CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL TREN MOTRIZ

3.1. El Tren Motriz y la Selección del vehículo

Los automóviles han sido parte integral de la sociedad mexicana. Millones de mexicanos dependemos de ellos, formando parte de nuestra forma de vida. Al seleccionar un vehículo en el país debemos tomar en cuenta todo tipo de factores que pueden afectar al automóvil, nuestra seguridad o nuestra inversión. Por esto, el seleccionar un modelo eficiente en combustible es primordial [82].

El consumo de combustible varía considerablemente de acuerdo a factores como el tipo de vehículo comprado, su peso, su transmisión, eficiencia en la máquina, accesorios y factores externos, por ejemplo, cuándo y dónde el vehículo es manejado [82]. Como se puede apreciar, el tren motriz es importante en este sentido, ya que la trasmisión y eficiencia de máquina son factores decisivos. Por otro lado, en el capítulo 3 se discutirán las condiciones de manejo en México.

En este proyecto se entenderá por tren motriz al conjunto motor-transmisión-árbol de transmisión (Figura 3.1). A continuación se presenta la descripción de cada uno de éstos elementos.

3.2. El Motor de combustión interna

3.2.1. Idea de su Funcionamiento [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Un vehículo automóvil se caracteriza porque en el mismo se produce la energía que necesita para desplazarse; tal energía se produce en el motor y el desarrollo en los automóviles hasta hace poco ha sido posible gracias a los motores de combustión interna. Así, el enfoque de este proyecto está dirigido a los motores de combustión interna.

Los motores de combustión interna son aquellos en que el trabajo se produce aprovechando para ello el calor desarrollado al quemarse un combustible en una cámara cerrada. Al quemarse un combustible tal como la gasolina, se producen gases de combustión y calor. Si el calor se produce dentro de una cámara cerrada, hace aumentar la temperatura y la presión de los gases, originando una tendencia a expandirse (aumentar de volumen); esta tendencia puede transformarse en el movimiento de un mecanismo y éste aprovecharse como fuente de energía o fuerza motriz.

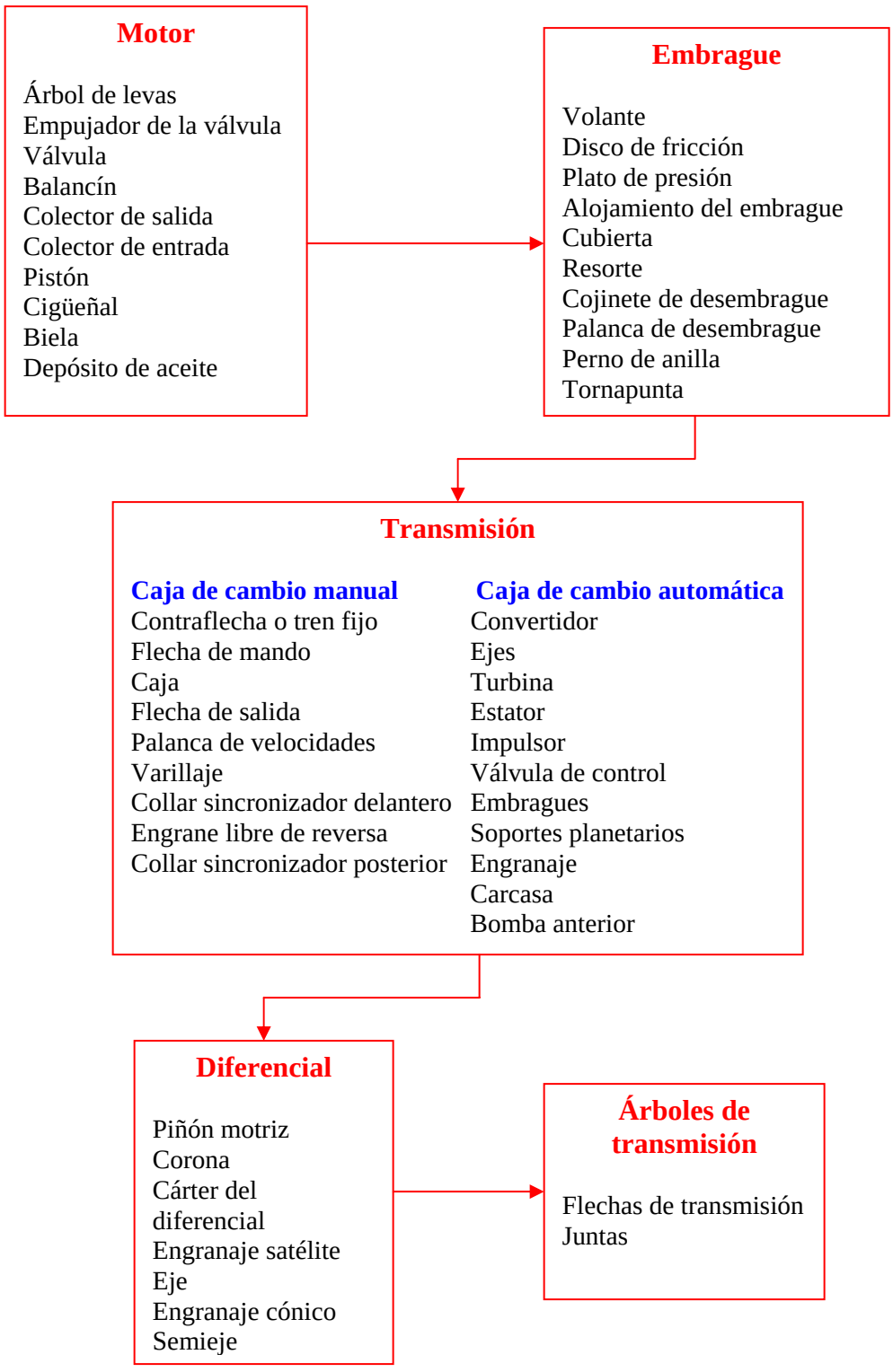


Figura 3.1. El tren motriz. [Castro Vicente, Miguel de. 1985], [9], [7]

En la Figura 3.2 se puede ver la disposición de un motor de combustión de émbolo, que son los más empleados en los automóviles. En una cámara cilíndrica C, se realiza la combustión de una mezcla de combustible y aire, con lo cual se eleva la presión en la cámara y el émbolo E es empujado hacia abajo transmitiendo, por medio de la biela B, el movimiento a una manivela (cigüeñal), con lo cual se transforma en un movimiento de giro del eje J. La energía de giro acumulada en un volante V, solidario al eje, hace que éste 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.

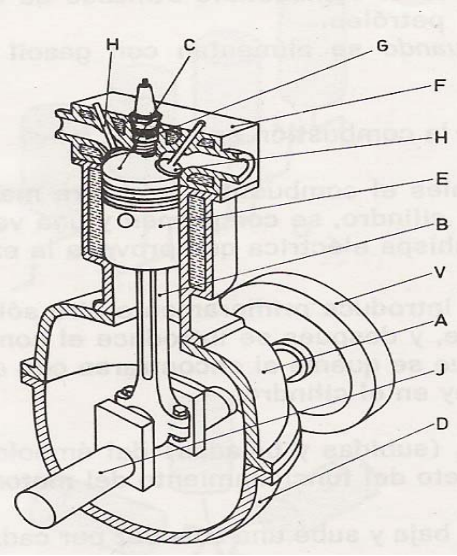


Figura 3.2. Disposición del motor de combustión de émbolo
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El presente estudio se enfocará en automóviles que cuentan con motores que se pueden clasificar así:

1. Según el combustible empleado: Motores de gasolina, en los cuales el combustible utilizado es un líquido muy volátil derivado del petróleo.
2. Según la forma de realizarse la combustión: Motores de explosión, en los cuales el combustible y el aire mezclados se introducen juntos en el cilindro, se comprimen y

una vez comprimidos se produce una chispa eléctrica que provoca la explosión de la mezcla.

3. Según el número de carreras del émbolo: Motores de cuatro tiempos, cuando el émbolo baja y sube dos veces por cada ciclo de combustión.
4. Según el número de cilindros: Policilíndricos, que tienen dos o más cilindros en que se produce la combustión. De los motores policilíndricos, los más corrientes son los de dos, de cuatro, de seis, de ocho y de doce cilindros, aunque Volkswagen ya ha desarrollado un motor de 5 cilindros (ver ANEXO IV).
5. Según la disposición de los cilindros: Pueden ser,
    - En línea, cuando los cilindros están colocados paralelos y uno a continuación del otro (Figura 3.3.a).
    - En V (Figura 3.3.b)

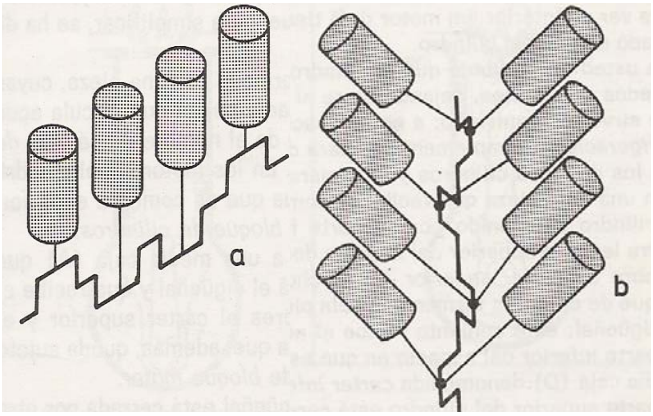


Figura 3.3. a) Cilindros en línea; b) Cilindros en V.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.2. Partes del motor y características fundamentales del mismo [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En la Figura 3.2 se muestra un motor de 4 tiempos de un solo cilindro para simplificar. Puede verse que el cilindro está formado por una pieza, cuyas paredes son dobles, dejando entre sí un espacio por el que circula agua que sirve para enfriarlo; a este espacio se le da el nombre de cámara de refrigeración o cámara de agua. En los motores policilíndricos los diversos cilindros y la cámara de agua que es común a ellos forman una sola pieza que recibe el nombre de bloque de cilindros.

El cilindro está unido en su parte interior a una media caja (A), que cierra la parte superior del espacio donde está el cigüeñal y que recibe el nombre de cárter superior. En muchos motores el cárter superior y el bloque de cilindros forman una sola pieza en la que, además, queda sujeto el cigüeñal; este conjunto recibe el nombre de bloque motor.

La parte inferior del espacio en que está el cigüeñal está cerrada por otra media caja (D), denominada cárter inferior o cárter de aceite.

