

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**SECCIONAMIENTO DE UN MOTOR RECÍPROCO DE
COMBUSTIÓN INTERNA DE CUATRO TIEMPOS PARA
REALIZAR OBSERVACIONES Y PRÁCTICAS EN EL
LABORATORIO DE MOTORES RECÍPROCOS DEL I.T.S.A.**

POR:

PÉREZ VILLACÍS VÍCTOR DANIEL

Proyecto de Grado como requisito para la obtención del Título de:

TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA

2005

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **PÉREZ VILLACÍS VÍCTOR DANIEL**, como requerimiento parcial a la obtención del título de **TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA**.

Ing. Guillermo Trujillo

Jueves, 1 de Septiembre de 2005

DEDICATORIA

A mis padres quienes con su nobleza y entusiasmo depositaron en mi su apoyo y confianza, para ser útil a la sociedad y a la Patria.

A mis hijas Ámbar y Milena Pérez quienes han sido el soporte fundamental en mi estabilidad emocional e incentivo para seguir superándome día a día; a mi querida esposa Soledad con todo mi amor y cariño, quien me brindó incondicionalmente su apoyo e ideas para la elaboración de este proyecto.

A mis hermanos Edison, Joel y Marcelo Pérez, ya que su apoyo permanente, ha sido el incentivo moral para mi éxito personal y profesional, porque solo la armonía familiar brindan el ambiente propicio para la superación y entrega.

AGRADECIMIENTO

Mi eterna gratitud a Dios quien con su divina bondad ha hecho posible la culminación de esta carrera.

A mi familia quienes me apoyaron en todo momento de manera especial a mi tío Julio Villacís testigo de mis triunfos y fracasos.

Al Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico **ITSA** del cual me llevo las mejores enseñanzas y en especial al Ing. Guillermo Trujillo quien con su acertada dirección y conocimientos profesionales ha hecho posible que este proyecto se haya logrado culminar con éxito.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen.....	1
Planteamiento del problema.....	2
Justificación.....	2
Objetivos.....	3
Alcance.....	3

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1. Funcionamiento.....	4
1.2. Componentes de un motor.....	7
1.2.1. El cilindro.....	7
1.2.2. La culata.....	8
1.2.3. El bloque.....	9
1.2.4. El cárter de aceite.....	10
1.2.5. El émbolo.....	11
1.2.6. La biela.....	14
1.2.7. El cigüeñal.....	16
1.2.8. Las válvulas.....	18
1.3. Principio de funcionamiento “Ciclo Otto”.....	24
1.4. Cruce de válvulas.....	27
1.5. El motor en línea.....	29
1.6. Orden de encendido en motores de varios cilindros.....	29
1.7. El ciclo del motor de cuatro tiempos.....	30

CAPÍTULO II ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE SECCIONAMIENTO

2.1. Definición de alternativas.....	34
2.1.1. Primera alternativa.....	34

2.1.2. Segunda alternativa.....	34
2.2. Análisis de factibilidad.....	34
2.2.1. Primera alternativa: ventajas y desventajas.....	35
2.2.2. Segunda alternativa: ventajas y desventajas	35
2.3. Estudio técnico.....	35
2.3.1. Aspecto técnico.....	36
2.3.2. Aspecto económico.....	37
2.3.3. Aspecto complementario.....	37
2.4. Selección de la mejor alternativa.....	40

CAPÍTULO III

CONSTRUCCIÓN

3.1. Diseño de seccionamiento.....	41
3.2. Diagramas de seccionamiento.....	41
3.3. Proceso de desmontaje de los elementos del motor.....	41
3.3.1. Desmontaje de la culata.....	41
3.3.2. Desmontaje del cárter de aceite.....	42
3.3.3. Desmontaje de la polea.....	42
3.3.4. Desmontaje de la caja de engranajes de sincronización.....	43
3.3.5. Desmontaje del volante.....	43
3.3.6. Desmontaje del cigüeñal.....	43
3.3.7. Desmontaje del múltiple de admisión y escape.....	45
3.3.8. Desmontaje de la bomba de agua.....	45
3.3.9. Desmontaje de las válvulas.....	46
3.4. Proceso de seccionamiento de cada uno de los elementos del motor.....	46
3.4.1. Señalización de los elementos a cortar.....	46
3.4.2. Corte del bloque.....	48
3.4.3. Corte de la culata.....	48
3.4.4. Corte del cárter de aceite.....	50
3.4.5. Corte de los múltiples de admisión y escape.....	52
3.4.6. Corte del émbolo.....	52
3.4.7. Corte de la bomba de agua.....	53

3.4.8. Remoción de aristas de corte y preparación para el pintado.....	55
3.5. Proceso de pintado de las secciones del motor.....	59
3.5.1. Pintado del bloque.....	59
3.5.2. Pintado de la culata.....	60
3.5.3. pintado del cárter de aceite.....	61
3.5.4. Pintado del cigüeñal.....	62
3.5.5. Pintado del volante.....	63
3.5.6. Pintado del múltiple de admisión.....	63
3.5.7. Pintado del múltiple de escape.....	64
3.5.8. Pintado de las camisas.....	65
3.5.9. Pintado de la bomba de agua.....	65
3.5.10. Pintado de la caja de engranajes de sincronización.....	67
3.5.11. Pintado de los elementos de distribución.....	67
3.6. Proceso de montaje de los elementos del motor.....	69
3.6.1. Montaje del cigüeñal.....	69
3.6.2. Montaje de los pistones.....	69
3.6.3. Montaje de la caja de engranajes de sincronización.....	70
3.6.4. Montaje de la polea.....	70
3.6.5. Montaje del cárter de aceite.....	71
3.6.6. Montaje del volante.....	72
3.6.7. Montaje de la culata.....	73
3.6.8. Montaje de la bomba de agua.....	74
3.6.9. Montaje de los múltiples de admisión y escape.....	75
3.6.10. Montaje del balancín.....	76

CAPÍTULO IV

ESTUDIO ECONÓMICO

4.1. Presupuesto.....	82
4.2. Análisis económico.....	82

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	86
5.2. Recomendaciones.....	86
Bibliografía.....	87
Anexos.....	88

Listado de Gráficos

Figura 1.1. Elementos del motor.....	5
Figura 1.2. Culata de un motor mostrando las cámaras de explosión.....	9
Figura 1.3. Bloque de 4 cilindros.....	10
Figura 1.4. Cárter de aceite.....	11
Figura 1.5. Distintas formas de disponer los segmentos.....	12
Figura 1.6. El émbolo y sus anillos de retención.....	13
Figura 1.7. Biela: 1,cabeza; 2,vástago; 3,pie.....	15
Figura 1.8. Cigüeñal de 3 cuellos y 4 muñequillas.....	17
Figura 1.9. La válvula.....	19
Figura 1.10. Propulsores 1; varilla 2; balancín 3; válvula 4.....	21
Figura 1.11. Disposición de las válvulas en el cilindro.....	22
Figura 1.12. Ciclo de Otto de aire normal.....	24
Figura 1.13. Rendimiento del ciclo de Otto en función de la relación de compresión.....	25
Figura 1.14. Relación de compresión.....	27
Figura 1.15. Dimensiones del cilindro.....	29
Figura 1.16. Ciclo del motor de cuatro tiempos.....	31
Figura 1.17. Funcionamiento: 4 carreras = 1 fase de trabajo.....	32
Figura 3.1. Desmontaje de los pernos fijación de la culata al bloque.....	42
Figura 3.2. Remoción de los pernos de la tapa de la biela.....	44
Figura 3.3. Desmontaje del pistón y de la biela del motor.....	45
Figura 3.4. Desmontaje de los seguros de las válvulas.....	46
Figura 3.5. Señalización de los elementos a cortar.....	47
Figura 3.6. Corte del bloque.....	49
Figura 3.7. Corte de la culata.....	50
Figura 3.8. Corte del cárter de aceite.....	51
Figura 3.9. Corte de los múltiples de admisión y escape.....	52
Figura 3.10. Corte del émbolo.....	53
Figura 3.11. Corte de la bomba de agua.....	54
Figura 3.12. Elementos seccionados del motor.....	54
Figura 3.13. Herramientas utilizadas en el proceso de corte.....	55
Figura 3.14. Proceso de pulido de los elementos seccionados del motor.....	56

Figura 3.15. Proceso de limado de los elementos seccionados del motor.....	56
Figura 3.16. Eliminación de la corrosión en el bloque.....	57
Figura 3.17. Bloque pintado.....	60
Figura 3.18. Culata pintada.....	61
Figura 3.19. Cáster de aceite pintado.....	62
Figura 3.20. Cigüeñal pintado.....	62
Figura 3.21. Volante pintado.....	63
Figura 3.22. Múltiple de admisión pintado.....	64
Figura 3.23. Múltiple de escape pintado.....	65
Figura 3.24. Camisas pintadas.....	66
Figura 3.25. Bomba de agua pintada.....	66
Figura 3.26. Caja de engranajes de sincronización pintada.....	67
Figura 3.27. Elementos de distribución pintados.....	68
Figura 3.28. Montaje del cigüeñal y los pistones.....	70
Figura 3.29. Montaje de la caja de engranajes de sincronización y la polea.....	71
Figura 3.30. Montaje del cáster de aceite.....	72
Figura 3.31. Montaje del volante.....	73
Figura 3.32. Montaje de la culata.....	74
Figura 3.33. Montaje de la bomba de agua.....	75
Figura 3.34. Montaje de los múltiples de escape y admisión.....	76
Figura 3.35. Montaje del balancín.....	77
Figura 3.36. Soporte del motor.....	78
Figura 3.37. Motor seccionado para realizar observaciones y practicas (vista frontal).....	79
Figura 3.38. Motor seccionado para realizar observaciones y practicas (vista lateral derecha).....	80
Figura 3.39. Motor seccionado para realizar observaciones y practicas (vista lateral izquierda).....	81

Listado de Tablas

Tabla 2.1. Matriz de evaluación.....	38
Tabla 2.2. Matriz de decisión.....	39
Tabla 3.1. Código de colores para el pintado.....	68
Tabla 4.1. Costo de Materiales.....	83
Tabla 4.2. Costo de Máquinas-Herramientas.....	84
Tabla 4.3. Costo de Otros.....	84
Tabla 4.4. Costo total.....	85

Listado de Anexos

- Anexo A. Plano del corte parcial de aproximadamente $\frac{1}{2}$ motor.
- Anexo B. Plano del corte parcial de $\frac{1}{4}$ del motor.
- Anexo C. Planos de corte de los elementos principales del motor.
- Anexo D. Máquinas-Herramientas.
- Anexo E. Procedimientos de seguridad y mantenimiento.

