguirlo. La función del aditivo es reducir el retraso de la ignición y dar suavidad y potencia al funcionamiento.

Combustible diésel para rodaje y competición

Rodaje		Competición	
Combustible a base de parafinas (petróleo):	45 al 60%	Combustible a base de parafinas (petróleo):	55 al 65%
Lubricante:	20 al 30%	Lubricante:	12.5 al 20%
Aditivos:	1 al 2.5%	Aditivos:	1 al 3%
Éter sulfúrico:	20 al 25%	Éter sulfúrico:	20%

Combustible glow

☹ **Etanol:** También conocido como alcohol etílico; es el alcohol habitual de las bebidas fermentadas. Aún cuando puede ser usado como combustible no es muy corriente a causa de su alto poder detonante, lo que precisa de aditivos antidetonación.

😊 **Metanol:** También conocido como alcohol de la madera o de quemar; es un producto muy higroscópico — absorbe el agua y la humedad —, motivo por el que debe ser conservado bien tapado y, si es posible, en frascos llenos hasta el borde. La humedad y el agua pueden deteriorarlo. Es tóxico, si se ingiere en suficiente cantidad (10 cc) puede llegar a ocasionar la muerte o la ceguera irreversible. Debe manejarse con ciertos cuidados — no con miedo — y procurar evitar el contacto prolongado con la piel (se absorbe por la epidermis) o que toque alguna herida.

Aditivos para combustible glow

- Acetato de Amilo.
- Nitratos de Etilo y Amilo.
- Acetona.
- Varios disolventes celulósicos.
- Nitrobenceno.
- Nitroparafinas.
- Hidracina.
- Óxido de propileno.
- Peróxido de hidrógeno.
- Tetranitrometano.

En los motores modernos el efecto de los 5 primeros aditivos es pequeño o inapreciable. Si en una mezcla simple Metanol – Ricino reemplaza una parte del primero por un combustible de alto poder calorífico (benceno, tolueno, acetona, etanol o methylal), en algunos casos se aprecia una ligera mejoría del rendimiento, pero no en cuanto a un incremento de potencia sino a una mejora del consumo de combustible.

A destacar que algunos aditivos pueden ser muy peligrosos, tal es el caso de la hidracina, prohibida en algunos países.

En climas muy fríos, se pueden encontrar dificultades para la puesta en marcha del motor, el uso de aditivos más volátiles que el metanol pueden ayudar a resolver este problema (hasta un 5% de acetona o hasta un 3% de éter), pero dado que estos aditivos reducirían la potencia máxima del motor (véase la comparativa entre metanol y gasolina en la página 55) lo aconsejable es disponer un bote con una mezcla especial, conteniendo estos aditivos, que sólo se utilice para purgar el motor durante la puesta en marcha.

La proporción en que tales sustancias pueden ser añadidas es limitada debido a que poseen más estrechos Límites Explosivos que el metanol y pueden hacer el reglaje del motor demasiado crítico. Igualmente, un exceso de estos componentes de alto poder calorífico puede hacer que el motor se sobrecaliente y expulse como chorros de chispas rojas. La acetona proporciona un funcionamiento errático, lo que es sorprendente.

- ◆ *Nitroparafinas:* La sustitución de una parte del metanol en una mezcla metanol – ricino por nitrometano, nitroetano o nitropropano puede incrementar las revoluciones del motor entre 1000 y 2000 RPM. A este respecto las nitroparafinas parecen ser únicas y son indispensables para aumentar realmente las revoluciones del motor. El inconveniente es su alto precio y que incrementan el consumo de combustible.

Las nitroparafinas tienen muy bajo contenido de energía, su valor calorífico es igual o menor al del metanol. Su poder se debe a su contenido en oxígeno (alrededor del 53% en peso en el caso del nitrometano), por lo que actúan como agente oxidante y permiten aumentar la relación combustible / aire.

Para evitar el autoencendido cuando se emplean nitroparafinas, siempre es necesario reducir la relación de compresión. Si por ejemplo un motor trabaja correctamente con una relación de compresión de 15:1 usando metanol como combustible, se podría añadir hasta un 20% de nitro reduciendo la compresión hasta 12:1, con un 60% de nitro la relación de compresión debería estar en torno a 9:1, o 7.5:1 si se emplea un 80 de nitro.