La parte superior del cilindro está cerrada por una pieza en forma de tapa (F), denominada culata. La culata también está formada por dobles paredes que forman cámara de agua.

En una agujero practicado a la culata y que llega hasta el interior del cilindro se halla colocado el dispositivo que produce las chispas que hacen explotar la mezcla de combustible y aire, el cual se llama bujía (G).

Dos válvulas (H), están situadas en dos canales distintos que permiten cerrar estos canales o poner el cilindro en comunicación con el exterior. Una de ellas regula el paso de la mezcla de combustible y aire y se llama válvula de admisión; la otra, situada en el canal por el que salen los gases quemados a la atmósfera se llama válvula de escape.

Dentro del cilindro y perfectamente ajustado a él, hay una pieza que puede deslizarse a lo largo del mismo llamada émbolo (E), que es la que recibe el empuje en la explosión.

El émbolo transmite su movimiento a un eje acodado llamado cigüeñal (J), por medio de una recia pieza llamada biela (B), que une a ambos. En uno de los extremos del cigüeñal hay colocada una rueda de mucho peso llamada volante (V).

Cuando el émbolo se haya en su posición más baja se dice que está en el punto muerto inferior (P.M.I) (Figura 3.4), y cuando se halla en su posición más baja se dice que está en el punto muerto superior (P.M.S) (Figura 3.5). La distancia que media entre una y otra posición se denomina carrera (Figura 3.6), y el mismo nombre se da al recorrido que efectúa el émbolo al pasar de una a otra de estas dos posiciones durante el funcionamiento. Al espacio que queda entre el émbolo cuando está en el punto muerto superior y la culata, se le denomina cámara de explosión (Figura 3.7).

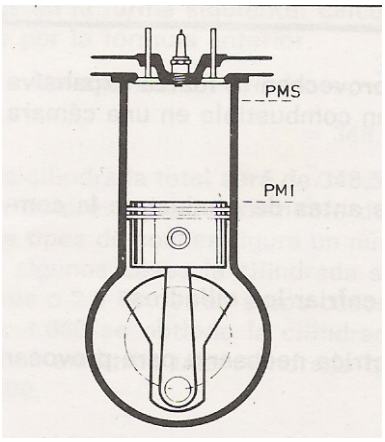


Figura 3.4. Punto muerto inferior (PMI).

[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

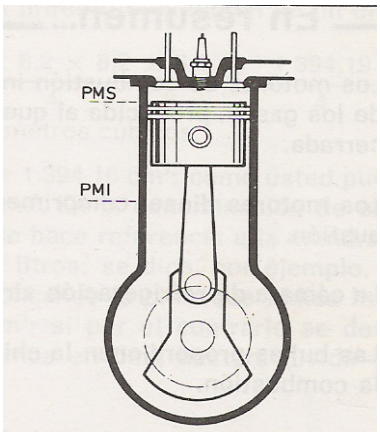


Figura 3.5. Punto muerto superior.

[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

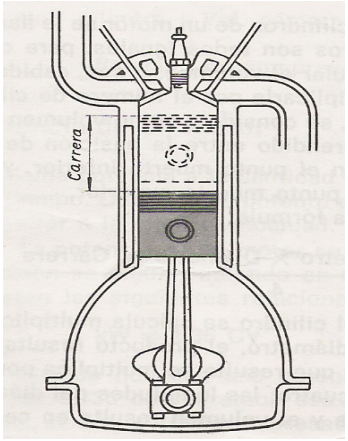


Figura 3.6. Carrera.

[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

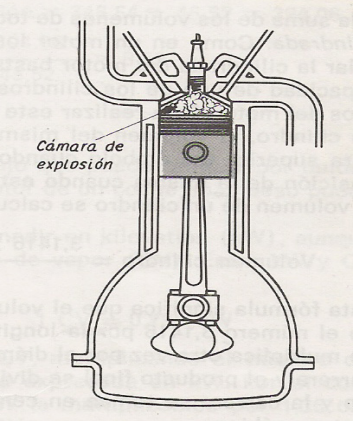


Figura 3.7. Cámara de explosión.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.3. Terminología referente al desempeño del motor

3.2.3.1. Cilindrada [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

A la suma de los volúmenes de todos los cilindros de un motor se le llama cilindrada. Como en un motor los cilindros son todos iguales, para calcular la cilindrada del motor bastará calcular el volumen o cabida y capacidad de uno de los cilindros y multiplicarla por el número de cilindros del motor. Para realizar este cálculo, se considera como volumen de un cilindro el volumen del mismo comprendido entre la posición de la cara superior del émbolo cuando está en el punto muerto inferior, y la posición de la misma cuando está en el punto muerto superior.

El volumen de un cilindro se calcula por la fórmula:

$$\text{Volumen del cilindro} = \frac{3.1416 \times \text{Diámetro} \times \text{Diámetro} \times \text{Carrera}}{4}$$

donde las longitudes del diámetro y la carrera se toman en centímetros y el volumen resulta en centímetros cúbicos. Así, el tamaño del motor generalmente se expresa en litros de desplazamiento. Generalmente, mientras más grande sea el motor, su consumo de

combustible también lo será. Los fabricantes han mejorado el rendimiento reduciendo la fricción interna de la máquina al introducir nuevos diseños (3 ó 4 válvulas por cilindro, turbo cargadores, alta turbulencia, cámaras de combustión de encendido rápido y sistemas de inyección electrónica) [Guía de Ahorro de Gasolina. CONAE].

3.2.3.2. Relación de Compresión [Heisler, Heinz. 1999]

En el cilindro del motor, las moléculas de gas se están moviendo a una velocidad considerable chocando con otras moléculas y las superficies de la cabeza del cilindro, las paredes del cilindro y el pistón. Los choques en las paredes producen presión.

Al comprimirse el gas aumenta la temperatura, la velocidad de las moléculas y así, la energía cinética. Esta actividad se vuelve oposición al movimiento del pistón en el cilindro. Cuando se quema la gasolina, la energía química del combustible se transforma en energía calorífica aumentando la energía cinética en las moléculas. Esto significa que un mayor número de golpes repetidos de magnitud considerable golpearán al pistón empujándolo hacia su punto inferior.

Por lo anterior se puede ver la importancia de tener un alto grado de compresión antes de que se queme la gasolina para aumentar la eficiencia de la combustión. La relación de compresión es igual al cociente del volumen del cilindro más la cámara de explosión dividido por el volumen de la cámara de explosión. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.3.3. Potencia en un Motor [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Se llama potencia a la cantidad de trabajo que puede realizar por unidad de tiempo. Cuanto más potente es el motor de un coche, más peso puede arrastrar a la misma velocidad. La potencia de un motor se puede medir en kilovatios (kW), aunque también se sigue midiendo en caballos de vapor (CV). Entre kW y CV existen las siguientes relaciones:

$$1kW = 1.36CV \qquad ; \qquad 1CV = 0.736kW$$

La potencia que proporciona un motor en marcha depende del número de revoluciones o vueltas que da el cigüeñal por minuto y aumenta a medida que aumentan las revoluciones, hasta llegar a un número determinado, pasado el cual disminuye otra vez.

La potencia máxima que indican los fabricantes no suele ser la máxima que es posible obtener del motor, sino la máxima a la que el funcionamiento es correcto y las revoluciones

a que es posible obtener tal potencia. También conviene distinguir la potencia teórica, que se determina según ciertas fórmulas y depende de la cilindrada de cada motor, de la potencia efectiva o que realmente tiene el motor que depende de la cilindrada, de la relación de compresión y de otros detalles constructivos.

3.2.3.4. Torque [Heisler, Heinz. 1999]

Es el esfuerzo de giro sobre el eje del cigüeñal y es igual al producto de la fuerza actuando a lo largo de la biela y la distancia perpendicular entre esta fuerza y el centro de rotación del cigüeñal. Se expresa en newton metro (Nm).

3.2.4. Funcionamiento del Motor de Cuatro Tiempos [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El funcionamiento de un motor con ciclo de 4 tiempos se realiza de la siguiente forma (Figura 3.8):

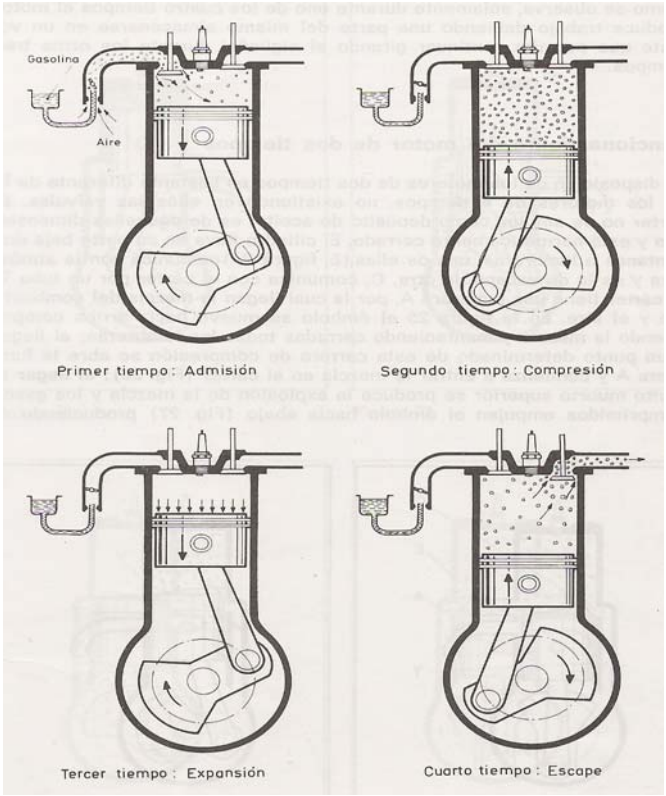


Figura 3.8. Ciclo completo en un motor de 4 tiempos.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Estando el émbolo en el punto muerto superior y el cilindro lleno de la mezcla de combustible y aire (válvula de admisión), el émbolo se mueve arrastrado por el cigüeñal

hacia el punto muerto inferior, llenándose el cilindro con la mezcla; a esta carrera se le denomina tiempo de admisión.

Estando el émbolo en el punto muerto inferior y el cilindro lleno de la mezcla de aire combustible, se cierra la válvula de admisión y manteniendo también cerrada la otra, el émbolo sube hasta el punto muerto superior empujado por el cigüeñal, comprimiendo la mezcla; a esta segunda carrera se le denomina segundo tiempo o tiempo de compresión.