Glosario

PMI	=	Punto muerto inferior
PMS	=	Punto muerto superior
SV	=	Válvulas laterales
OHV	=	Válvulas en cabeza y mando por eje de levas en posición baja
OHC	=	Válvulas en cabeza y mando por eje de levas en la culata.

RESUMEN

El presente proyecto contiene el desarrollo del funcionamiento y disposición de los sistemas que constituyen el motor recíproco de combustión interna de cuatro tiempos en su forma actual, de acuerdo a la: combustión, refrigeración, lubricación y sistema eléctrico. Así como de su mantenimiento y aplicaciones.

Incluye además el análisis de la factibilidad de seccionamiento con dos alternativas de corte: Corte parcial de $\frac{1}{2}$ del motor; Corte parcial de $\frac{1}{4}$ del motor, para esto se realizó un estudio técnico de cada una de las alternativas, el cual permitió asignar un cierto valor en cada uno de los parámetros de selección, los mismos que están en función de las ventajas y desventajas de dichas alternativas, las cuales permitieron determinar la mejor alternativa de corte.

En este material se describe detalladamente el proceso de seccionamiento del motor, durante el desmontaje, seccionamiento, pintado y ensamble de cada uno de los elementos del motor. De esta manera se da a conocer cada uno de los pasos realizados en el proceso de construcción de este proyecto.

Contiene también un análisis económico del consumo de materiales, maquinasherramientas, útiles y equipos de oficina utilizados en el desarrollo de dicho proyecto. Así también, la descripción de los procedimientos de seguridad y mantenimiento del motor.

Este proyecto tiene un doble aspecto el didáctico y el consultivo, el cual será útil a todos aquellos que ahora y en un futuro inmediato se han de enfrentar a los problemas que plantea la utilización y mantenimiento de este motor.

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico es un centro educativo especializado en carreras aeronáuticas, que enfoca a sus estudiantes hacia las exigencias de la aviación actual, por tal motivo es necesaria la utilización de herramientas didácticas que ayudaran a la mejor enseñanza hacia sus alumnos.

En vista que dentro de la aviación actual existen aviones pequeños que funcionan con motores recíprocos ya sean radiales o en línea, el laboratorio de motores recíprocos del I.T.S.A. cuenta ya con un motor seccionado de dos cilindros el cual no satisface las necesidades requeridas por los estudiantes, por lo que se ha visto la necesidad de realizar el seccionamiento de un motor de combustión interna de cuatro tiempos cuatro cilindros en línea el cual servirá de material didáctico que facilite y amplíe el mejor entendimiento, conocimiento y capacitación de los estudiantes de la carrera de mecánica aeronáutica del I.T.S.A. en cuanto al funcionamiento interno y componentes principales de un motor recíproco.

JUSTIFICACIÓN

El Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico al ser un ente de enseñanza superior, en la rama de la aviación debe contar con métodos y herramientas didácticas que permitan a sus estudiantes asimilar con eficiencia los conocimientos impartidos por los instructores sobre todo en el laboratorio de motores recíprocos.

Este material didáctico será de mucha ayuda para los estudiantes de la Carrera de Mecánica Aeronáutica ya que necesitan estar bien capacitados para realizar tareas de mantenimiento con mayor conocimiento y responsabilidad principalmente en el área de motores recíprocos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar el seccionamiento de un motor recíproco de combustión interna de cuatro tiempos que permita realizar prácticas y observaciones de sus componentes y funciones principales en el laboratorio de motores recíprocos del I.T.S.A.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recolectar información del motor recíproco y sus partes.
- Describir las partes y componentes de un motor recíproco de combustión interna.
- Realizar un análisis de seccionamiento.
- Seccionamiento del motor.

ALCANCE

- Este material facilitará el aprendizaje e interpretación del: orden de encendido, calibración de válvulas, y funcionamiento interno de un motor recíproco de combustión interna de cuatro tiempos.
- Permitirá ampliar el material didáctico para la especialidad de Mecánica motores principalmente en el laboratorio de motores recíprocos.
- Este proyecto va dirigido hacia el laboratorio de motores recíprocos para ser directamente aplicado en el área de mecánica – motores.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Funcionamiento

Los motores de combustión interna son aquellos en que el trabajo se produce aprovechando el calor desarrollado al quemarse una mezcla de combustible-aire en una cámara cerrada, que como consecuencia de la combustión experimenta una transformación química, quedando finalmente constituido por gases de combustión y calor, que hacen aumentar la temperatura originando una tendencia a expansionarse (aumento de volumen); esta tendencia puede transformarse en el movimiento de un mecanismo y este aprovecharse como fuente de energía o fuerza motriz.

En una cámara cilíndrica, se realiza la combustión, con lo cual se eleva la presión en esta cámara, y el émbolo es empujado hacia abajo transmitiendo por medio de la biela el movimiento a una manivela (cigüeñal), con lo cual se transforma en un movimiento de giro del eje. La energía de giro acumulada en un volante solidario del eje, hace que este siga moviéndose empujando el émbolo hacia la parte superior del cilindro, que se ha puesto en este momento en comunicación con la atmósfera y expulsando así los gases quemados. Cuando el émbolo ha llegado a su parte superior, el mecanismo se halla en las mismas condiciones que al principio y puede repetirse el ciclo.

Si el encendido se efectúa eléctricamente, como en el caso del motor de gasolina, se habla de encendido independiente; si se lleva a cabo por la misma temperatura que alcanzan los gases al comprimirse, como en el motor Diesel, se habla de autoencendido.

Elementos del motor

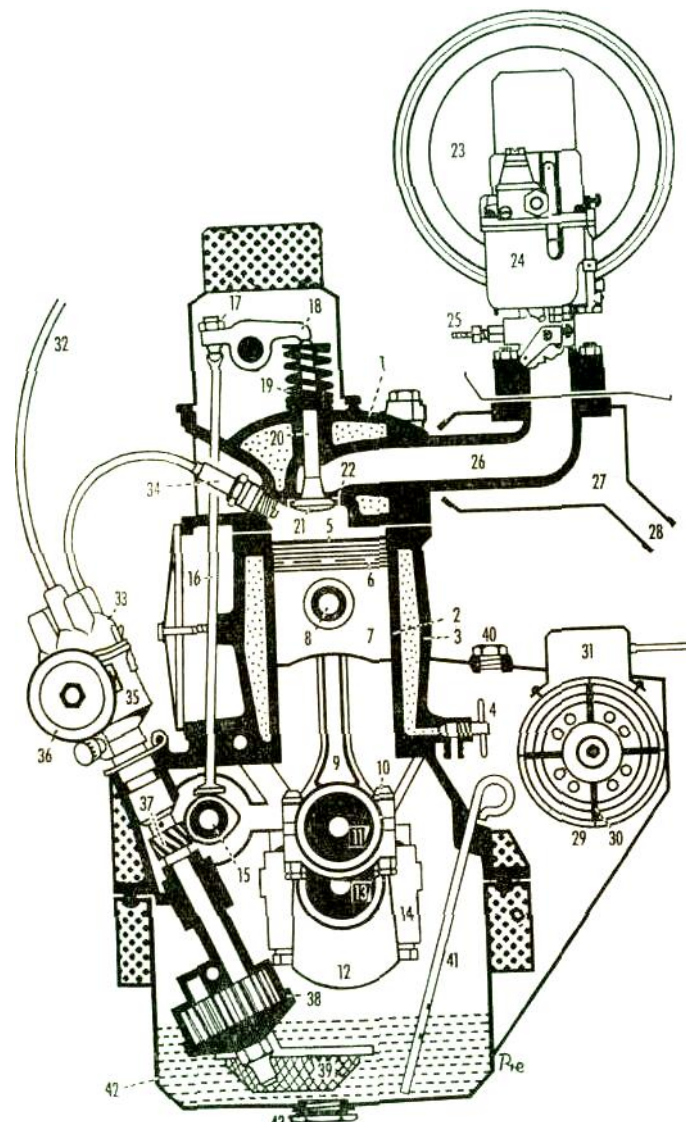


Fig.1.1 Elementos del motor.

Cilindro, émbolo, cigüeñal

1. Bloque cilindro.
2. Pared del cilindro.
3. Pared de la cámara de refrigeración.
4. Grifo de vaciado.
5. Fondo o cabeza del pistón.
6. Segmentos.
7. Cuerpo del émbolo o pistón.
8. Bulón.
9. Brazo de la biela.

10. Cabeza de la biela.
11. Codo del cigüeñal.
12. Contrapeso del cigüeñal.
13. Eje del cigüeñal.
14. Apoyo del cigüeñal.

Distribución

15. Leva o excéntrica.
16. Empujador del balancín.
17. Tornillo regulador.
18. Muelle de apoyo del balancín.
19. Balancín.
20. Válvula.
21. Cabeza de la válvula.
22. Asiento de la válvula.

Carburador

23. Filtro de aire y amortiguador de ruidos de la admisión.
24. Cubeta del carburador.
25. Entrada de la gasolina.
26. Colector de admisión.
27. Campana de precalentamiento.
28. Escape.

Equipo eléctrico

29. Dínamo.
30. Paletas de refrigeración.
31. Regulador.
32. Cable de la bobina.
33. Tapa del delco.
34. Bujía.
35. Delco o distribuidor.
36. Regulador de avance automático.
37. Engranaje del ruptor y del distribuidor (a través del árbol de levas).

Lubricación

37. Engranaje de la bomba de aceite (a través del árbol de levas).
38. Bomba de aceite.
39. Filtro de aceite.
40. Tapón de llenado del cárter.
41. Varilla de nivel.
42. Cárter de aceite.
43. Tapón de vaciado

1.2. Componentes de un motor

Para hacer comprensible lo que realmente ocurre en el motor, primero se describen sus componentes y funciones principales. A continuación se presenta una descripción, pieza por pieza, del motor.

1.2.1 El cilindro

Es una cámara cilíndrica, como su nombre indica, por la que se desliza el émbolo. Se halla en el interior del bloque, ya como cuerpo independiente o como parte integrante en la fundición del mismo. Suele ser de fundición gris, aunque en motores de gran rendimiento se construye, en algunos casos, de aleaciones ligeras para ahorrar peso. Cuando es de fundición gris, puede llevar camisas independientes, pero cuando es de aleación ligera necesariamente tiene que tenerlas incorporadas de otro material más resistente. Los cilindros de un motor pueden ser de uno de los cuatro tipos siguientes: camisa húmeda, camisa seca, perforado sin camisa o enfriado con aire.