Con una mezcla que contenga una proporción elevada de nitro, hay que tener en cuenta que la relación combustible / aire será muy alta. Al 80% de nitro, la relación combustible / aire puede ser tan rica como 2:1 o tan pobre como 1:2. Usando un 20% de nitro, la relación combustible / aire puede estar entre 1:2 y 1:4.

El óxido de propileno suele usarse en combustibles con alto porcentaje de nitro para incrementar la velocidad de la combustión (cuanto mayor sea la proporción de nitrometano más lenta es la combustión), la cantidad a utilizar no debería nunca exceder el 15% de la cantidad de nitro presente en el combustible ya que la velocidad de la combustión podría incrementarse hasta el punto de producir detonación severa. Por ejemplo, si se utiliza un 70% de nitro, se podría usar un 10.5% de óxido de propileno:

$$15\% \cdot \frac{70}{100} = 10.5\%$$

El óxido de propileno puede hacerse explosivo si entra en contacto con cobre, sus aleaciones, o partículas de su óxido. Debe ser guardado en contenedores de aluminio o plástico. Una vez mezclado con otros combustibles, es relativamente estable.

La nitroparafina más utilizada es el nitrometano, producto de olor picante e irritante, incoloro. El resto de nitroparafinas no son tan estables ni aportan tanta ganancia de potencia como el nitrometano, por lo que no es recomendable su uso. El nitrometano se descompone fácilmente en contacto con el aire y la luz natural o artificial, es necesario conservarlo en

frascos de cristal color topacio o en envases metálicos totalmente opacos, llenos hasta el borde y cerrados con una capa adicional de parafina.

Estas precauciones no son tan necesarias cuando no se desee mantener la pureza al 100%. A medida que se va estropeando toma un color amarillento e incluso verdoso claro que indica el total deterioro y, por tanto, inutilidad para su uso. Los porcentajes usados a veces son excesivos, un combustible con el 25 a 40% de nitrometano, aparte de su elevado precio, normalmente destruye las bujías con gran rapidez. Se ha comprobado que con bajos porcentajes el incremento de RPM es notable, hasta un punto en que para incrementar un poco las RPM se precisa, en proporción, gran cantidad de nitro. En este punto se obtiene la mezcla más efectiva y económica a la vez.

El nitropropano puede usarse en proporciones de hasta un 12% para producir una ganancia de potencia del 5 al 6%, pero como se dijo más arriba, es preferible la utilización de nitrometano.

Si la mezcla de combustible contiene más de un 3% de acetona, no se debe usar nitropropano ni óxido de propileno

Mezclas de formulación especial para combustible glow

A continuación se exponen diversas fórmulas especiales que en teoría deben exprimir al máximo la potencia del motor. La intención de exponer aquí estas fórmulas no es la de destacar su valía sino más bien demostrar hasta dónde se puede llegar en el intento de conseguir la máxima potencia al motor. Por supuesto que estas fórmulas sólo deben ser utilizadas por modelistas altamente cualificados y con las debidas precauciones dada la peligrosidad de algunos de sus componentes.

Igualmente sólo deberán ser empleadas en motores capaces de soportar el sobrecalentamiento y sobrepotencia que producirán estas mezclas, los motores Rossi, Nelson, Jett son un ejemplo de motores de alta tecnología que, en teoría, deben poder resistir el sobreesfuerzo, un motor barato o no construido para alta potencia puede quedar destruido en cuestión de segundos.

Fórmulas usuales de mezclas según el americano George M. Aldrich

Para rodaje:

50%	Nitrometano.
20%	Aceite Ucon LB625; aceite de soja epoxidizado al 7.5% o aceite polióxido.
30%	Metanol.

Para pruebas:

60%	Nitrometano.
20%	Aceite Ucon LB625; aceite de soja epoxidizado al 7.5% o aceite polióxido.
20%	Metanol.

Para concurso:

65%	Nitrometano.
9%	Aceite de ricino desgomado 1ª prensada.
9%	Aceite Ucon LB625; aceite de soja epoxidizado al 7.5% o aceite polióxido.
7%	Nitrobenceno.
7%	Metanol

Para récords:

75%	Nitrometano.
18 a 20%	Aceite Ucon LB625; aceite de soja epoxidizado al 7.5% o aceite polióxido.
5%	Óxido de propileno.