Estando el émbolo en la parte superior y hallándose la mezcla comprimida en el espacio que queda entre la cara superior del émbolo y fondo del cilindro, espacio al cual se le da el nombre de cámara de combustión, se inicia la combustión que se produce de forma explosiva y el émbolo es empujado hacia abajo por la fuerza de expansión de los gases quemados, empujando al cigüeñal y produciendo así el movimiento; a esta tercera carrera se le denomina tercer tiempo o tiempo de explosión y también tiempo de trabajo.

Al finalizar el tercer tiempo, el émbolo se halla en el punto muerto inferior y el cilindro está lleno de los gases quemados, se abre la válvula del escape y el émbolo, empujado por el cigüeñal, expulsa del cilindro los gases quemados, enviándolos a la atmósfera; a este tiempo se le llama tiempo de escape y, al finalizar con la llegada del émbolo a su punto muerto superior, se cierra la válvula de escape, se abre la de admisión y queda el motor en las mismas condiciones que al principio, para comenzar un nuevo ciclo.

Como puede verse, solamente durante uno de los cuatro tiempos el motor produce trabajo debiendo una parte del mismo almacenarse en un volante que permita continuar girando el cigüeñal durante los otros tres tiempos.

3.2.5 Piezas fijas del motor [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.5.1. Bloque de Cilindros [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El bloque de los cilindros puede considerarse como la pieza básica del motor del automóvil. En él se forman los cilindros en que se mueven los émbolos y sobre él se montan la mayor parte de las piezas del motor. La siguiente figura muestra una forma de construcción de motores.

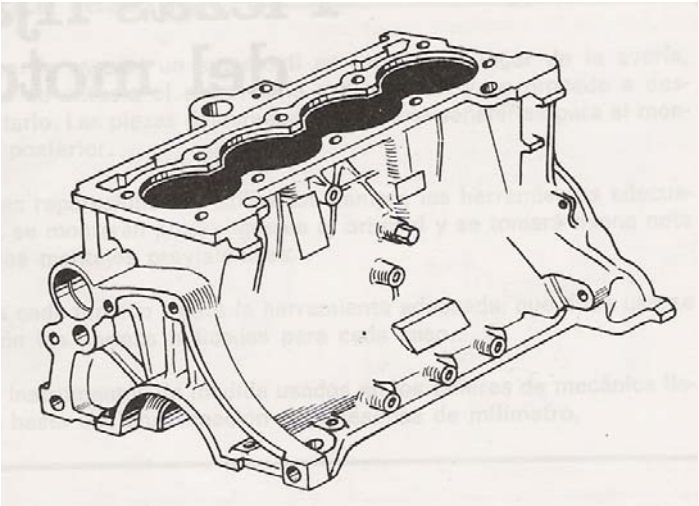


Figura 3.9. Bloque de 4 cilindros.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Casi siempre el bloque de cilindros forma una sola pieza con el cárter; pero a veces se funden por separado. En el primer caso el bloque de cilindros se fabrica de la mejor calidad de hierro fundido gris y el cárter de otro tipo de fundición gris o de una aleación de aluminio fundido; cuanto el bloque es de aluminio, el motor resulta algo más ligero. Cuando las dos piezas se funden por separado se necesita un trabajo de mecanizado mayor, lo cual aumenta el coste de fabricación, pero en caso de avería, bien sea del bloque de cilindros o del cárter, solamente debe reponerse la pieza estropeada.

Los cilindros están fundidos en el mismo bloque, lo cual simplifica su mecanización y proporciona un motor más rígido.

Las superficies interiores de los cilindros son mecanizadas con un alto grado de precisión y acabadas con operaciones de rectificado, escariado o lapeado, para obtener un alto grado de pulido.

Al proyectar los bloques de cilindros se ha tendido siempre a disponerlos todos en un solo bloque. Para motores de seis cilindros se fundían primeramente en dos bloques de tres cilindros. Pronto los fabricantes lograron fundir bloques con 4 cilindros, para más tarde conseguir los de 6 y hasta los de 8 para motores en V o en línea en un solo bloque.

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 más frecuente es que haya colocado un cojinete entre cada dos cilindros y que el cigüeñal esté dotado de un cojinete más que el número de

cilindros que haya en una línea de cilindros del motor. Los motores en línea tienen todos sus cilindros en una línea o fila. Los motores en V y los de cilindros opuestos, tienen dos líneas o filas de cilindros. El uso de un gran número de cojinetes aumenta en algo la longitud del motor, pero permite que los cilindros estén igualmente espaciados en el bloque y esto a su vez se traduce en una mejor refrigeración del bloque en el cual los espacios de las camisas de agua de todos los cilindros son aproximadamente iguales.

Cuando en el motor se utilizan soportes de cojinetes desmontables, el cárter debe presentar fundidos y mecanizados los alojamientos para estos soportes (Figura 3.10).

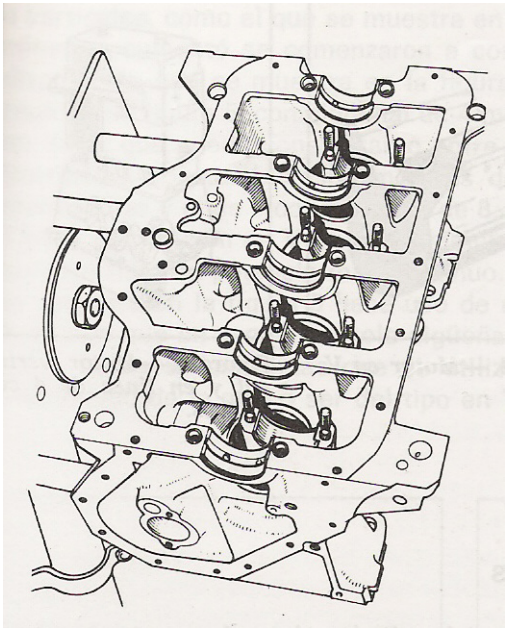


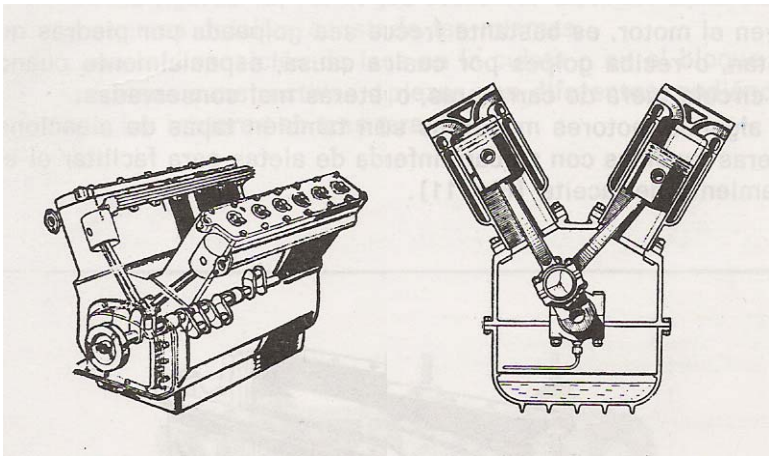
Figura 3.10. Apoyos del cigüeñal.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

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

3.2.5.2. Disposición de los Cilindros [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Los primeros motores eran de un solo cilindro. Después se construyeron los de dos cilindros opuestos en los cuales un cilindro está colocado formando un ángulo de 180° con el otro; los cilindros están colocados en los lados opuestos del cigüeñal por lo cual se llama

construcción de cilindros opuestos. Muy pronto se hicieron populares los motores en línea o verticales. Cuando el número de cilindros aumentó se comenzaron a construir los motores en V, con la disposición que se muestra en las Figura 3.11 y 3.12.



Figuras 3.11 y 3.12. Motor en V de 12 cilindros y acoplamiento de un solo cigüeñal para Motor en V. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.5.3. Tapas de Aceite o Cárter de Aceite [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La mitad inferior del cárter (Figura 3.13), está casi siempre hecha de plancha de hierro; ésta es la forma más ligera y a la vez la más fuerte en que puede hacerse. Siendo de este material puede resistir los choques y golpes que ocasionalmente puede recibir, mejor que si fuese de metal fundido. Ocupando la posición más baja de todas las partes que constituyen el motor, es bastante frecuente que sea golpeado a causa, por ejemplo, de carreteras mal conservadas.

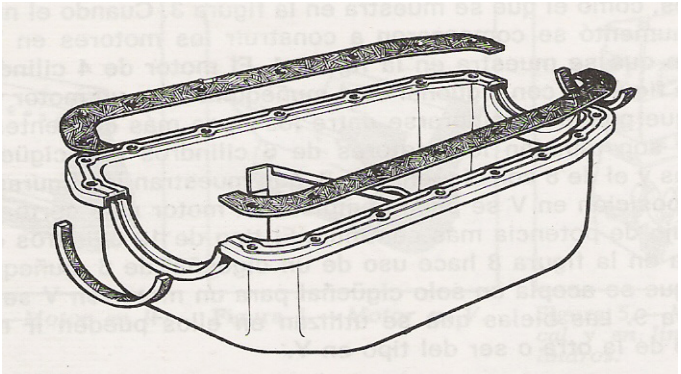


Figura 3.13. Cárter (mitad inferior). [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En algunos motores se emplean también tapas de aleaciones ligeras fundidas con su cara inferior dotada de aletas para facilitar el enfriamiento del aceite (Figura 3.14).

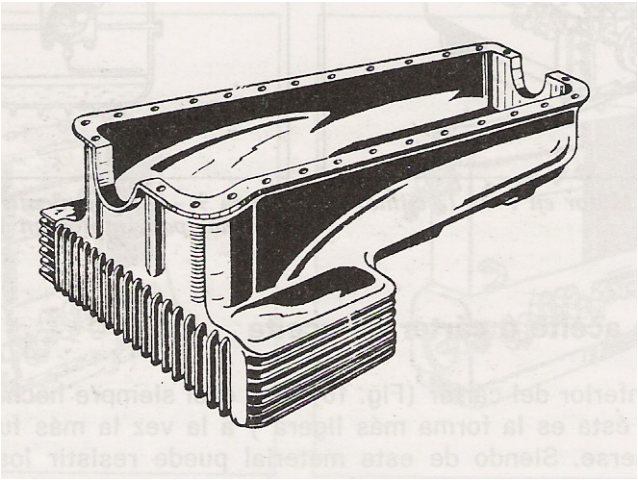


Figura 3.14. Cárter con aletas. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.5.4. Culatas [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La culata es la parte que cierra los cilindros por su parte superior, formando la pared fija de la cámara de combustión. En ella se sitúan las bujías y generalmente también las válvulas.