1.-Tipo de camisa húmeda.-

Esta diseñado con varias perforaciones grandes en las que se introducen las camisas de los cilindros. Dichas perforaciones se diseñan de manera que el refrigerante circule alrededor de las camisas. Mediante la colocación de arosellos en el fondo de los recubrimientos se impide que el refrigerante se fugue al carter o a la caja del cigüeñal. En la parte superior

del monobloque se corta un contra taladro para que ajuste el reborde de la camisa y para impedir el paso del refrigerante.

2.-Tipo de camisa seca.-

Esta diseñado con un orificio perforado o rectificando en el monoblock, el cual no permite el contacto entre el refrigerante y la camisa de los cilindros.

3.-Tipo perforado o sin camisa.-

Tiene perforaciones hechas para los cilindros, con los pistones y sus anillos insertados directamente en estas perforaciones. No hay lugar en el monoblock para las camisas húmeda o seca.

4.-Tipo enfriado por aire.-

Es semejante al monoblock perforado, ya que no cuenta con camisas en los cilindros, sino con perforaciones hechas para los pistones. No cuenta con conductos de refrigerante ni camisas de agua; se agregan aletas al monoblock del cilindro para disipar mejor el calor. El enfriamiento se realiza mediante el paso del aire alrededor de las aletas.

1.2.2. La culata

Es la pieza que cierra el cilindro por su parte superior. En ella se rosca estancamente la bujía y están colocadas las válvulas y juntamente con el émbolo forma o contiene la cámara de combustión. (En motores para automóviles de carreras o motores de aviación se colocan frecuentemente dos bujías.) La culata se fija al bloque mediante espárragos o tornillos.

La junta de culata hace estanca a los gases la unión del cilindro con la culata. Las culatas desmontables son piezas fundidas de hierro o aleación ligera con sus paredes generalmente dobles, dejando entre ellas una cámara para la circulación de agua, con el fin de enfriar la pared de la cámara de combustión, los conductos de escape y las guías de válvula cuando estas están situadas en ella. Constituyendo un conjunto resistente a la temperatura al mismo tiempo que mantiene la suficiente

elasticidad como para absorber las pequeñas irregularidades que pueden presentar las caras de contacto del bloque y la culata.

Las culatas pueden encontrarse en distintas configuraciones según el número de cilindros que cubren. Las diferentes configuraciones están diseñadas para cubrir factores tales como el peso, evitar la combadura, facilidad de manejo.

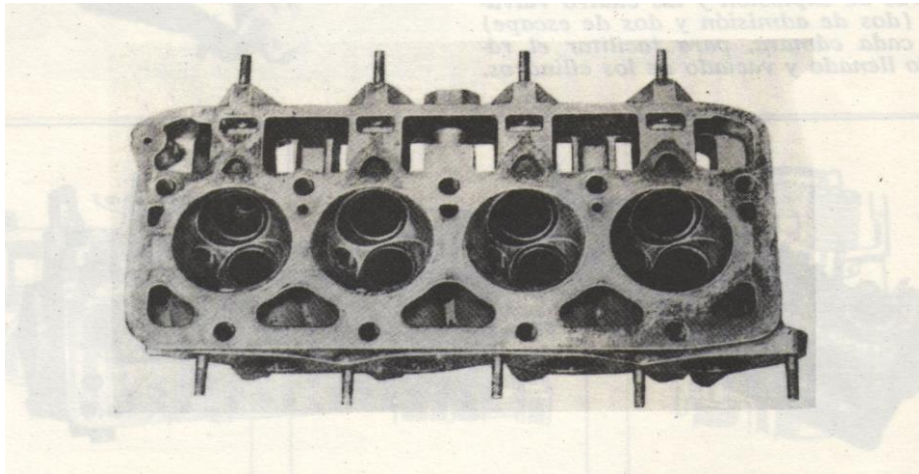


Fig.1.2 Culata de un motor mostrando las cámaras de explosión.

1.2.3. El bloque

Se puede describir como la pieza mas grande y la estructura principal o “columna vertebral” del motor . Aloja a los cojinetes del cigüeñal y recibe a los cilindros en el caso de que sean independientes. De no ser así, éstos no son otra cosa que taladros de gran diámetro en el bloque. Todas las demás partes del motor van atornilladas o conectadas de alguna manera al monoblock.

Aunque el bloque presenta necesariamente una forma irregular, debe ser tal su diseño, que pueda mecanizarse dentro de estrechos límites de precisión, de tal manera que todas las piezas puedan montarse y que todas las cubiertas de engranajes y tapas de aceite se ajusten sobre sus asientos, de forma que constituyan un conjunto estanco al aceite.

Las formas constructivas y las soluciones adoptadas en cada bloque de cilindros, dependen del tipo y tamaño del motor.

En el bloque se apoya el cigüeñal y generalmente el eje de levas, a cada extremo del bloque va un cojinete para el cigüeñal. Lo mas frecuente es que haya un cojinete colocado entre cada dos cilindros y que el cigüeñal esté dotado de un cojinete mas que el número de cilindros que haya en una línea de cilindros del motor.

Los cojinetes del cigüeñal están formados por una aleación especial de acero y pueden ser sustituidos en caso de desgaste.

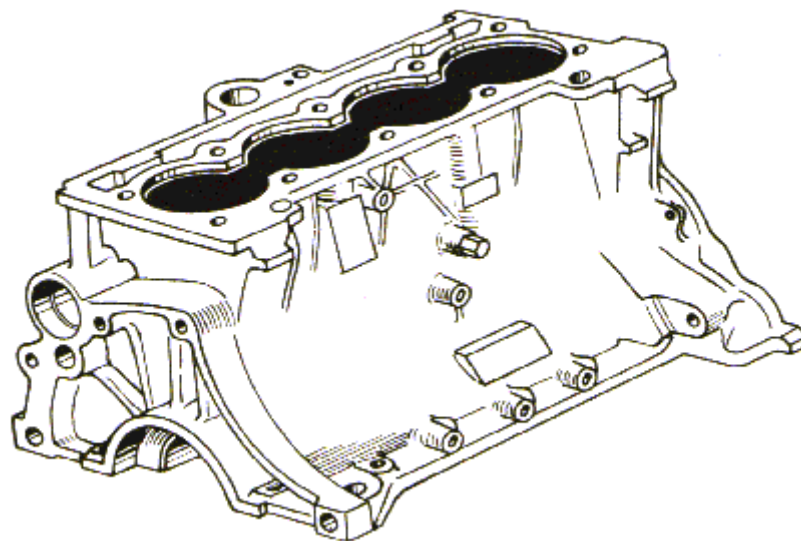


Fig.1.3 Bloque de 4 cilindros.

1.2.4. El cárter de aceite

Es la pieza que va unida al bloque por su parte inferior, cerrándolo y conteniendo el aceite necesario para la lubricación de las piezas móviles del motor. Entre el bloque y el cárter de aceite se suele colocar una junta que da estanqueidad al conjunto una vez atornillado. Se construye generalmente de chapa ya que no tiene que soportar ninguna presión especial.

En su punto más bajo se sitúa el orificio de vaciado de aceite cuyo nivel se comprueba mediante una varilla de medición incorporada.

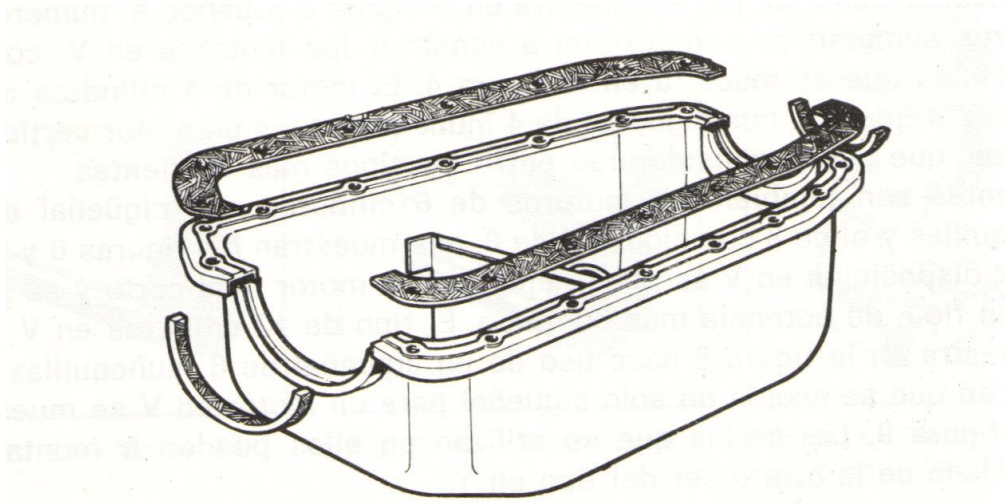


Fig.1.4 Cáster de aceite.

1.2.5. El émbolo

El primer elemento móvil del motor es el émbolo que recoge y transmite la fuerza que ejercen los gases al dilatarse. Los gases de la combustión actúan sobre toda la superficie superior del émbolo formando una fuerza que es la que realmente empuja hacia abajo el émbolo, esta fuerza tiene dos efectos: uno, que hace bajar la biela y girar el cigüeñal, y otro que empuja el émbolo contra la pared del cilindro, que le sirve de guía. Debe deslizar estancamente por el cilindro sin producir innecesarias pérdidas por rozamiento debidas a un ajuste muy forzado. En general se fabrica de una aleación de aluminio fundida y endurecida. En los motores de gran rendimiento se suelen utilizar émbolos obtenidos de una pieza forjada igualmente en aleación ligera.

Estas aleaciones tienen una ventaja principalísima sobre las demás: un bajo peso específico. Se comprende cuan importante resulta en este sentido una pequeña diferencia en gramos si se considera que normalmente el émbolo o pistón realiza de 6000 a 7000 recorridos por minuto, del PMS al PMI.

Y lo más notable de este hecho es que a cada cambio de sentido, es preciso frenar, parar y poner nuevamente en movimiento la «masa» del émbolo.

Las aleaciones ligeras tienen, sin embargo, la desventaja de su elevado coeficiente de dilatación ante los cambios de temperatura, el cual, desgraciadamente difiere del

que posee el cilindro. Este hecho es inevitable, y la única solución al problema de estanqueidad que se presenta bajo estas difíciles circunstancias la dan los segmentos, unos anillos cortados, contruidos en acero o fundición elástica. El corte normalmente es oblicuo o en forma de escalón para dificultar en lo posible la fuga de los gases durante la compresión. Por otra parte se montan de tal manera que los cortes de dos segmentos consecutivos se hallen desfasados en 180°.

Los anillos del pistón están diseñados con un diámetro sin instalar mayor que el del orificio del cilindro, de manera que cuando se instalan, aplican una presión radial a la pared del cilindro.