Para rodaje:

50%	Nitrometano.
20%	Aceite Ucon LB625; aceite de soja epoxidizado al 7.5% o aceite polióxido.
30%	Metanol

Aldrich "C"; "The best" ("El mejor"):

72%	Nitrometano.
8%	Aceite Ucon LB625.
19%	Óxido de polipropileno.
10%	Ucon 1800 x.

Fórmula de Harry Roe "Top Hammer"

Para uso general:

72%	Nitrometano.
18%	Aceite Ucon LB625.
10%	Óxido de polipropileno




Fuentes de obtención de productos

- Aceite polióxido: Widget Racing Supplies & Fuels, P.O. Box 29, Concord. Cal., U.S.A.
- Aceite de soja epoxidizado al 7.5%: Archer, Daniels & Midland Co., Decatur, Illinois, U.S.A.
- Aceite Ucon LB625: Union Carbide Chemical Co., 270 Park Ave., New York N.Y, U.S.A.
- Metanol: P.Q.S. (Productos Químicos Sevillanos), España.
- Aceite de ricino: CASTROL.

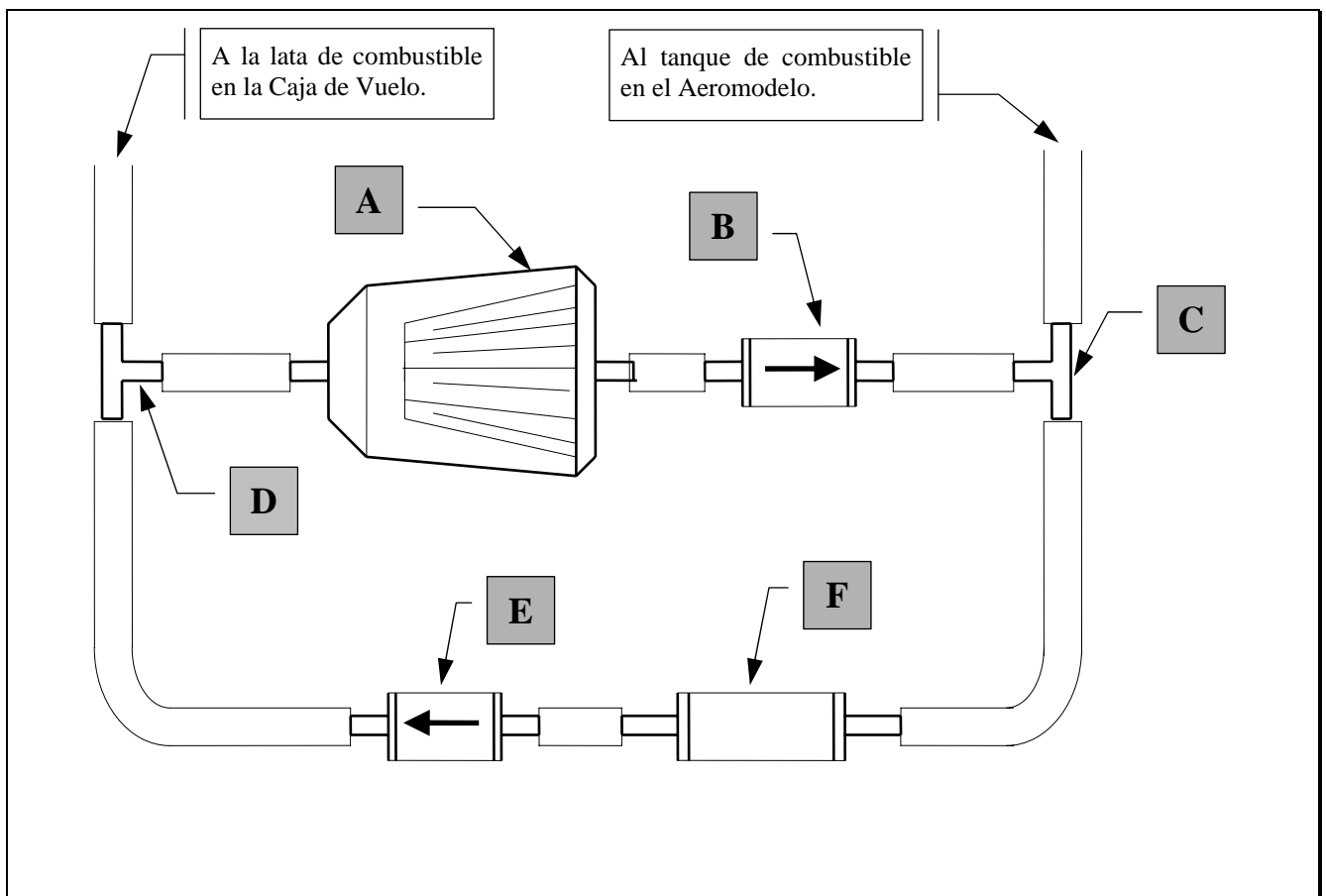
ANEXO - A, Sistema de filtrado automático de combustible