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 la válvula cuando éstas están situadas en ella. Su forma es bastante complicada (Figura 3.15) especialmente en aquellos casos en que el accionamiento de las válvulas se monta en ellas.

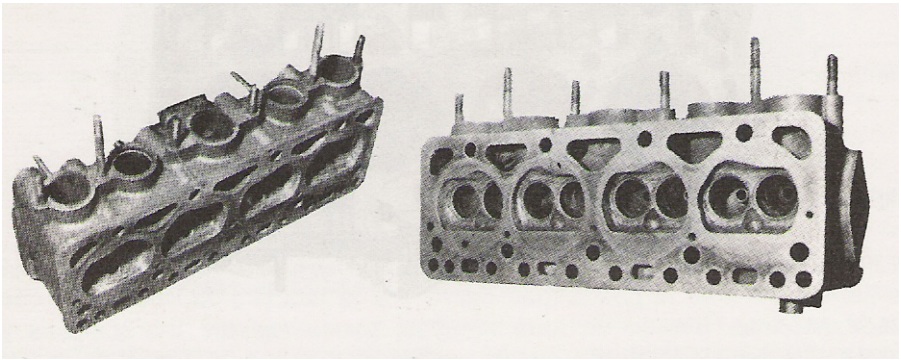


Figura 3.15. Culata. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Según sea la disposición de las válvulas en la culata o en el bloque motor, las formas constructivas de estas piezas son diferentes, pudiéndose clasificar los motores en tres tipos diferentes.

3.2.5.4a. Motores en L [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En estos motores llamados también motores con válvulas laterales, la sección del motor por un cilindro y su cámara de combustión se asemeja a una L invertida (Figura 3.16). En ellos las válvulas y todos los elementos del accionamiento de las mismas están situados en el bloque.

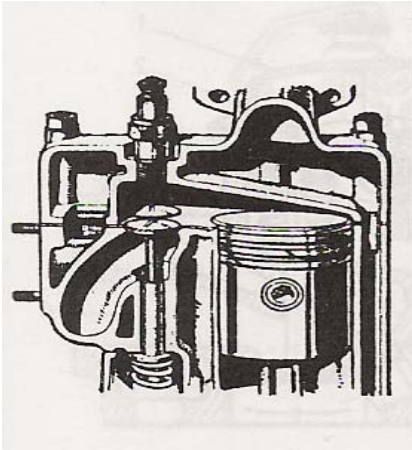


Figura 3.16. Motor en L. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.5.4b. Motores en I [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Llamados motores con válvulas en culata o también de válvulas superiores. Su sección por un cilindro y su cámara de combustión se asemeja a una línea recta o bien una letra I (Figura 3.17). En este tipo de motores la altura es algo mayor y la anchura algo menor que la de los motores en L.

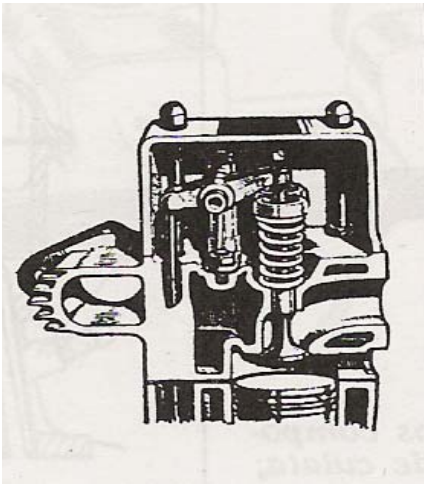


Figura 3.17. Motor en I. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La refrigeración de los cilindros es muy buena ya que las cámaras de agua son iguales por los dos lados del motor. Corrientemente una cubierta de plancha metálica protege el mecanismo de las válvulas, del polvo y la suciedad y evita la pérdida de aceite. Es la más disposición más común.

3.2.5.4c. Motores en F

El motor en F (Figura 3.18), es una combinación de los tipos de motor en I y motor en L; la práctica corriente es colocar las válvulas de admisión en cabeza y las válvulas de escape en el bloque de cilindros. Las válvulas de admisión están movidas por empujadores y balancines.

Figura 3.18. Motor en F. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La culata que se muestra en la siguiente figura es del tipo corriente en los motores con culata en L. Está construida en forma tal que produce turbulencia a la entrada de los gases para evitar la condensación del combustible y detonación de los gases.

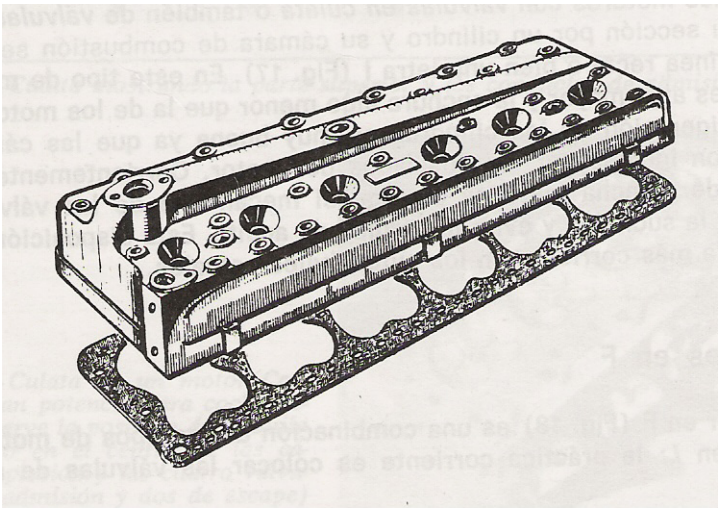


Figura 3.19. Culata para motor en L. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En la Figura 3.20 se puede ver una culata desmontable con las válvulas colocadas en ella.

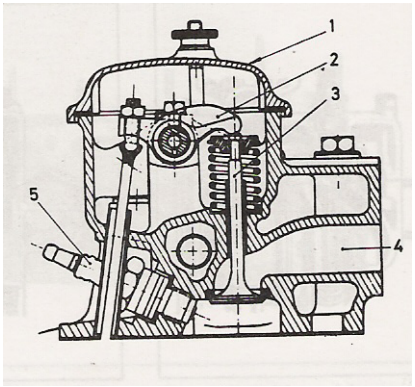


Figura 3.20. Disposición de los componentes de la culata: 1) tapa de la culata; 2) balancines; 3) válvula; 4) conducto de admisión; 5) bujía.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.5.5. Tubos de Escape y Admisión [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El tubo de admisión en la Figura 3.21, distribuye la mezcla de aire y combustible en los cilindros. Es frecuente fundirlo conjuntamente con el tubo de escape o bien unirlo a éste a fin de utilizar el calor para evaporar el combustible.

El tubo de escape está proyectado para atornillarlo sobre el bloque de cilindros, de manera que cada entrada se conecta con uno de los conductos de cada una de las cuatro válvulas de escape.

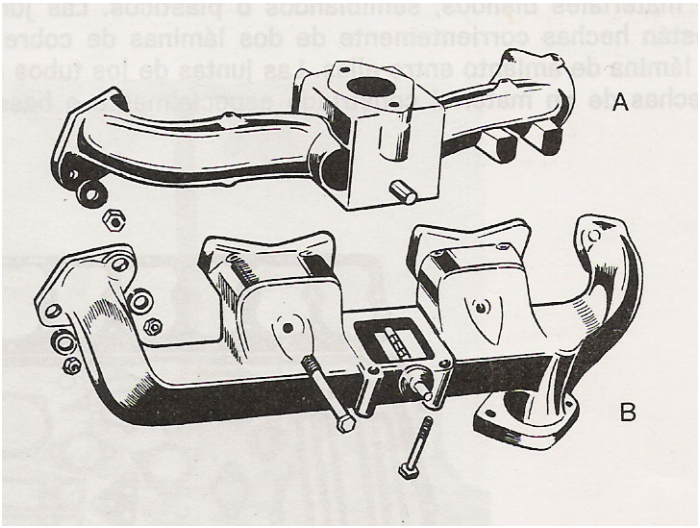


Figura 3.21. Tubos de admisión. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Parte del tubo de admisión de esta figura, está atornillado al tubo de escape en su centro; de este modo parte de los gases de escape rodean secciones del tubo de admisión a través del cual, pueden calentar la mezcla de combustible si es necesario.

3.2.5.6. Juntas [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En todos los motores y en otros casos, en uniones de piezas de máquinas que deben quedar libres de fugas de compresión y de aceite, se utilizan juntas de una y otra forma (Figura 3.22); estas juntas están hechas de materiales blandos, semiblandos o plásticos. Las juntas de la culata están hechas corrientemente de dos láminas de cobre o bronce con una lámina de amianto entre ellas. Las juntas de los tubos de escape están hechas de un material construido especialmente a base de hilos de cobre, amianto y grafito. Algunas juntas son de caucho, otras de fieltro y otras de papel ordinario o cartulina; también se venden materiales especiales para juntas.

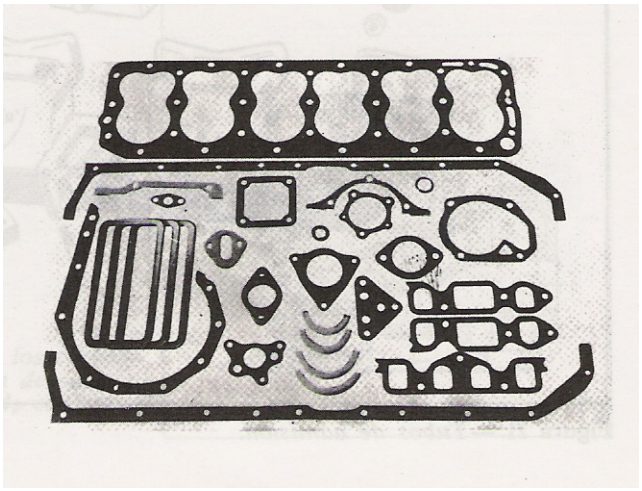


Figura 3.22. Juntas de motor. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.6 Cigüeñal y Cojinetes de Apoyo [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.6.1 Formas del Cigüeñal

En la Figura 3.23 se muestra una forma muy simple del cigüeñal de una sola muñequilla, tal como se usan para un motor agrícola o un motor de gasolina de un solo cilindro de pequeño tamaño. El inconveniente de un cigüeñal de este tipo es que no está equilibrado. Para equilibrarlo debe contrapesarse, como se muestra en la Figura 3.24.