Fig.1.5 Distintas formas de disponer e los segmentos . En cada caso, el segmento superior es el de retención los dos intermedios, de compresión y el inferior en el rascador

Los segmentos van alojados en las ranuras que a este objeto posee el émbolo. Los que ocupan la posición superior sirven fundamentalmente como elementos de estanqueidad contra las paredes del cilindro, mientras que los que ocupan la posición más baja tienen la función específica de arrastrar hacia abajo el exceso de aceite lubricante (segmento rascador).

La superficie externa de la cabeza del émbolo, que lo cierra por su parte superior cuando está en posición de trabajo, suele ser cóncava para permitir a los gases de la combustión una mayor superficie sobre la que actuar.

Aproximadamente hacia la mitad del cuerpo del émbolo se encuentran dos taladros opuestos que alojarán al eje del pistón, sobre el cual se articula un extremo de la biela. Este eje se fija al pistón mediante anillos de retención que evitan su desplazamiento lateral que dañaría la pared del cilindro.

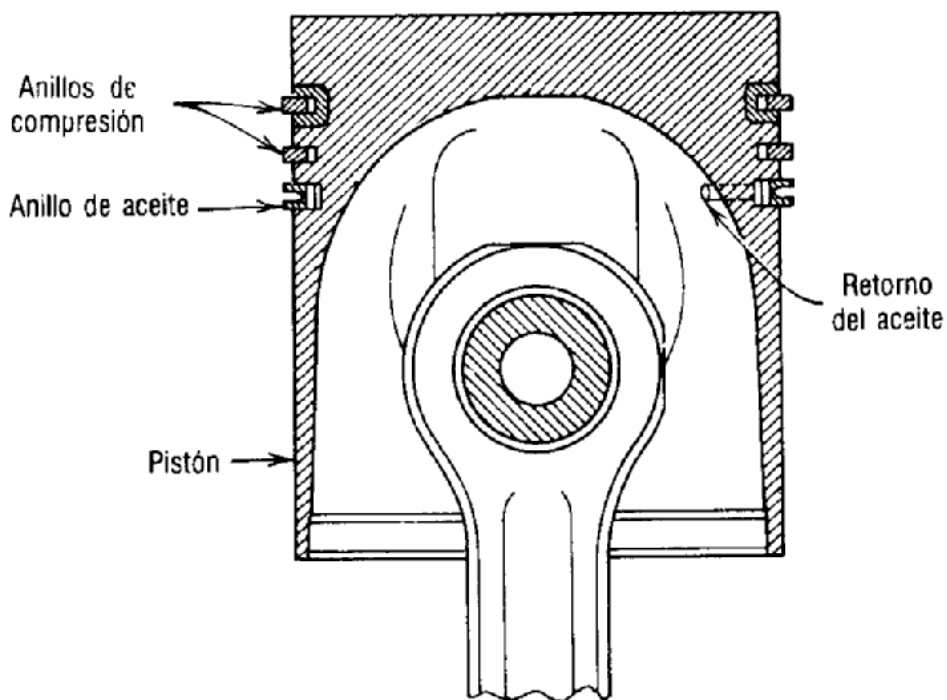


Fig.1.6 El émbolo y sus anillos de retención

Por lo regular el pistón contará con varios tipos diferentes de anillos instalados en el mismo. A continuación se mencionan tres tipos:

1. Anillo de Compresión (posición superior). Los anillos de compresión o superiores sellan la compresión y la presión ocasionada por la combustión en la cámara.
2. Anillo combinado de compresión y rascador de aceite (segunda ranura). Este segundo anillo es en general una combinación de anillo de compresión y rascador de aceite, pues ayuda a controlar la pérdida de combustión y a controlar el aceite.
3. Anillo de control del aceite (tercera o cuarta ranura según sea el número total de anillos en el pistón). El anillo para control del aceite esta diseñado para controlar el flujo de aceite a las paredes del cilindro en la carrera ascendente del pistón y para lubricar y barrer el aceite hacia abajo en la carrera descendente.

No todos los pistones cuentan con tres anillos. El número de ellos viene determinado por el fabricante del motor, tomando en cuenta factores tales como el tamaño del orificio, la velocidad del motor, la configuración del mismo (en línea o v).

Una de las áreas más críticas de desgaste en el motor se encuentra en los anillos de los pistones y en los propios pistones, porque se hallan sometidos al excesivo calor de la combustión y a la basura posible del aire que se suministra al cilindro.

Para lograr un período de operación largo y sin molestias, preste una atención especial al aceite, el filtro de aceite y a los cambios del filtro de aire. Por otra parte, es muy importante que durante la reparación o revisión del motor proporcione una atención detallada a las recomendaciones del fabricante, con el objeto de asegurar una buena calidad del trabajo a realizar.

1.2.6. La biela

Es la pieza que enlaza el émbolo con el cigüeñal y tiene por misión transformar el movimiento rectilíneo alternativo de aquel en un movimiento de rotación. Sus extremos se denominan cabeza y pie. La cabeza se cierra rodeando al cojinete dentro del que gira la muñequilla del cigüeñal, y el pie contiene el cojinete en el que se aloja el eje del émbolo.

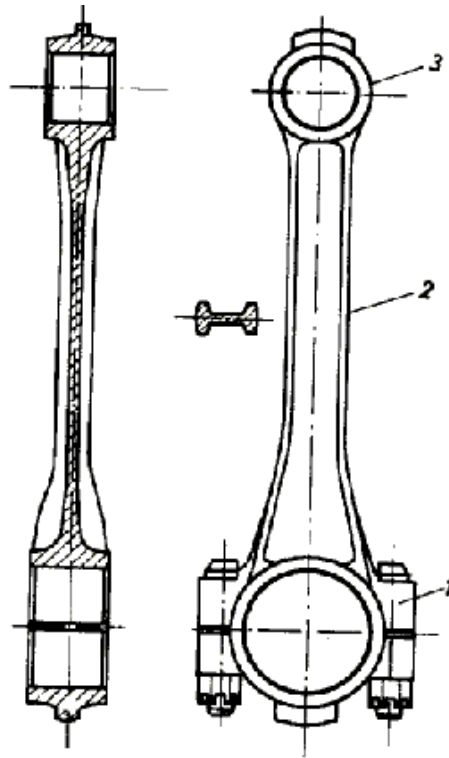


Fig.1.7 Biela: 1,cabeza; 2,vástago; 3,pie.

La biela se fabrica con una aleación muy resistente de acero a la que se da forma de viga en I, la cual tiene un orificio en el pie para el pasador del pistón.

En la cabeza de la biela cuenta con una perforación mayor y tiene una tapa desmontable, de manera que la biela pueda conectarse al muñón del cigüeñal.

En este orificio se coloca el cojinete de fricción tipo camisa formado por dos mitades, una de ellas va en la biela y la otra mitad en la tapa del muñón.

Los cojinetes de las bielas se han diseñado especialmente para que hagan frente a los siguientes requerimientos, impuestos a los mismos durante la operación del motor:

1. **Resistencia a la fatiga.** El cojinete deberá ser capaz de soportar las cargas intermitentes a las que se vea sujeto.
2. **Conformabilidad.** El material del cojinete deberá ser capaz de ceder o fluir ligeramente para compensar cualquier mala alineación entre el eje y el cojinete.

3. **Absorción.** Capacidad del material del cojinete para absorber partículas abrasivas extrañas, que de otra manera pudieran arañar el eje que soporta el cojinete.
4. **Acción superficial.** Capacidad del cojinete para resistir un agarre si el cojinete y el eje hacen contacto durante la operación del motor. Esta situación puede presentarse cuando una carga extrema expulsa la película de aceite sacándola del espacio de juego existente entre el eje y el cojinete.
5. **Resistencia a la corrosión.** Característica del cojinete para resistir la corrosión química ocasionada por ácidos que son un producto secundario de la combustión.
6. **Resistencia a la temperatura.** La forma en que el cojinete transportara su carga a la temperatura de operación del motor sin perder forma o romperse.
7. **Conductividad térmica.** Capacidad del material del cojinete para absorber el calor y transferirlo desde la superficie del cojinete al alojamiento. Este es un factor importante relacionado con la larga vida del cojinete.

Para hacer frente a tales requerimientos, los cojinetes de los motores se diseñan con un respaldo de acero y un recubrimiento de material para cojinetes. La superficie de desgaste es la parte de contacto con el muñón que lleva a cabo la función básica antifricción, por lo que se considera como la de mayor importancia. Los metales mas utilizados son el cobre y el plomo, con un recubrimiento delgado de babbit (0.001 pulg. de espesor) en algunos cojinetes.

El babbit se agrega a la superficie de algunos cojinetes porque facilita el deslizamiento requerido para superar la fricción, la suavidad requerida para permitir una cantidad razonable de partículas extrañas que se incrustarán a si mismas y la deformación necesaria para que el eje y el cojinete se adapten entre sí.

1.2.7. El cigüeñal

Es el corazón del motor y tiene forma de eje con diferentes codos llamados muñequillas donde van colocadas las cabezas de biela. Se utilizan distintas disposiciones y diseños de codos, los que vienen determinados por el número de cilindros y por la configuración del motor. El cigüeñal de un motor se usa para

cambiar el movimiento alternativo de los pistones y las bielas en un movimiento giratorio del volante. Sus giros por minuto, esto es, las revoluciones del motor, definen el «temperamento». Como el cigüeñal debe girar a diferentes velocidades sobre un amplio margen de velocidad, se debe balancear para evitar vibraciones. Por otra parte, habrá que agregar contrapesos para compensar las fuerzas de inercia generadas por el movimiento ascendente y descendente del conjunto formado por los pistones y las bielas. La mayoría de los cigüeñales se construyen con contrapesos, mientras que en otros estos van atornillados.

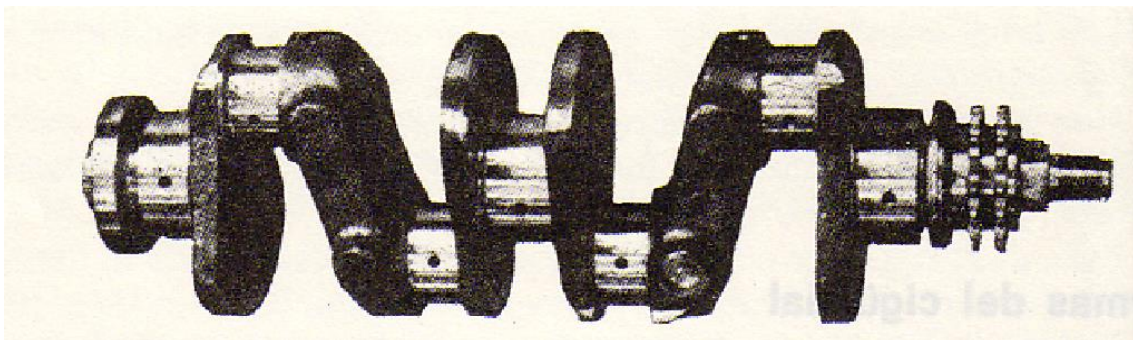


Fig.1.8 Cigüeñal de 3 cuellos y 4 muñequillas.