En lugar de filtrar el combustible una vez mezclado, tarea ésta lenta, peligrosa por los vapores que se desprenden y sucia por lo fácil que resulta que se derrame, simplemente guárdelo en su contenedor y utilice el dispositivo que se explica a continuación, se intercala en el tubo de silicona que se emplea para el llenado del depósito del aeromodelo.

VENTAJAS

-  La superficie de filtrado es mucho mayor que la de un filtro normal, por lo tanto el filtro dura mucho más y el combustible fluye también más fácilmente.
-  Cuando se vacía el tanque de combustible del aeromodelo, el combustible no pasa a través del filtro, de modo que éste no acumula la posible suciedad contenida en el depósito y que en posteriores llenados sería transferida de nuevo al mismo.
-  El filtro empleado es mucho más tupido que los filtros estándar para Aeromodelismo, por lo tanto el filtrado es prácticamente perfecto.

LISTA DE PIEZAS		
Cantidad	Clave en dibujo	Descripción
1	A	Filtro de combustible para motocicleta (del tipo de papel con cuerpo de plástico transparente).
2	B,E	Válvula de un solo sentido.
2	C,D	Acoplamiento en "T".
1	F	Filtro de combustible estándar.



EXPLICACIÓN

El tubo de combustible abierto que se aprecia en la parte superior izquierda del dibujo está conectado a la lata de combustible en la Caja de Vuelo a través de una bomba (puede ser manual o eléctrica). Cuando se reposta el

aeromodelo, el combustible fluye a través del circuito superior, de izquierda a derecha, piezas D-A-B-C (ver la dirección del flujo marcada en las válvulas de un solo sentido, por tanto el combustible es filtrado a la perfección.

En el sentido opuesto, cuando se vacía el tanque del aeromodelo, el combustible fluye a través del circuito inferior de derecha a izquierda, piezas C-F-E-D.

Como el filtro principal (pieza A) siempre se utiliza en un solo sentido, siempre suministrará combustible fresco sin ninguna impureza.

El filtro secundario (pieza F) no es estrictamente necesario y se ha añadido tan sólo para proteger la válvula de un sólo sentido (pieza E) de cualquier suciedad procedente del motor que pudiese perjudicar su buen funcionamiento.

ANEXO - B, Formato para toma de datos de posibles defectos

Elemento	Posición del defecto (grados respecto al PMS)	Observaciones
1. Motor completo, bujía quitada.		
2. Quitando además la tapa del cárter.		
3. Quitando además la culata.		
4. Camisa.	No aplica	
5. Juego bulón-pistón	No aplica	
6. Quitando además biela y pistón.		
7. Con una hélice colocada.		
8. Rodamientos	No aplica	

ANEXO - C, Conversión de unidades

Para las conversiones inversas, multiplique por la inversa de los factores de conversión dados.