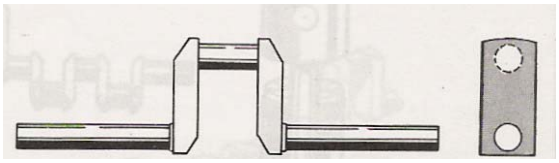


Figura 3.23. Cigüeñal de una sola muñequilla.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

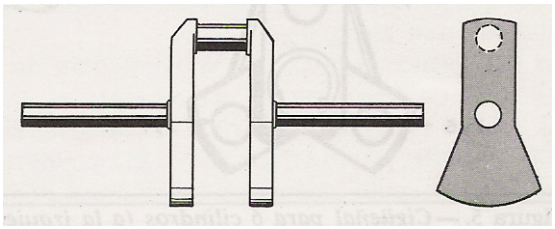


Figura 3.24. Cigüeñal de una sola muñequilla con contrapeso.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En la Figura 3.25 se puede ver un cigüeñal de tres cuellos y cuatro muñequillas para uso de un motor de cuatro cilindros. Este tipo de cigüeñal es el más frecuente en los motores de automóvil y sirve también para motores de ocho cilindros en V.

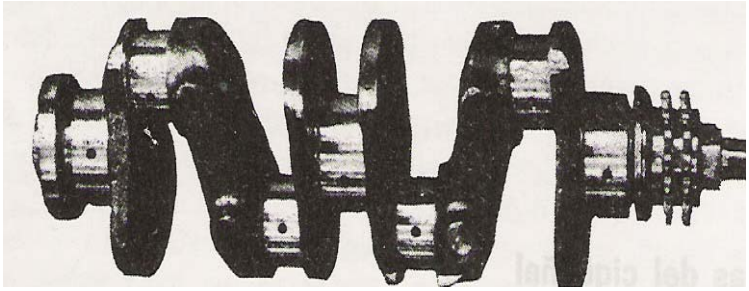


Figura 3.25. Cigüeñal de 3 cuellos y 4 muñequillas.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En la Figura 3.26 se ve un cigüeñal de 6 cilindros en la que se muestran las posiciones de las muñequillas, que como puede verse están repartidas de manera que las manivelas forman ángulos de 120°. Esta disposición con 120° entre las muñequillas es la que da muchas de las características de suavidad a los motores de 6 cilindros, puesto que tiende a romper la vibración periódica de un motor de 4 cilindros con las muñequillas dispuestas a 180°.

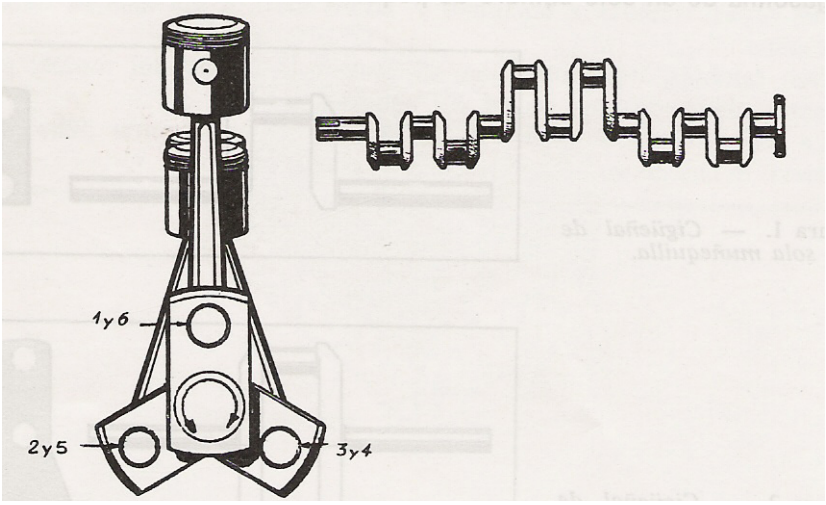


Figura 3.26. Cigüeñal para 6 cilindros (a la izquierda visto de frente).
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El primer tipo de cigüeñal construido para motor de 8 cilindros en línea, era igual a dos cigüeñales de cuatro cilindros colocados extremo con extremo. Más tarde se decidió que era mejor y preferible construirlos en la forma que quedaría cortando un cigüeñal en dos y uniendo cada mitad a un extremo de un cigüeñal de cuatro cilindros puestos en el centro. El primer tipo se denomina un cigüeñal cuatro-cuatro, el último se denomina cigüeñal dos-cuatro-dos. En la vista de frente se puede ver que las muñequillas 1 y 8 están en el mismo sitio; 3 y 6 están adelantadas 90°; 2 y 7 están adelantadas 180°, y 4 y 5 están retardadas en 90°, a partir de la posición 1 y 8.

3.2.6.2. Apoyos y Cojinetes del Cigüeñal [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La Figura 3.27 muestra la disposición de los apoyos de los cojinetes en un cárter para un cigüeñal de 3 cuellos que puede utilizarse para motores de 4 ó 6 cilindros; la Figura 3.28 muestra esta disposición para un cigüeñal de 4 cuellos para un motor de 6 cilindros. La Figura 3.29 es un cárter de 7 cuellos para un motor de 6 cilindros. La misma construcción general se utiliza para un motor de 8 cilindros que tenga 9 cuellos en el cigüeñal.

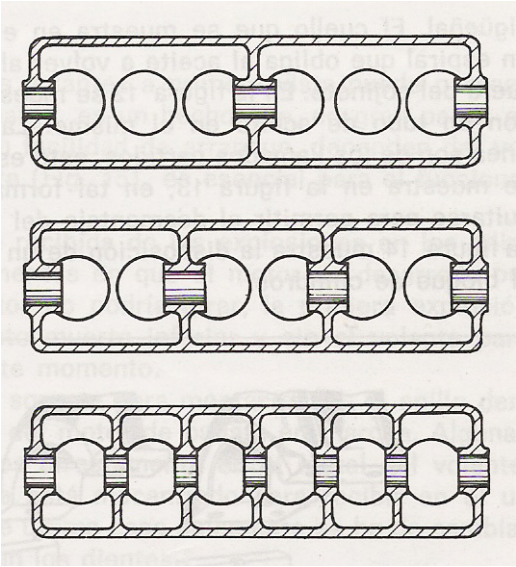


Figura 3.27, 3.28 y 3.29. Diferentes tipos de apoyo de los cojinetes en un bloque de cilindros. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Se ha discutido mucho la conveniencia de poner o no el máximo número de cojinetes en los cigüeñales; el empleo de un número escaso de cuellos en el cigüeñal se traduce

generalmente en una vibración que tiene efectos destructivos sobre los cojinetes. El mayor número de cojinetes que pueden usarse en un cigüeñal es uno a cada lado de las muñequillas como en la Figura 3.29; esto da exactamente para el número de cojinetes uno más que cilindros haya en el motor, refiriéndose a los motores en línea.

La forma que generalmente tiene un cojinete de línea se muestra en la Figura 3.30, en la cual se ve un cojinete de línea trasero con el cigüeñal en posición. Se puede ver en ella un tejuelo de hierro fundido que soporta el recubrimiento interior de metal antifricción, dentro del cual gira el cigüeñal. El cuello que se muestra en ella está provisto de un rebaje en espiral que obliga al aceite a volver al cárter y no permite que salga fuera del cojinete. La mayoría de los cojinetes en línea son de los llamados partidos, esto es, hechos en dos mitades como se muestra en la Figura 3.31, de tal forma que la mitad inferior puede quitarse para permitir el desmontaje del cigüeñal.

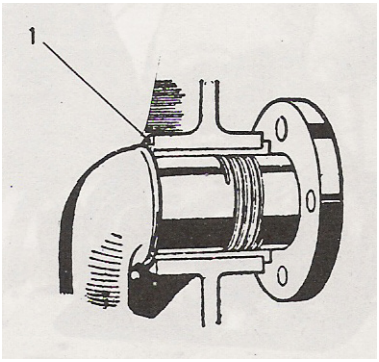


Figura 3.30. Cojinete de línea: 1) tejuela de hierro fundido recubierto de antifricción. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

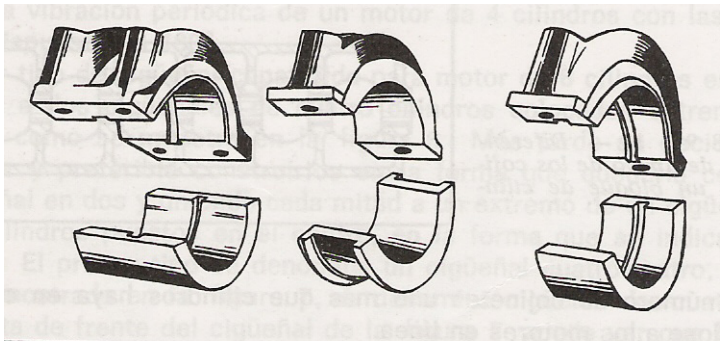


Figura 3.31. Diferentes tipos de cojinetes de línea partidos. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.6.3. Volantes [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El comportamiento del motor y su facilidad de arranque dependen del volante (Figura 3.32). Es esencial para el funcionamiento suave del motor.

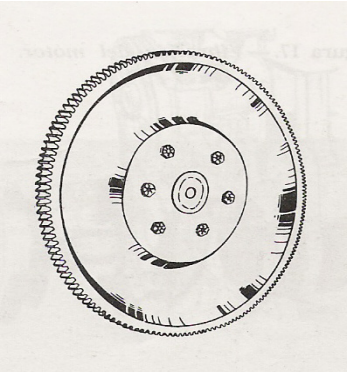


Figura 3.32. Volante. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El volante almacena la energía recibida de las explosiones en los cilindros y la devuelve en los momentos en que el motor no desarrolla potencia, de otra manera el motor no podría girar. La primera explosión llevaría al motor hasta su punto muerto inferior y sin el volante para sacarlo de él se pararía en este momento.

El volante sirve también como soporte para montar en él, el anillo dentado que engrana con el piñón del motor de puesta en marcha. Algunas veces los dientes están tallados directamente en el metal del volante, pero generalmente el volante está mecanizado para recibir en él un anillo dentado. En este caso sólo se cambia el anillo dentado si se estropean los dientes.

3.2.6.4. Dampers o amortiguadores de vibración [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La fuerza que procede del pistón a través de las bielas a cada explosión, tiende a retorcer el cigüeñal. Si no se provee al cigüeñal de un damper o antivibrador, éste se recobra de sus deformaciones tan rápidamente que hace vibrar al motor.