El cigüeñal debe ir bien soportado en el monoblock para poder absorber la potencia generada por los cilindros. Lo anterior se logra por medio de los cojinetes principales, del tipo de fricción, los que se ajustan a las perforaciones o cajas maquinadas en el monoblock. Los cojinetes principales se construyen de manera similar a la de los cojinetes de las bielas y están hechos del mismo material. Como los cojinetes principales y los de las bielas son del tipo de fricción, mantenga en todo momento una buena lubricación.

Además, el cigüeñal se mecaniza partiendo de una pieza fundida o forjada en acero tratado. Algunas veces se parte de fundición hueca para ahorrar peso.

El cigüeñal es una pieza muy torturada o retorcida, que ha de recibir los golpes de cada combustión y transmitir todo el esfuerzo útil al exterior, que por necesidades de funcionamiento trabaja intensamente bajo todas las formas posibles, torsión, flexión, cortadura, vibración, alineación de apoyos y que, de todo ello se deducen algunas cosas que ha de tener siempre presente.

Debe responder a tres exigencias fundamentales:

1. Resistencia a la flexión, ya que recibe de 6000 a 10 000 golpes por minuto en un motor normal de cuatro cilindros.
2. Resistencia a la torsión, ya que los diferentes émbolos trabajan produciendo diferentes momentos de torsión.
3. El menor peso posible, ya que cuanto mayor sea éste, mayor será su inercia a cambiar de velocidad y por tanto reaccionará lentamente al impulso motor (aceleración-deceleración).

El cigüeñal se aloja por ambos extremos en los cojinetes que soporta el bloque. Los motores de varios cilindros suelen tener algún apoyo intermedio.

En su parte delantera, el cigüeñal lleva montado un piñón dentado para accionar al eje de levas (véase Accionamiento de las válvulas). Al mismo tiempo regula el funcionamiento de la dinamo, del distribuidor y del ventilador, en cuyo eje va montada la bomba de agua. Por otra parte, desde el eje de levas se manda al mismo tiempo la bomba de aceite. Al extremo posterior del cigüeñal se fija el volante con la corona dentada para el motor de arranque.

.

La lubricación total, no solamente del cigüeñal, sino del resto de las piezas del motor, desde el pistón y los cilindros a las válvulas y su sistema de accionamiento, lo realiza la bomba de aceite que trabaja dentro del cárter.

1.2.8. Las válvulas

Las válvulas son las piezas encargadas de abrir o cerrar los conductos de admisión y escape de la culata del motor. Tienen forma de seta con la cola alargada y están formadas por tres partes principales, cabeza, vástago o caña, y cola. La cabeza tiene el asiento de válvula, que es el elemento que hace el cierre hermético del conducto. Este asiento puede ser plano, o inclinado. El asiento plano está en desuso por no ser muy efectivo, y el inclinado se usa con ángulos de 30 y 45 grados. Además la cabeza de la válvula dispone de una ranura para hacerla girar, a fin de esmerilar el asiento.

El vástago es de pequeño diámetro, lo mas delgado posible, para no dificultar el paso de los gases. Tiene una longitud suficiente para atravesar la culata y permitir la colocación de los muelles de válvula.

La cola esta endurecido, ya sea por tratamiento térmico o bien por llevar soldado un trocito de metal duro, en la parte alta tiene una ranura, un rebaje a fin de poder sujetar el platillo de retención del muelle.

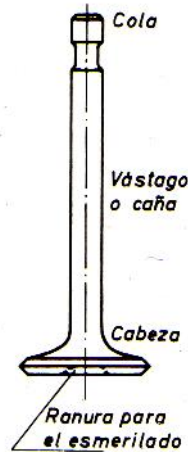


Fig.1.9 La válvula.

Esta válvula se apoya en la culata mediante un asiento cónico esmerilado en la misma. En su movimiento de subida y bajada va guiada por un tubo, entrando a presión en la culata, llamado guía de válvula, guía que en nuestro caso va provista de un casquillo de bronce para facilitar el desplazamiento.

Para que se mantenga la válvula cerrada dispone de unos resortes que están colocados entre la culata y el plato de válvulas, el cual esta encargado de transmitir la presión de los resortes a las válvulas mediante las arandelas cónicas partidas. Los resortes se montan en su lugar, con ayuda de unas herramientas especiales, dejándolas ya apretadas a fin de que tengan una determinada tensión para mantener la válvula bien cerrada contra su asiento.

El vástago tiene en su parte alta un rebaje para colocar una arandela elástica que impide la posibilidad de la caída de la válvula al interior del cilindro al hacer el cambio de los resortes, operación que puede hacerse sin desmontar la válvula.

Para evitar el desgaste que podría llegar a formarse en el punto de contacto del vástago con el accionamiento de la válvula, dispone esta de un recubrimiento de metal muy duro y de gran resistencia al roce.

En los motores de cuatro tiempos cabe diferenciar la válvula de admisión y la válvula de escape. La válvula de admisión regula la entrada del aire fresco para llenar el cilindro al comenzar el ciclo y la válvula de escape se abre para permitir la salida al exterior de los gases quemados.

Los asientos de válvula y la tulipa de las válvulas se ven dañados por la elevada temperatura de los gases de escape (hasta 2000 grados). Es por tanto necesario esmerilarlos alguna vez e incluso cambiar las válvulas. (También los asientos de válvula incorporados en la culata pueden ser renovados).

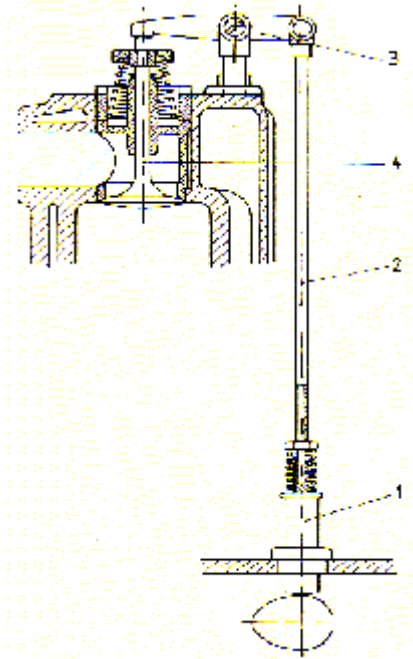
Rotador. Es un dispositivo que hace girar las válvulas en cada movimiento de apertura; de esta manera se consigue un continuo esmerilado, y pueden ser de dos tipos:

- A.** El rotador del tipo de disparo libre se ha diseñado de manera que cada vez que la válvula abre y cierra, no hay en ella tensión del resorte y permite girar a la válvula por medio de los gases de escape o la vibración del motor.
- B.** El rotador de tipo positivo es un dispositivo mecánico que hace girar a la válvula cada vez que el balancín la abre o la cierra.

Refrigeración de las válvulas. Los motores a los que se exige un gran rendimiento disponen en general de válvulas cuya caña es hueca y rellena de sodio metálico, un excelente conductor del calor. Se habla entonces de válvulas refrigeradas por sodio o por sal en otros casos.

Accionamiento de las válvulas. Se obtiene partiendo del eje de levas, ya sea directamente o por intermedio de varillas empujadoras. En el primer caso el eje de levas acciona a los balancines que mueven a las válvulas o a éstas directamente; así funcionan los motores con mando de válvulas en cabeza.

En el segundo caso, el eje de levas acciona los propulsores que transmiten su movimiento por intermedio de las varillas empujadoras a los balancines que impulsan a las válvulas en su movimiento. Así funcionan los motores con mando inferior de válvulas.



**FIG.1.10 Propulsores 1; varilla 2;
balancín 3; válvula 4.**

Como se aprecia, observando el funcionamiento del motor, el movimiento de apertura y cierre de las válvulas guarda una determinada relación con las revoluciones del cigüeñal. Tanto las válvulas de admisión como las de escape se abren y cierran una vez cada dos vueltas del cigüeñal. Puesto que cada válvula está accionada por una leva diferente del eje de levas, éste gira a la mitad de revoluciones que el cigüeñal. Para transmitir el movimiento del cigüeñal al eje de levas existen tres posibilidades.

1. Accionamiento directo por ruedas dentadas (caso de eje de levas en posición inferior). Estas ruedas dentadas se llaman de mando o distribución, ya que mandan o distribuyen el movimiento al eje de levas.
2. Accionamiento por cadena (caso de eje de levas en posición media o en cabeza). Como cadena de mando se suele utilizar una de doble hilera.

3. Accionamiento por uno o varios ejes a uno o varios ejes de levas situados en la culata. Estos ejes poseen piñones cónicos en ambos extremos y reciben y transmiten el movimiento por intermedio de otros piñones cónicos.

Cuando se habla de la disposición de las válvulas o del accionamiento de éstas, se utilizan con frecuencia las siguientes abreviaturas:

SV (standing valves). Significa posición de válvulas lateral, o disposición en **T**. Su mando se realiza por eje de levas en posición baja.

OHV (overhead valves). Significa posición de válvulas en cabeza y mando por eje de levas en posición baja.

OHC (overhead camshaft). Significa posición de válvulas en cabeza con mando por eje de levas igualmente en culata.

Los tres tipos de disposición corresponden a conceptos técnicos diferentes.

Como consecuencia son distintos en su costo y no presentan las mismas ventajas e inconvenientes.

El motor con disposición **SV** es el más sencillo constructivamente. El eje de levas al ocupar una posición baja puede engranar directamente, mediante piñones, con el cigüeñal. Naturalmente, el piñón del eje de levas deberá tener doble número de dientes que el del cigüeñal con lo que girará a la mitad de revoluciones que éste.

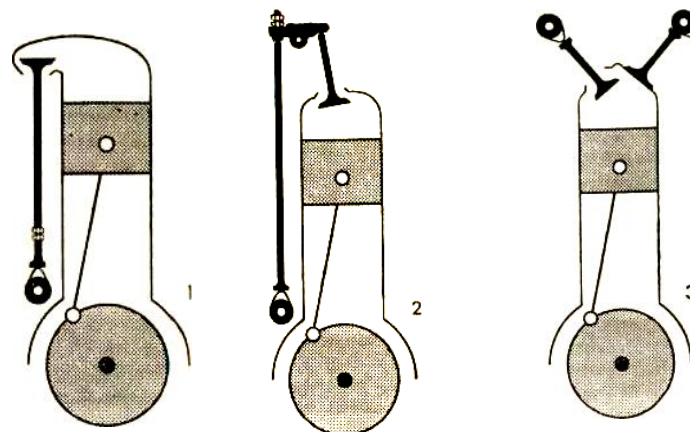


Fig.1.11 Disposición de las válvulas en el cilindro 1) Válvulas laterales (SV); 2) válvulas en cabeza y mando por eje de levas en posición baja (OHV); 3) válvulas en cabeza y mando por eje de levas en la culata (OHC).