Temperatura Unidad SI — Kelvin (K)		
Desde	a	Aplicar
grados Celsius/Centígrados (C)	K	+273.15
grados Fahrenheit (°F)	K	[(F-32) x 5/9] + 273.15

Longitud Unidad SI — metro (m)		
Desde	a	Multiplicar por
pulgadas	m	2.54×10^{-2}
pies	m	0.3048
yardas	m	0.9144
millas	m	1609.344
millas náuticas	m	1.853

Área Unidad SI — metro cuadrado (m ²)		
Desde	a	Multiplicar por
pulgadas cuadradas	m ²	6.45×10^{-4}
pies cuadrados	m ²	9.29×10^{-2}
yardas cuadradas	m ²	0.8361
millas cuadradas	m ²	2.59×10^6
acres	m ²	4047
hectáreas (ha)	m ²	10^4

Volumen Unidad SI — metro cúbico (m ³)		
Desde	a	Multiplicar por
pulgadas cúbicas	m ³	1.63871×10^{-5}
pulgadas cúbicas	cm ³	16.3871
pies cúbicos	m ³	2.83×10^{-2}
yardas cúbicas	m ³	0.765
pintas (Imperial)	m ³	5.68×10^{-4}
pintas (EEUU)	m ³	4.73×10^{-4}
galones (Imperial)	m ³	4.546×10^{-3}
galones (EEUU)	m ³	3.785×10^{-3}
onza líquida (Imperial)	cm ³	28.4
onza líquida (EEUU)	cm ³	29.57

Masa Unidad SI — kilogramo (kg)		
Desde	a	Multiplicar por
onza (oz)	Kg	2.84×10^{-2}
libra (lb)	Kg	0.4536
slug	Kg	14.59
tonelada (Imperial)	Kg	1016
tonelada (EEUU)	Kg	907.2
tonelada (métrica)	Kg	10^3

Fuerza y Peso		
Unidad SI — Newton (N)		
Desde	a	Multiplicar por
pundal (pdl)	N	0.1383
onza peso (oz f)	N	0.278
libra peso (lb f)	N	0.448
tonelada peso (ton f)	N	9964
gramo peso (g f)	N	9.807×10^{-2}
pondio (p)	N	9.807×10^{-2}
kilogramo peso (kg f)	N	9.807
dina	N	10^{-5}

Presión y Tensión		
Unidad SI — Pascal (N)		
Desde	a	Multiplicar por
atmósfera (atm)	Pa	9.807×10^3
pulgada de columna de agua (en WG)	Pa	248.9
pulgada de mercurio (en Hg)	Pa	3385
libras fuerza por pulgada cuadrada (lb f in ⁻² , psi)	Pa	6894.76
libras fuerza por pulgada cuadrada (lb f in ⁻² , psi)	mbar	68.9476
libras fuerza por pulgada cuadrada (lb f in ⁻² , psi)	mm Hg	51.6763
libras fuerza por pie cuadrado (lb f ft ⁻²)	Pa	47.88
milímetros de columna de agua (mm WG)	Pa	10.34
milímetros de mercurio (mm Hg) (torr)	Pa	131
newtons por metro cuadrado (Nm ⁻²)	Pa	1
kilopondios por centímetro cuadrado (kp cm ⁻²)	Pa	9.807×10^3
bar	Pa	10^5

Velocidad Lineal		
Unidad SI — metro por segundo (m s⁻¹)		
Desde	a	Multiplicar por
pies por segundo (f s ⁻¹)	m s ⁻¹	0.3048
pies por minuto (f m ⁻¹)	m s ⁻¹	5.08×10^3
millas por hora (mph)	m s ⁻¹	0.447
nudos	m s ⁻¹	0.5145
metros por minuto (m min ⁻¹)	m s ⁻¹	1.667×10^{-2}
kph (km h ⁻¹)	m s ⁻¹	0.2778

Velocidad Angular		
Unidad SI — radianes por segundo (rad s⁻¹)		
Desde	a	Multiplicar por
revoluciones por minuto (rpm)	rad s ⁻¹	$0.1037 = \frac{2\pi}{60}$
revoluciones por segundo (r s ⁻¹)	rad s ⁻¹	$6.283 = 2\pi$
grados por segundo (° s ⁻¹)	rad s ⁻¹	$1.75 \times 10^{-2} = \frac{2\pi}{360}$

Par		
Unidad SI — Newton metro (Nm)		
Desde	a	Multiplicar por
oz f in	Nm	7.062×10^{-3}
lb f in	Nm	0.11298
lb f ft	Nm	1.3558
kg f m	Nm	9.8067
kp m	Nm	9.8067