El damper es un pequeño volante que se monta en el extremo del cigüeñal opuesto a aquel en que va montado el volante del motor (Figura 3.33), estando construido de tal modo que su llanta o mayor parte de la masa está unida elásticamente a su cubo de acoplamiento al cigüeñal. Tal construcción permite absorber parte de la energía de torsión del cigüeñal,

devolviéndola a éste después en forma gradual, haciendo así que se recupere de la deformación sufrida de modo más suave y evitando la vibración.

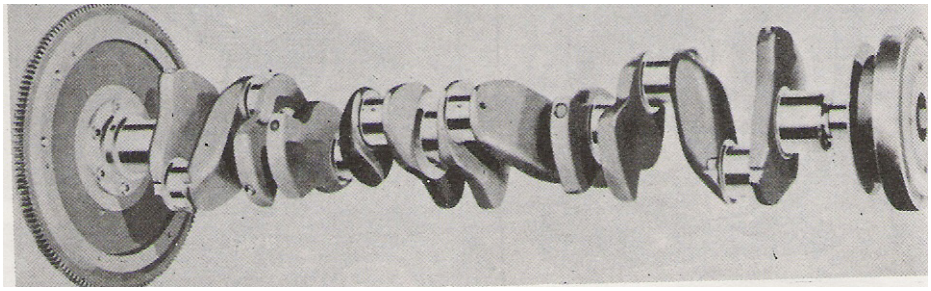


Figura 3.33. Cigüeñal mostrando el dámper o antivibrador montado en el extremo Opuesto del volante. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Los motores de automóvil cuyo cigüeñal es corto y robusto en relación con su potencia, no suelen ir provistos de antivibrador. Por otra parte, tampoco es necesario conocer el despiece o constitución de los antivibradores ya que rara vez necesitan o pueden ser reparados.

3.2.7. Conjunto Émbolo-Biela [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.7.1. Piezas que forman el Conjunto [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La sección transversal de las bielas está forjada en forma de I o H; el extremo superior de la biela (Figura 3.34), lleva el eje del émbolo y corrientemente recibe el nombre de pie de biela. El extremo inferior está construido para ser montado sobre la muñequilla del cigüeñal y recibe el nombre de cabeza de biela.

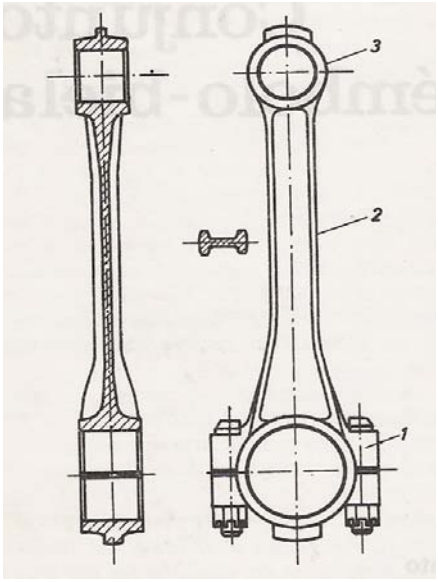


Figura 3.34. Bielas: 1) cabeza; 2) vástago; 3) pie.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El tipo de biela esta determinado por el método de montaje del eje de émbolo sobre ella; en el tipo de abrazadera al eje del émbolo está insertado en la expansión del pie de biela que está partida por el centro (Figura 3.35), o en un lado como se muestra en la Figura 3.36; un tornillo permite cerrar fuertemente el alojamiento sobre el eje del émbolo de forma que este último queda asegurado rígidamente en el extremo de la biela; el eje del émbolo puede estar construido con una ligera entalla en su centro en la que se aloja una parte de la sección del tornillo de fijación, el cual centra el eje del émbolo y le impide deslizarse hacia los lados.

Figura 3.35. Biela [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

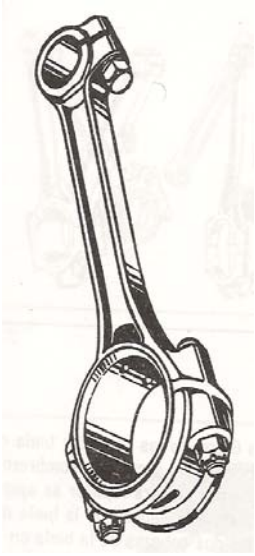
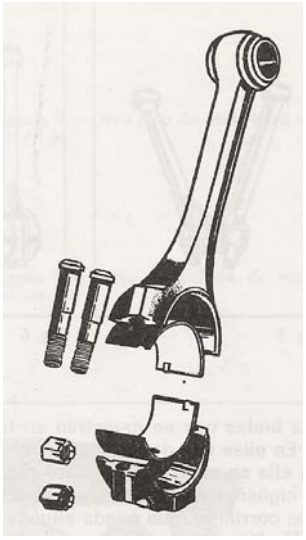


Figura 3.36 Biela partida en un lado.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El segundo tipo de biela (Figuras 3.34 y 3.37), lleva montado a presión en su pie un casquillo o cojinete de bronce, y el eje de émbolo está ajustado en este casquillo de forma que puede deslizarse dentro de él. Generalmente los ejes del émbolo para este tipo de biela están fijados en el émbolo por medio de un tornillo de presión en uno de los alojamientos del eje en el émbolo, de forma que no puede girar ni deslizarse dentro de él, pero algunos tipos permiten al eje girar dentro de sus alojamientos en el émbolo o en los casquillos que a veces hay en ellos.



Figuras 3.37. Otro tipo de biela.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En los motores de automóviles la cabeza de biela está construida en forma de abrazadera sujeta por dos tornillos.

En la mayor parte de los motores se usan cojinetes superpuestos o intercambiables (Figura 3.37), semejantes a los que se montan en la línea del cigüeñal.

3.2.7.2. Forma y Funcionamiento de los Émbolos [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El émbolo es la primera parte móvil del motor que recibe y transmite la energía o fuerza para hacer trabajo. La biela recibe la fuerza del émbolo y la transmite al cigüeñal. Al mismo tiempo convierte el movimiento en movimiento de giro. En la siguiente figura se pueden ver el émbolo y las piezas que se relacionan con él.

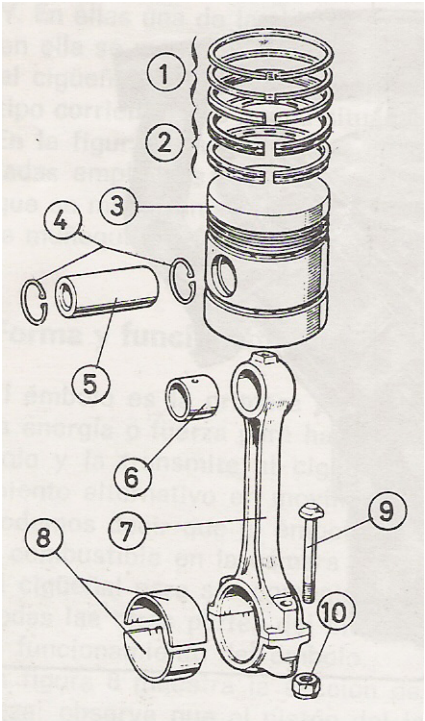


Figura 3.38. Despiece de un conjunto émbolo-biela: 1) aros de compresión; 2) aros de engrase; 3) émbolo; 4) aros de retención del bulón; 5) bulón o eje de émbolo; 6) casquillo de pie de biela; 7) biela; 8) semicojinetes de cabeza de biela; 9) tornillo; 10) tuerca. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En la Figura 3.39 se encuentra un émbolo de cabeza esférica entero y cortado. Este tipo de émbolo se construye para provocar turbulencia en la mezcla combustible-aire que entra en el cilindro, a fin de proporcionar una combustión mejor y evitar detonaciones o cascabeleo.

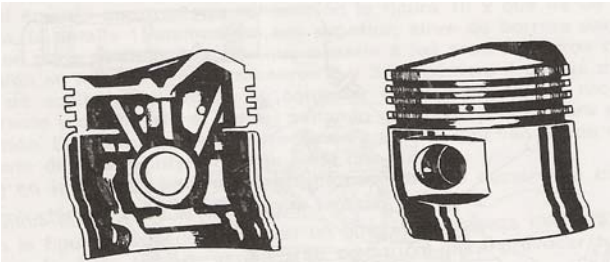


Figura 3.39. Émbolo de cabeza esférica.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.7.3. Aros de émbolos

Los aros de émbolo son aros planos de hierro fundido de alta calidad o hierro fundido aleado. En la Figura 3.40 se muestran estos aros en detalle. En la ranura superior del émbolo se montan los denominados aros de compresión (1 y 2 de la figura), que están diseñados principalmente para lograr un cierre estanco, evitando pérdidas de compresión en el cilindro.

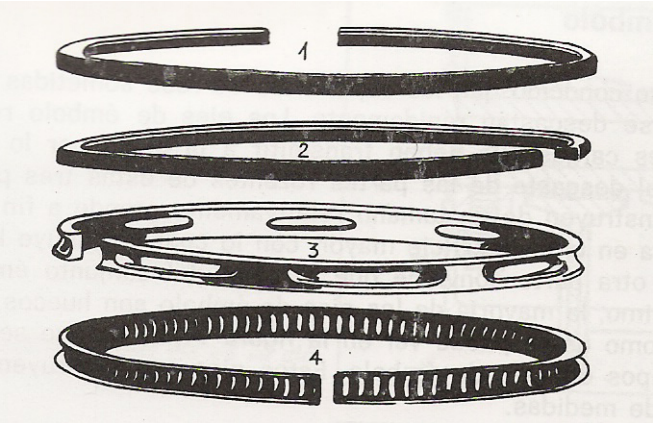


Figura 3.40. Aros de émbolo. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

El aro señalado con el número 3 se denomina aro de engrase y también aro rascador de aceite; éste se monta en la ranura inferior del émbolo y su principal misión es separar el exceso de aceite de la pared del cilindro para evitar que éste pase al interior de la cámara de combustión. Para aumentar su eficacia se suele contar en la misma ranura y dentro de este aro, un anillo de acero menos flexible (señalado con el número 4), llamado aro de expansión.

3.2.7.4. Émbolos bimetálicos [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Cuando se utilizan émbolos de aleaciones ligeras, al calentarse el motor a su temperatura de funcionamiento, el émbolo se dilata más que el cilindro, lo cual crea el peligro de que aquél quede agarrotado o clavado dentro de éste. Para evitar este peligro se construyen los émbolos de aleación ligera con unas piezas de acero dentro del metal de la pieza y dispuestas de tal manera que cuando se calienta el émbolo, la dilatación en el diámetro paralelo al eje del émbolo es superior a lo que correspondería para la aleación, mientras la dilatación en sentido perpendicular al eje del émbolo es inferior; el émbolo es de forma

ovalada cuando está en frío y cuando se calienta a su temperatura de funcionamiento queda cilíndrico y perfectamente ajustado, sin peligro de agarrotamiento.