El motor del tipo SV es robusto y de confianza cuando se trata de potencias medias. Estas cualidades van unidas a una desventaja: la culata debe tener forma de T o de F presentando la cámara de explosión necesariamente esquinas y entrantes que no permiten una combustión rápida de la mezcla. El número de revoluciones del motor es ya por diseño necesariamente reducido.

La forma en T se obtiene cuando las válvulas están colocadas a ambos lados de la culata. La forma en F se obtiene cuando ambas válvulas están al mismo lado, como es el caso más frecuente, y la culata debe dejar suficiente espacio para que quepan las tulipas de ambas. La disposición algo inclinada que presentan algunas veces las válvulas, no modifica sustancialmente el inconveniente indicado.

El llenado y el barrido de la cámara de explosión no son siempre muy satisfactorios. En los rincones se depositan restos de la combustión. El motor con disposición OHV tiene una culata con diseño realmente acertado desde el punto de vista de una adecuada combustión. El hecho de que las válvulas estén colgadas permite el uso de una culata con cámara de combustión semiesférica, carente por tanto de entrantes y recovecos donde pudieran quedar restos de gases quemados o residuos sólidos de la combustión.

Las válvulas de este motor están accionadas por balancines que reciben el movimiento del eje de levas por intermedio de propulsores y de varillas empujadoras. Este mecanismo trabaja con absoluta seguridad y permite un número de revoluciones relativamente elevado (motores como el Porsche 1600 Súper con 5000 revoluciones por minuto están concebidos con este diseño).

La calidad máxima de motor se obtiene con una disposición del tipo OHC. Reúne las ventajas de una adecuada cámara de combustión con el accionamiento directo de las válvulas mediante ejes de levas en cabeza.

Entre estos motores existen algunos que disponen de ejes de levas independientes para accionar las válvulas de admisión y las de escape; e incluso motores en V que llegan a disponer de tres ejes de levas.

La transmisión para accionar los ejes de levas, bien sea por cadena o mediante eje intermedio representa una solución francamente limpia pero costosa.

1.3. Principio de funcionamiento “Ciclo Otto”

El principio de funcionamiento de una máquina de combustión interna de ignición por chispa, se basa en el ciclo de Otto que se muestra en los diagramas $P-v$ y $T-s$.

El proceso 1-2 es una compresión isentrópica del aire a medida que el émbolo se mueve del punto muerto inferior al punto muerto superior, después se añade calor a volumen constante, mientras el émbolo está momentáneamente en reposo en el punto muerto superior. (Este proceso corresponde a la ignición de la mezcla de aire-combustible por la chispa y el correspondiente quemado en la máquina real.) El proceso 3-4 es una expansión isentrópica, y el proceso 4-1 es la obtención de calor del aire, cuando el émbolo está en el punto muerto inferior.

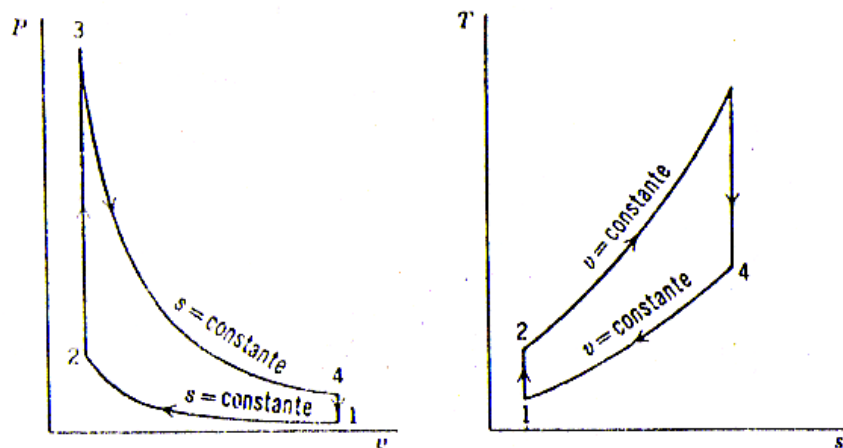


Fig.1.12 Ciclo de Otto de aire normal.

El rendimiento térmico de este ciclo se muestra como sigue, suponiendo al calor específico constante.

$$\eta_{term.} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{mC_v(T_4 - T_1)}{mC_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Se nota antes que

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{K-1} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{K-1} = \frac{T_3}{T_4} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Por lo tanto,

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

y,

$$\eta_{term.} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - (r_v)^{1-k} = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}} \quad \text{Ecuación 1.4}$$

donde $r_v = \text{relación de compresión} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$ Ecuación 1.5

Es importante notar que el rendimiento del ciclo de Otto de aire normal es función solamente de la relación de compresión. La figura 1.13 es una representación del rendimiento térmico de un ciclo de aire normal contra la relación de compresión.

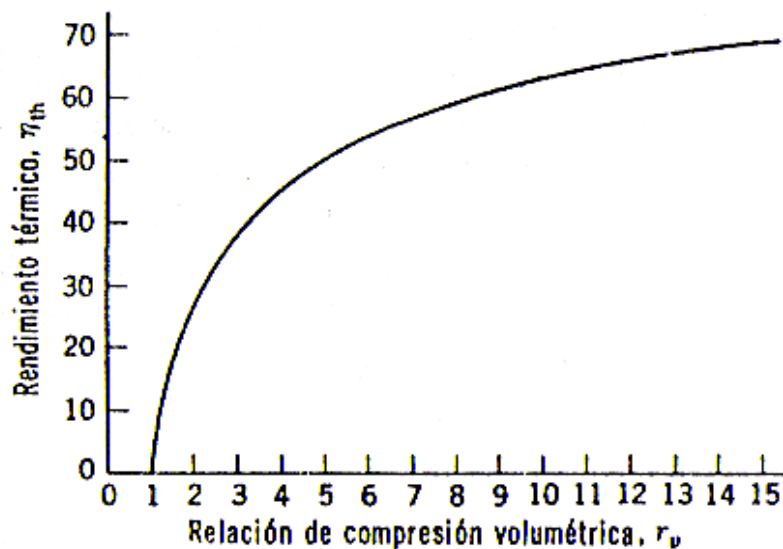


Fig. 1.13 Rendimiento del ciclo de Otto en función de la relación de compresión.

También es verdad que en los motores de ignición por chispa el rendimiento puede incrementarse, incrementando la relación de compresión. La tendencia hacia las relaciones de compresión altas es la de hacer el esfuerzo para obtener altos rendimientos térmicos. En la máquina real, hay la tendencia de un aumento hacia la detonación a medida de que se aumenta la relación de compresión. La detonación se caracteriza por el quemado extremadamente rápido del combustible y por violentas ondas de presión en el cilindro de la máquina que elevan el llamado golpeteo por encendido. Por lo tanto, la relación máxima de compresión que puede usarse está limitada por la detonación que pueda evitarse. El avance en las relaciones de compresión en estos años en las máquinas reales ha sido posible por el descubrimiento de combustibles con mejores antidetonantes.

Algunas de las divergencias más importantes del ciclo abierto ideal de los motores de ignición por chispa, con el ciclo de aire normal, son las siguientes:

- a. El calor específico de los gases reales aumenta a medida que aumenta la temperatura.
- b. El proceso de combustión reemplaza el proceso de transmisión de calor a temperatura alta y la combustión puede ser incompleta.
- c. Cada ciclo mecánico de la máquina involucra procesos de entrada y de salida, que hacen que el descenso de presión a través de las válvulas se traduzca en un aumento del trabajo para llenar el cilindro con aire y para expulsar los productos de la combustión.
- d. El calor transmitido entre los gases en el cilindro y sus paredes, es considerable.
- e. Hay irreversibilidades asociadas con los gradientes de presión y de temperatura.

La relación de compresión. Se llama relación de compresión a la relación entre el volumen final de los gases comprimidos y el volumen original de gases frescos admitidos. Esto quiere decir que un motor de 7 : 1 de compresión comprime los gases que admite hasta $1/7$ de su volumen inicial en el cilindro. Los motores de turismo suelen tener una relación de compresión de 7:1, mientras que los deportivos andan por los 8 : 1. Cuanto mayor sea el grado de compresión, mayor

también será la potencia del motor, lo cual es muy deseable, pero también aumenta el peligro de que el motor golpetee.

La resistencia a este golpeteo que hay que tratar de alcanzar, depende de dos factores: uno es el propio motor, naturalmente, pero el otro es el tipo de gasolina que se utiliza.

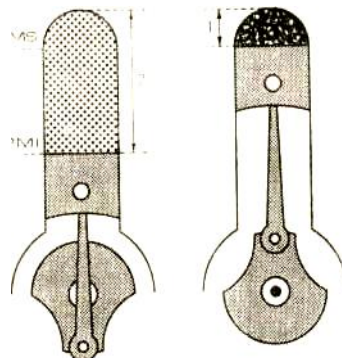


Fig.1.14 Relación de compresión. *Izquierda:* volumen inicial del cilindro. *Derecha:* volumen de los gases comprimidos. Relación en este caso. 7:1.

Un motor normal recién estrenado suele tener una relación de compresión de un orden tal que con gasolina normal podrá funcionar sin golpeteo. En el transcurso de su vida se van depositando residuos sólidos de la combustión en la culata y en la cabeza del émbolo, que hacen que vaya aumentando lentamente su relación de compresión. Esto hace que cada vez se haga más sensible a producir golpeteo.

Contra esto existe un remedio relativamente sencillo que siempre se puede llevar a cabo: si tu motor con buena gasolina normal empieza a golpear, haz que le quiten carbonilla de émbolos y culata.

1.4. Cruce de válvulas

Si los motores se dejaran funcionar con un esquema tan simplificado como el que acabamos de exponer, el llenado del cilindro con gases frescos sería incompleto, ya que cuando el émbolo empezará a bajar y se hubiera abierto la admisión, los gases frescos no responderían instantáneamente y tardarían un cierto tiempo en entrar. Igualmente al llegar al final del primer tiempo los gases tenderían a seguir entrando y se encontrarían con que la admisión se ha cerrado. Igual razonamiento, pero en sentido contrario, podríamos hacer con el cuarto tiempo de escape. Resumiendo,

Se podría decir que el movimiento de los gases se retrasa en relación a los tiempos mecánicos indicados.