Energía o Trabajo Unidad SI — Julio (J)		
Desde	a	Multiplicar por
British Thermal Unit (BTU)	J	1.055×10^3
therm (BTU x 10^5)	J	1.055×10^8
caloría (cal)	J	4.187
ft lb peso (ft lb f)	J	1.356
ft poundal (ft pdl)	J	0.0421
kilopondio metro (kp m)	J	9.806
kilovatio hora (kWh)	J	3.601×10^6

Potencia Unidad SI — Kilovatio (KW)		
Desde	a	Multiplicar por
horsepower (RU) (hp)	KW	0.7457
caballo de vapor (cv)	KW	0.7355
pferdestärke (ps)	KW	0.7355
foot pound force por segundo (ft lb f s ⁻¹)	KW	1.36×10^{-3}
British Thermal Unit por segundo (BTUs s ⁻¹)	KW	1.055056
kilocalorías por segundo (kcal s ⁻¹)	KW	4.1868

Momento de Inercia Unidad SI — kilogramo metro cuadrado (Kg m ²)		
Desde	a	Multiplicar por
kg f m ² (= GD ²)	Kg m ²	0.25
lb f ft ² (= WK ²)	Kg m ²	4.214×10^{-2}
kp m s ²	Kg m ²	9.807
ft lb f s ²	Kg m ²	1.356
lb f in ²	Kg m ²	2.926×10^{-4}
oz f in ²	Kg m ²	1.829×10^{-5}

Caudal Unidad SI — metro cúbico por segundo (m ³ s ⁻¹)		
Desde	a	Multiplicar por
pie cúbico por segundo (cusec)	m ³ s ⁻¹	2.83×10^{-3}
pie cúbico por minuto (cfm)	m ³ s ⁻¹	4.72×10^{-4}
galones por hora (Imperial)	m ³ s ⁻¹	1.26×10^{-6}
galones por hora (EEUU)	m ³ s ⁻¹	1.05×10^{-6}
litros por segundo (l s ⁻¹)	m ³ s ⁻¹	10^{-3}
litros por minuto (l min ⁻¹)	m ³ s ⁻¹	1.67×10^{-5}
metros cúbicos por minuto (m ³ min ⁻¹)	m ³ s ⁻¹	1.67×10^{-2}
metros cúbicos por hora (m ³ h ⁻¹)	m ³ s ⁻¹	2.78×10^{-4}

Bibliografía

Revista Model Aviation, Enero del 78

Revista Model Airplane News, múltiples números

Revista RCM&E, múltiples números

Revista RC Model, múltiples números

All About Engines

2-Stroke Glow Engines for R/C Aircraft

Four-Stroke Performance Tuning, Autor A. Graham Bell, Editorial Haynes Publishing.

Física, Autor Luis Bru Villaseca, Editado por Librería Internacional de Romo, S.L.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ABC	= “Aluminum, Brass, Chrome”, se traduce como: Aluminio, Latón, Cromo. Un motor tipo ABC posee un pistón de aluminio y camisa de latón cromado.
APMI	= Antes del Punto Muerto Inferior.
APMS	= Antes del Punto Muerto Superior.
cc	= Centímetros cúbicos.
Cir-clip	= Anillo de acero cuerda de piano en forma de G, su función es evitar que el bulón pueda rozar contra la camisa.
CNC	= Maquinaria de mecanizado por control numérico.
DPMI	= Después del Punto Muerto Inferior.
DPMS	= Después del Punto Muerto Superior.
Epoxi	= Pegamento epóxico de dos componentes.
Glow	= Sistema de encendido a bujía de incandescencia.
mm	= Milímetros.
PMI	= Punto Muerto Inferior, es el punto más bajo del recorrido del pistón en la camisa.
PMS	= Punto Muerto Superior, es el punto más alto del recorrido de pistón en la camisa.
R/C	= Radio Control.
Rodaje	= Período de funcionamiento al comienzo de la vida del motor durante el cual las piezas móviles del motor se acoplan perfectamente entre sí y se suavizan sus superficies, de este modo cuando al motor se le exija su máximo rendimiento no se sobrecalentará y dañará por causa de un rozamiento excesivo entre sus partes móviles.
RPM	= Revoluciones Por Minuto.
Silent-block	= Amortiguador de vibración.
Rodamiento blindado	= Se dice de aquél rodamiento que posee una lámina de protección que tapa la jaulilla y las bolas para evitar que la suciedad le perjudique, el blindado puede ser por una o ambas caras.