3.2.7.5. Ejes de Émbolo [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Las superficies de roce sometidas a fuertes presiones se desgastan rápidamente. Los ejes del émbolo reciben de éste fuertes cargas que deben transmitir a la biela, por lo que, para disminuir el desgaste de las partes rozantes de estas tres piezas, los ejes se construyen de un tamaño relativamente grande a fin de repartir la fuerza en una superficie mayor, con lo cual disminuye la presión. Como por otra parte conviene que el peso del conjunto émbolo-biela sea el mínimo, la mayoría de los ejes de émbolo son huecos, en forma de tubo. Estos ejes se construyen con gran precisión de medidas.

3.2.8. El Sistema de Distribución [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.8.1. Descripción de la Distribución [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La distribución es el conjunto de dispositivos o mecanismos que regulan la entrada y salida de los gases en los cilindros de un motor. En los motores de explosión de cuatro tiempos lo más corriente es que la entrada y salida de los coches se realice por aberturas situadas en la cámara de explosión. El paso de los gases se abre o cierra por medio de válvulas.

Uno de estos tipos de válvulas es conocido como de tulipa (Figura 3.41); una varilla llamada vástago termina por un extremo en un ensanchamiento llamado cabeza que es la parte que se ajusta a los orificios de entrada o salida de los gases; el otro extremo de la caña es llamado cola y esta endurecido, ya sea por tratamiento térmico o por llevar soldado un trocito de metal duro; en la cola se encuentra también un rebaje o entalla que sirve para fijar los muelles.

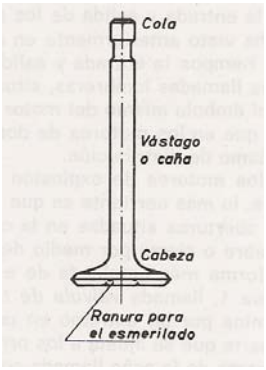


Figura 3.41. Válvula de tulipa
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Los motores de automóvil tienen válvulas para cerrar el paso a la mezcla (válvula de admisión), y otra que cierra la salida del motor a la atmósfera (válvula de escape). La válvula de admisión permanece abierta durante el tiempo de admisión para permitir la entrada al cilindro de la mezcla y la válvula de escape está abierta durante el tiempo de escape para permitir la salida de los gases quemados a la atmósfera. En la práctica, con objeto de obtener las mejores potencias y rendimientos, el momento de apertura de las válvulas se adelanta y el momento de cierre se retarda. En cada motor los valores de adelanto y retardo de la apertura y cierre de las válvulas es distinto y determinado para conseguir que el motor funcione de la mejor forma coincidiendo con determinadas posiciones de los émbolos.

La disposición más sencilla de la distribución es la de los motores en línea con válvulas laterales (Figura 3.42): un engranaje o piñón (1), fijado en un extremo del cigüeñal, transmite su movimiento al girar otro engranaje (2), fijado en el extremo de un eje de forma especial, llamado árbol de levas (3), y al girar unas partes salientes de estas llamadas levas (4), obligan a unas piezas llamadas empujadores (5), a desplazarse hacia arriba levantando y abriendo las válvulas (6), que están colocadas directamente sobre ellos. Cuando las levas se hayan en una posición tal que no obligan a los empujadores a abrir las válvulas, éstas se mantienen cerradas por la acción de los muelles de las válvulas (7).

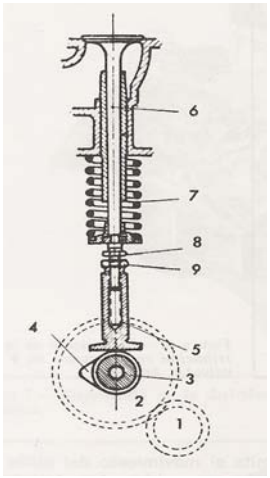


Figura 3.42. Disposición de las válvulas laterales.

[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En los motores con válvulas en culata el mecanismo de la distribución es más complicado; el eje de levas toma el movimiento del cigüeñal por medio de engranajes como en el caso anterior; los empujadores en vez de actuar directamente sobre las válvulas, actúan sobre unas varillas (Figura 3.43), llamadas varillas de accionamiento de balancines (1), que a su vez actúan sobre los extremos de unas palancas llamadas balancines (2); los balancines están colocados en la parte superior de la culata montados sobre un eje, llamado eje de balancines (3), que les sirve como punto de apoyo. Cuando la leva levanta el empujador, la varilla de accionamiento eleva el extremo del balancín, lo cual hace que baje el extremo opuesto que empuja la cola de la válvula (4), y hace que ésta se abra. Como en el caso anterior, un muelle (5), mantiene cerrada la válvula cuando no la empuja el balancín.

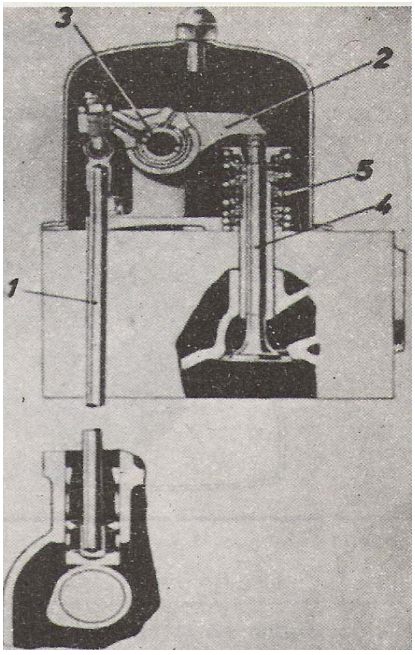


Figura 3.43. Disposición de válvulas en culata.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En la Figura 3.44 se puede ver la disposición de la distribución en un motor en V con válvulas laterales. La figura muestra un corte transversal del motor y en él puede apreciarse el eje de levas que es único para las dos filas de cilindros y está situado en el ángulo que forma el bloque.

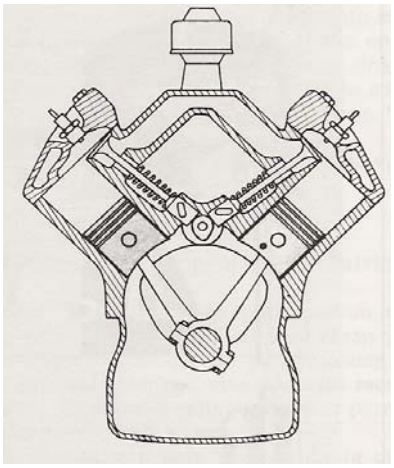


Figura 3.44. Disposición de la distribución en un motoren V con válvulas laterales. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La Figura 3.45 presenta el despiece de un grupo de ejes de levas. En base a lo visto, podemos decir que los mecanismos de la distribución pueden considerarse compuestos por cuatro partes:

1. El accionamiento del árbol de levas.
2. El eje de levas.
3. El accionamiento de las válvulas.
4. Las válvulas y muelles correspondientes.

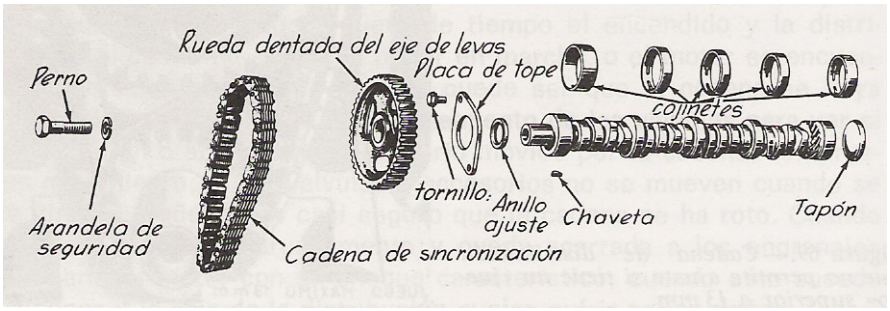


Figura 3.45. Despiece de un grupo de ejes de levas y piezas relacionadas. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.9. Sistema de engrase o lubricación del motor [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.9.1. Descripción y funcionamiento del sistema de engrase del motor [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Los motores de combustión para automóviles presentan muchas clases de rozamiento. Para evitar los efectos en tales condiciones es imprescindible dotar al motor de un conjunto de mecanismos o dispositivos capaces de engrasar las superficies rozantes de las piezas; a este conjunto es a lo que se le llama sistema de engrase del motor, cuya función es proporcionar una película de aceite entre superficies que se rocen. Si la película de aceite se mantiene entre las piezas metálicas de forma que éstas no se toquen, las piezas pueden trabajar un tiempo ilimitado prácticamente sin desgaste, pero si esta película se pierde o rompe por cualquier causa, el desgaste empieza en seguida y es tan rápido que las piezas pueden estropearse en pocos minutos. Las piezas comienzan primero a calentarse debido al rozamiento y a continuación se dilatan por el calor; en algunos casos, el calor es suficiente para fundir el metal antifricción de los cojinetes a esto se llama “quemarse los cojinetes”. En cuanto a los émbolos deslizándose en los cilindros sin engrase, comenzarán en seguida a rayarse por corte del metal. El calor excesivo hace que las piezas se dilaten hasta el punto de agarrotarse y haciendo que el motor se pare.

En un motor de automóvil la llama en la explosión puede alcanzar temperaturas de 1500°; esta llama explota contra la película de aceite y no hay ningún aceite que pueda resistir esta temperatura constantemente. El lubrificante realmente bueno debe, sin embargo, resistir suficientemente para permanecer en la pared del cilindro hasta que la próxima carrera del émbolo renueve la película con aceite frío.

Aparte de la variedad de condiciones mecánicas, el engrase presenta otras condiciones que dificultan aún más la adecuada aplicación y adaptación del aceite, como son las condiciones de temperatura existentes en el motor.

3.2.9.2. Distintos sistemas de engrase para motores de automóvil [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Los motores llevan el aceite de engrase en la tapa o cárter de aceite cuya capacidad es variable de 2 a 8 litros. Desde este depósito el aceite es distribuido a las distintas superficies rozantes del motor por varios sistemas diferentes. En todos ellos, el aceite tomado del cárter es llevado a las superficies que requieren engrase y vuelve de éstas al cárter, circulando continuamente. El aceite se utiliza una y otra vez, perdiéndose pequeñas cantidades del

mismo, pero si el motor se haya con las piezas en buen estado, las cantidades quemadas o perdidas no exceden de 1 litro por cada 1 500 km aproximadamente de marcha del motor a velocidades moderadas.