Esta es la razón que ha movido a los proyectistas a introducir algunas variantes en los tiempos de apertura y cierre de las válvulas. En la práctica ocurre así:

La admisión se abre antes de que el émbolo haya alcanzado la posición superior, en general, en una posición angular del cigüeñal del orden de los 5° por delante del punto en que la biela adopta la posición vertical. Por este procedimiento se consigue que empiecen a entrar los gases frescos que aún conservaban una cierta inercia del ciclo anterior.

La admisión se cierra bastante después de que el émbolo haya alcanzado su posición más baja. Generalmente unos 45° después. De esta forma, por razón de la inercia que tienen los gases al entrar, sigue efectuándose el llenado aunque el émbolo comience su movimiento ascendente de la fase de compresión. Se hace el cierre de la admisión cuando la energía cinética de los gases al entrar no puede vencer a la presión que se le opone. Se observa que el primer tiempo se extiende sobre unos 230° de giro del cigüeñal. Así se obtiene un mejor llenado del cilindro con gases frescos. Cuanto mayor sea la cantidad de gases frescos de que se disponga, tanto más intensa será la combustión y, por consiguiente, mayor será la potencia obtenida.

La apertura del escape se realiza también con anticipación, ya que interesa iniciar la salida de los gases para alcanzar un buen vaciado al final del ciclo, puesto que si quedaran gases quemados, sería menor la cabida de gases frescos. Por ésta razón, la válvula de escape se abre unos 45° antes de que se alcance el punto más bajo en el recorrido del émbolo.

El escape se cierra también con retraso en relación con el esquema que trazamos antes, para que acaben de salir los gases quemados que aún se encontraban en movimiento. Para concretar, se puede decir que este atraso es del orden de los 5° después de que el émbolo haya alcanzado la posición superior. Por tanto, 5° antes de esta posición y 5° después de ella, ambas válvulas se encuentran abiertas. A este hecho se le llama cruce de válvulas.

1.5. El motor en línea

Es un motor que tiene sus cilindros verticales y uno junto al otro. Antiguamente se construían motores de 8 cilindros con muñequillas a 90 grados con los que se conseguía una gran suavidad de funcionamiento. Debido a su gran longitud, su uso quedó restringido única y exclusivamente a vehículos de gran lujo.

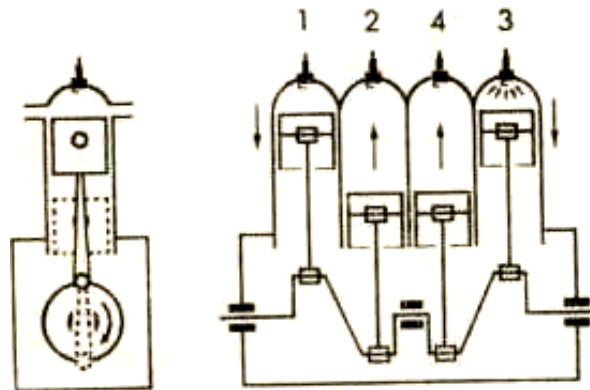


Fig.1.15 Dimensiones del cilindro. 1) calibre; 2) carrera, es decir, distancia que media entre el punto muerto superior (PMS) y el punto muerto inferior (PMI).

En la actualidad esta forma de montaje se reserva para los motores de cuatro cilindros y hasta un máximo de seis.

Los motores en línea, especialmente aquellos con poco número de cilindros, pueden montarse transversalmente a la dirección de la marcha, como se hace con cierta frecuencia en los coches pequeños para ahorrar el espacio de que están tan necesitados.

1.6. Orden de encendido en motores de varios cilindros

El cigüeñal de un motor de varios cilindros no solamente sufre esfuerzos de flexión, cuya carga se puede soportar colocando varios apoyos intermedios, sino que está expuesto a que los golpes que se originen en cada uno de los cilindros lo deformen por torsión. Este peligro se reduce en lo posible haciendo que las carreras de compresión y los encendidos no se produzcan en los cilindros unos tras otros, sino

de forma alternada. Naturalmente, el cigüeñal y el eje de levas tienen que tener una forma adecuada. Una vez que el fabricante haya definido el orden de encendido de los cilindros, éste no puede alterarse en lo sucesivo.

Sucesión normal de encendido:

Para motores de cuatro cilindros: 1-2-4-3 o bien 1-3-4-2.

Para motores de seis cilindros: 1-5-3-6-2-4 o bien 1-4-2- 6-3-5 etc.

En general, el orden de encendido se marca en la culata o en el bloque. De no ser así aparecerá claramente especificado en las normas de mantenimiento del motor.

Si fallan ambas informaciones se puede averiguar el orden del encendido observando la posición de las válvulas. En cada cilindro el encendido se produce estando el émbolo en PMS y cuando las dos válvulas están cerradas, en motores de cuatro tiempos.

Siempre que hay que desmontar los cables de bujía, o la tapa del distribuidor, es necesario conocer el orden de encendido del motor.

Nota. Por otra parte, es difícil equivocarse al conectar los cables a la bujía correspondiente debido a sus diferentes longitudes.

1.7. El ciclo del motor de cuatro tiempos

Antes de que éste comience a moverse el motor por sí mismo es necesario ponerle en movimiento. Hace tiempo, esto se conseguía mediante una manivela; hoy en día se emplean motores eléctricos de arranque. De cualquiera de las dos maneras, el hecho es que se hace girar al cigüeñal, que, transmitiendo su movimiento por intermedio de la biela, hace bajar al émbolo.

Primer tiempo: Al descender el émbolo, manteniéndose estanco contra el cilindro, absorbe la mezcla de aire y Partículas de combustible a través de la válvula de admisión abierta. Esta Mezcla, llamada también gases frescos, se origina en el carburador. La válvula de admisión se cierra cuando el émbolo ha llegado a su posición más baja, y el cilindro se ha llenado de gases frescos.

Segundo tiempo: El cigüeñal, cuyo movimiento sigue aún forzado desde el exterior, empuja al émbolo hacia arriba mediante la biela. Ya que durante este segundo tiempo ambas válvulas permanecen cerradas, no pueden escapar los gases frescos que se ven obligados a comprimirse en la cámara de combustión de la culata. Así pierden volumen y son hasta cierto punto concentrados. La presión que desarrolla el émbolo origina una elevación de la temperatura en la mezcla, Esta elevación de temperatura es provechosa teniendo en cuenta que el siguiente paso será el de la combustión.

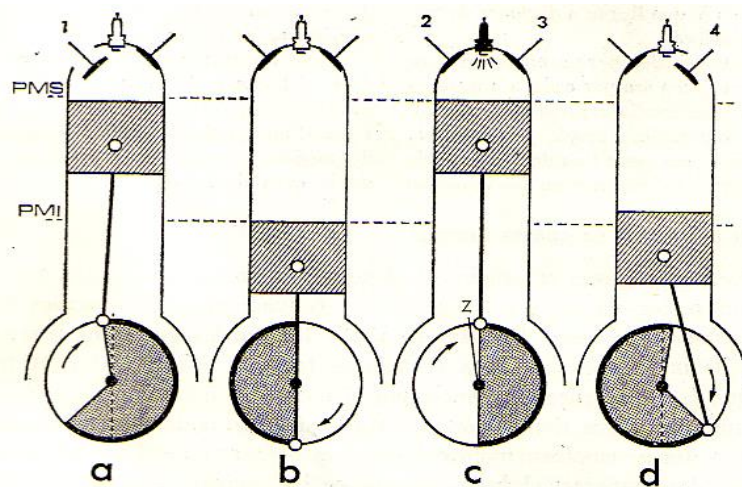


Fig.1.16 Ciclo del motor de cuatro tiempos. a, admisión b, compresión c, explosión-trabajo- d, escape. 1, válvula de admisión abierta 2 y 3, válvulas cerradas; 4, válvula de escape abierta.

Tercer tiempo: La chispa de la bujía salta dentro de la mezcla fresca contenida en la cámara de combustión.

La combustión no ocurre de manera repentina y total, sino que avanza en forma de onda desde la bujía hacia la cabeza del émbolo. Al mismo tiempo, el gas se dilata fuertemente empujando al émbolo hacia abajo. Este es el instante en que comienza el motor a producir su propio movimiento. Naturalmente, durante todo éste tiempo ambas válvulas han permanecido cerradas. De no ser así, los gases hubieran escapado por las aperturas correspondientes en vez de mover el émbolo.

Cuarto tiempo: El émbolo, una vez alcanzada la posición más baja, es movido por la inercia del cigüeñal y forzado nuevamente a un movimiento ascendente. En éste instante se produce la apertura de la válvula de escape, que deja salir los gases de la combustión impulsados por el movimiento ascendente del émbolo. En el momento en que el émbolo llega a su posición más alta, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión. La inercia del cigüeñal arrastra nuevamente al émbolo hacia abajo, produciéndose la entrada de gases frescos, con lo cual se inicia el primer tiempo del siguiente ciclo.

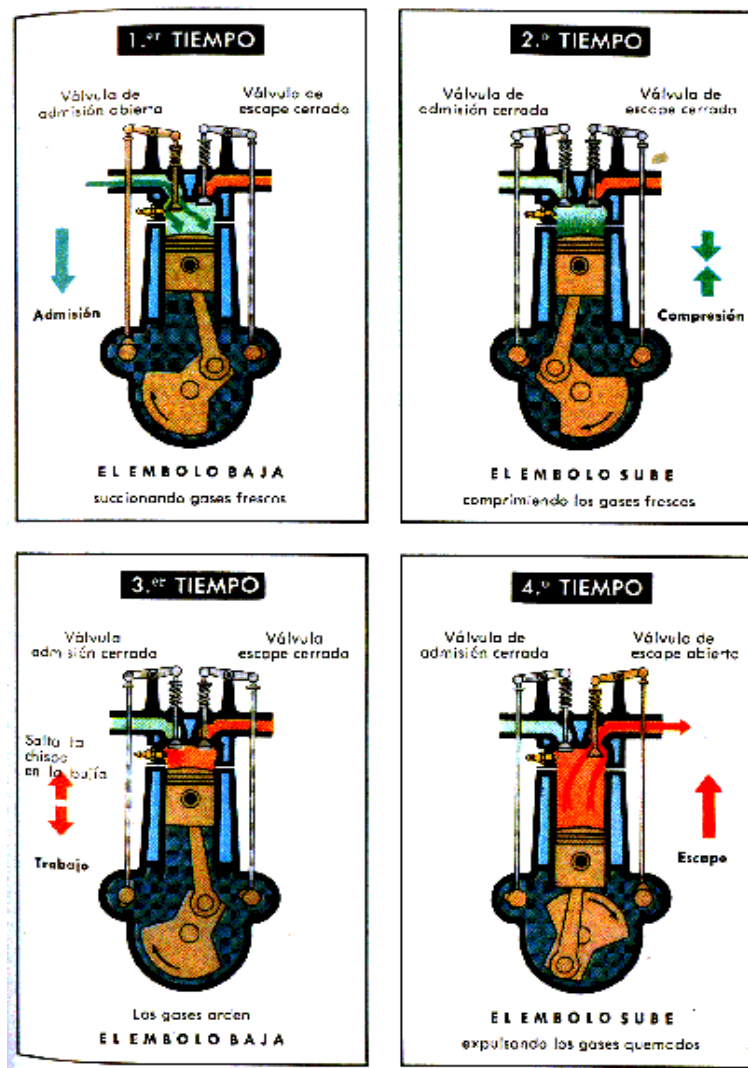


Fig.1.17 Funcionamiento: 4 carreras = 1 fase de trabajo

Esquemáticamente, el ciclo es muy sencillo: 1) admisión; 2) compresión; 3) explosión (trabajo), y 4) escape.

Por necesitar el motor de cuatro recorridos o tiempos para realizar uno de trabajo, se le ha denominado a su ciclo, de cuatro tiempos.

En la práctica, cada uno de los cuatro tiempos no se produce con una separación tan netamente diferenciada. Tanto la admisión como la compresión, la explosión como el escape, son fases cuyos comienzos y finales no se producen instantáneamente.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE SECCIONAMIENTO

2.1. Definición de alternativas

Una vez obtenido el motor se procede a analizar la mejor alternativa de seccionamiento para realizar los cortes respectivos que permitan alcanzar los objetivos propuestos anteriormente.

Se ha optado por tomar dos alternativas de corte; así se tiene:

- Corte parcial de $\frac{1}{2}$ del motor
- Corte parcial de $\frac{1}{4}$ del motor

2.1.1. Primera alternativa

Se trata de un corte parcial longitudinal de aproximadamente $\frac{1}{2}$ motor, el cual permite observar sus componentes y funciones principales. (Ver Anexo A)

2.1.2. Segunda alternativa

Se trata de un corte parcial de $\frac{1}{4}$ del motor el cual muestra una parte de sus componentes principales. (Ver Anexo B)

2.2. Análisis de factibilidad

En este tipo de análisis se mencionarán las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas.

2.2.1. Primera alternativa

Ventajas:

- Describe todas las partes externas e internas del motor
- Permite observar el tipo de material de cada uno de sus componentes
- Permite observar el funcionamiento de cada uno de sus componentes
- Facilidad de mantenimiento
- Facilidad de construcción
- Puede ser utilizado para instrucción práctica

Desventajas:

- Requiere de mayor tiempo y material para su mantenimiento

2.2.2. Segunda alternativa

Ventajas:

- Se puede observar algunas de sus funciones principales
- Describe algunas de sus partes internas
- Facilidad de mantenimiento

Desventajas:

- No permite observar todos sus componentes
- No es posible observar el funcionamiento de todos sus componentes
- Complejidad del corte

2.3. Estudio técnico

Para el estudio de cada una de las alternativas se asigna un cierto valor en cada uno de los parámetros de selección "x" la misma que está comprendido, entre un rango de $0 < x < 10$.

Los parámetros de selección están en función de las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas y se han considerado como las mas importantes; entre las cuales se tiene las siguientes:

Aspecto técnico:

- Accesibilidad
- Funcionabilidad
- Proceso de construcción
- Mantenimiento
- Materiales

Aspecto económico:

- Costo de la ejecución

Aspecto complementario:

- Tiempo de ejecución

2.3.1. Aspecto técnico

- **Accesibilidad.-** Se refiere a la facilidad que se tiene para el proceso de desmontaje para permitir el corte. Este parámetro tiene un valor de 8.
- **Funcionabilidad.-** Se refiere a la representación del movimiento de sus componentes que se encuentran internamente, el cual muestra la funcionabilidad de los mismos. Este parámetro tiene un valor de 8.
- **Proceso de construcción.-** Se refiere a la facilidad para acceder a equipos y herramientas manuales y especiales para el proceso de corte. Este parámetro tiene un valor de 7.
- **Mantenimiento.-** Se refiere a la complejidad que tiene el motor para acceder a los componentes que requieren mantenimiento. Este parámetro tiene un valor de 7.

- **Materiales.-** Se refiere a la cantidad de materiales necesarios para el proceso de corte. Este parámetro tiene un valor de 5.

2.3.2. Aspecto económico

- **Costo de construcción.-** Se refiere a las horas hombres requeridas para el proceso de corte. Este parámetro tiene un valor de 6.

2.3.3. Aspecto complementario

- **Tiempo de construcción.-** Se refiere al tiempo requerido para la realización del proceso de corte del motor. Este parámetro tiene un valor de 5.

Tabla 2.1. Matriz de evaluación

Parámetros de Evaluación	(x)	Alternativas	
		1	2
		Corte parcial de ½ aprox.	Corte parcial de ¼
Accesibilidad	8	7	7
Funcionabilidad	8	7	4
Proceso de Construcción	7	6	5
Mantenimiento	7	6	5
Materiales	5	5	4
Costo de construcción	6	6	4
Tiempo	5	5	3

Tabla 2.2. Matriz de Decisión

Parámetros de Evaluación	Alternativas	
	1(x)	2(x)
	Corte parcial de $\frac{1}{2}$ aprox.	Corte parcial de $\frac{1}{4}$
Accesibilidad	56	56
Funcionabilidad	56	32
Proceso de Construcción	42	35
Mantenimiento	42	35
Materiales	25	20
Costo de construcción	36	24
Tiempo	25	15
TOTAL	282	217

2.4. Selección de la mejor alternativa

Luego de analizados los parámetros, se llega a la conclusión que, el corte parcial longitudinal de aproximadamente $\frac{1}{2}$ motor es el mas adecuado debido a que permite alcanzar los objetivos propuestos.

Además los trabajos de corte son mas accesibles, el tiempo de ejecución del proyecto es menor y permite observar de mejor manera los componentes y funciones principales del motor.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO ECONÓMICO

4.1 Presupuesto

Este capítulo permite conocer el costo de construcción del material didáctico para observar el funcionamiento interno del motor, así como también el análisis económico de los requerimientos para realizar el seccionamiento de dicho motor.

Al realizar un estudio antes de la ejecución de este proyecto, se estima que el costo de construcción de este material didáctico tendrá un valor aproximado de \$495.

4.2 Análisis económico

Existen principalmente 3 rubros para la construcción de la maqueta que son:

- Materiales
- Máquinas herramientas. (Ver anexo D)
- Otros

Materiales.-

Este rubro comprende todos los materiales utilizados en el proceso de seccionamiento del motor.

Tabla 4.1 Costo de Materiales

Materiales		
Cant.	Detalle	Valor
1	Motor de 4 cilindros en línea	\$ 220.00
1	Electrodos	\$ 2.00
1	Tubo 1 1/4"	\$ 8.00
3	Llantas giratorias	\$ 5.00
9	Pintura esmalte	\$ 17.00
2	Tiñer	\$ 8.00
		\$ 260.00

Máquinas-herramientas.-

Para el proceso de seccionamiento del motor, principalmente se utilizaron las máquinas-herramientas existentes en los talleres del Centro Ecuatoriano de Capacitación Profesional (CECAP), en la ciudad de Ambato.

A continuación se presenta un cuadro con el costo de utilización de máquinas-herramientas.

Nota: Los valores presentados son los que actualmente rigen en el sector de fabricación metal mecánico civil.

Tabla 4.2 Costo de Máquinas-Herramientas

Máquinas-Herramientas				
N°	Detalle	Horas de uso	V/U	Valor
1	Cortadora de plasma	8	\$ 5	\$ 40.00
2	Piedras de pulir	5	\$ 2	\$ 10.00
3	Juego de limas	5	\$ 2	\$ 10.00
4	Juego de cepillos de alambre	5	\$ 1	\$ 5.00
5	Turbina neumática pequeña	10	\$ 3	\$ 30.00
6	Sierras	5	\$ 1	\$ 5.00
				\$ 100.00

Otros.-

Este rubro comprende los materiales empleados para los gastos de útiles de limpieza, útiles y equipos de oficina, impresión, transporte, etc.

Tabla 4.3 Costo de Otros

Otros	
Detalle	Valor
Equipo de oficina	\$ 50.00
Útiles de oficina	\$ 50.00
Útiles de limpieza	\$ 10.00
Transporte	\$ 25.00
\$ 135.00	

Por lo tanto, el costo total para la construcción del material didáctico para el laboratorio de motores recíprocos es de:

Tabla 4.4 Costo total

Costo Total	
Detalle	Valor
Materiales	\$ 260.00
Máquinas-Herramientas	\$ 100.00
Otros	\$ 135.00
	\$ 495.00

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La información sobre motores de combustión interna de cuatro tiempos y de sus elementos componentes ha permitido un fácil entendimiento del funcionamiento del conjunto motor.
- La descripción de los elementos del motor permiten conocer detalladamente el funcionamiento y disposición de estos en el motor actual, así como de su instalación, mantenimiento y aplicaciones.
- Al tener dos alternativas de corte, el análisis de seccionamiento facilitó la selección de la mejor alternativa, la cual ha permitido alcanzar los objetivos planteados en este proyecto.
- El seccionamiento del motor recíproco de combustión interna de cuatro tiempos permite identificar cada uno de los elementos de dicho motor.

5.2. Recomendaciones

- Para complementar el buen uso del motor seccionado, se tendrá en consideración los procedimientos de mantenimiento y seguridad según el anexo D.
- Es importante realizar prácticas en este tipo de materiales didácticos ya que permiten observar claramente el funcionamiento interno real del motor recíproco de combustión interna así como también permiten conocer cada uno de sus elementos, mejorando y facilitando el aprendizaje de los estudiantes de Mecánica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.
- Se recomienda tomar las debidas precauciones el momento de trasladar el motor de un lugar a otro para evitar posibles resbalamientos.

BIBLIOGRAFÍA

- John F. Dagel, 1995, Motores y Sistemas de Inyección, Editorial Limusa, México D.F. Segunda Edición.
- Ricardo Miguel Vidal, Antonio Coll, Miguel De Castro y Jaime Rodríguez, 1981, El Motor De Gasolina, Editorial CEAC S.A. Barcelona (España) Décima Edición.
- Juan Miralles y Juan Villalta, 1986, Funcionamiento y estructura del motor, Editorial CEAC S.A. Barcelona (España), Tercera Edición.
- Gabino Barreda, 1979, Motores Diesel, Editorial de Métodos y Sistemas S.A. México D.F. Primera Edición.

ANEXOS