Los sistemas de engrase de motores de automóvil más común son:

- Engrase por circulación forzada.

3.2.9.2a. Sistemas de engrase por circulación forzada [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Este sistema es necesario, a pesar de su complejidad debido a los elevados esfuerzos y velocidades a que están sometidas las superficies rozantes. En la Figura 3.46 se muestra este sistema. En éste una bomba de engranajes toma el aceite del cárter a través de un filtro de tela metálica y lo impulsa en la red de tubos de circulación, haciéndolo pasar primero a través de un filtro. Los tubos llevan el aceite a los cojinetes de línea del cigüeñal y de éstos pasa a través de conductos de aceite practicados en el mismo cigüeñal, a engrasar los cojinetes de las bielas. Desde las muñequillas, el aceite es proyectado a las paredes de los cilindros, ejes de émbolos, levas, empujadores, etc.

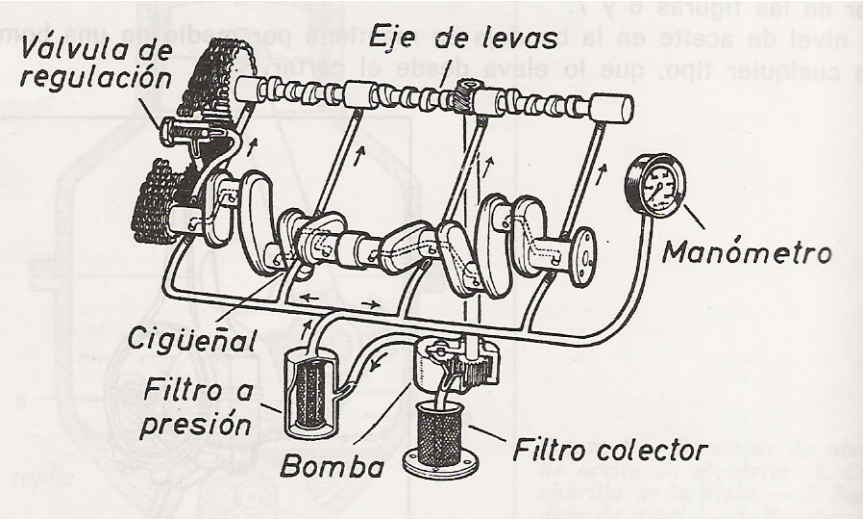


Figura 3.46. Esquema de un sistema de circulación forzada del aceite de engrase [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La clasificación de este sistema depende de la cantidad de piezas rozantes alcanzadas por el aceite, siendo un sistema de circulación forzada total aquel en el que el aceite llega a presión a todas las partes de giro del motor a través de barrenos practicados en diferentes elementos.

Aún en aquellos casos en que la circulación forzada es más completa hay superficies rozantes, tales como las de los cilindros (de gran importancia), émbolos, empujadores, levas y válvulas en que el engrase queda a merced del engrase por niebla o salpicadura producida por las partes móviles del motor. Las salpicaduras se logran en estos sistemas por el exceso de aceite no utilizado en las muñequillas el cigüeñal, que fluye por los lados de los cojinetes (Figura 3.47), y que las muñequillas al girar lanzan formando la niebla.

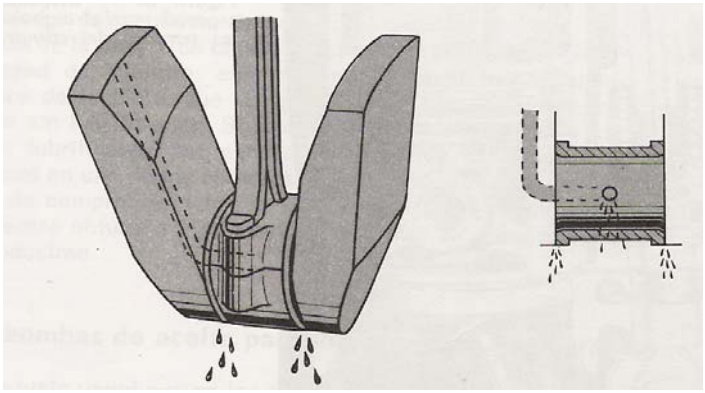


Figura 3.47. Las bielas salpican aceite en el engrase por circulación forzada.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.9.3. Las Bombas de Aceite para los Sistemas de Engrase [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Los tipos de bomba que podemos considerar más utilizados en los motores de automóvil son:

- Las bombas de engranajes (Figura 3.48).

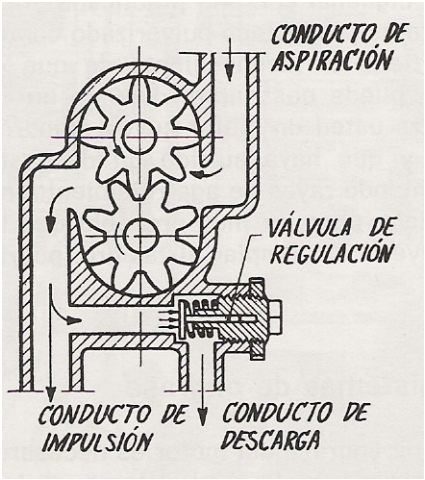


Figura 3.48. Esquema de una bomba de engranaje para mandar aceite a presión. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

- Las bombas de rotores excéntricos (Figura 3.49).

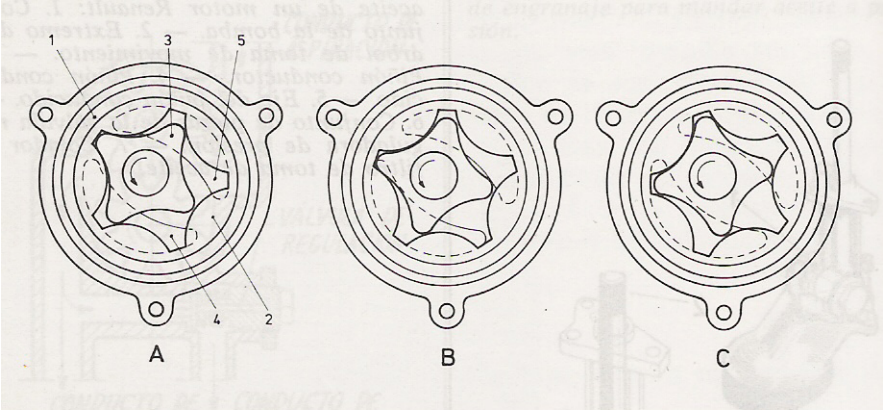


Figura 3.49. Esquema de funcionamiento de una bomba de rotores excéntricos. En A, B y C se muestran tres momentos sucesivos de giro en los rotores: 1) cuerpo de la bomba; 2) rotor exterior; 3) Rotor interior; 4) Entrada de aceite; 5) salida de aceite. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Éstas son utilizadas debido a simplicidad mecánica y seguridad de funcionamiento.

3.2.9.4. Filtros de Aceite [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En distintos puntos del circuito de aceite suelen ir intercalados filtros cuya misión es separar y retener las partículas sólidas y cuerpos extraños que se encuentren en el aceite del

cárter y que podrían causar desperfectos en la bomba y en las superficies de las piezas rozantes si llegaran a ellas.

3.2.9.5. Sistemas de Regulación de la Temperatura del Aceite [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Los aceites de engrase están expuestos a padecer sobrecalentamientos en los meses de verano o cuando el motor funciona forzado. El aceite sobrecalentado aumenta de fluidez, disminuyendo su capacidad de engrase. Normalmente el aceite se enfría en el cárter; pero en algunos motores que trabajan normalmente forzados o en los que se prevé que el enfriamiento en el cárter no será suficiente, se dispone un sistema suplementario de enfriamiento. Generalmente este sistema consiste en un pequeño radiador, por cuyo interior se hace pasar el aceite y cuya parte exterior está sometida a la corriente del aire del ventilador o de la propia marcha del vehículo.

3.2.10. Sistemas de Refrigeración del Motor [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Los sistemas empleados pueden considerarse fundamentalmente de dos tipos:

- De enfriamiento directo por aire.
- Refrigeración indirecta, en la cual el motor es enfriado por un líquido (generalmente agua), que a su vez es enfriado por una corriente de aire; este sistema es conocido como sistema de refrigeración por agua.

3.2.10.1. Sistema de Refrigeración por Aire [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

La refrigeración por aire consiste en crear una corriente de aire, mediante un potente ventilador que es recogida y canalizada por una especie de coraza envolvente de todo el motor hacia los órganos a refrigerar, principalmente hacia la parte superior de los cilindros, las culatas y el arranque de los tubos de escape, que son las partes que soportan mayores temperaturas. En la Figura 3.50 se puede ver el esquema de un motor refrigerado por aire en el que se aprecian los elementos fundamentales de este sistema. La pieza fundamental de éste es el ventilador, el cual puede ser de paleta (que producen una corriente de aire paralela al eje de giro), o ventiladores centrífugos (formados por una corona de paletas o álabes), en los que el aire entra por el centro y es impulsado hacia la periferia donde es recogido por una carcasa envolvente y dirigido por las canalizaciones o corazas hacia los puntos a refrigerar (Figura 3.51).

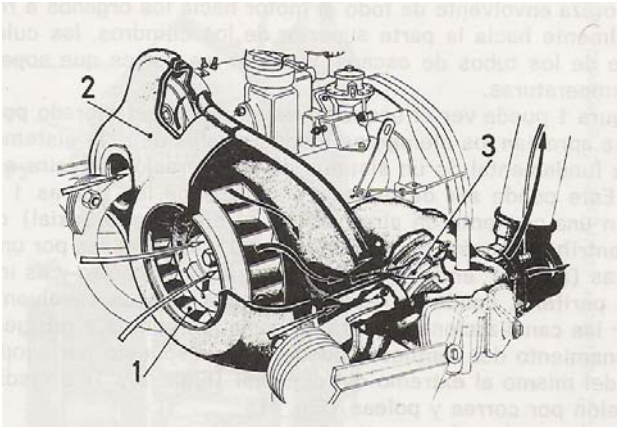


Figura 3.50 Esquema de un sistema de refrigeración por aire: 1) ventilador centrífugo; 2) coraza de canalización de aire; 3) culata de uno de los cilindros. Las flechas indican la dirección de las corrientes de aire de refrigeración).
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

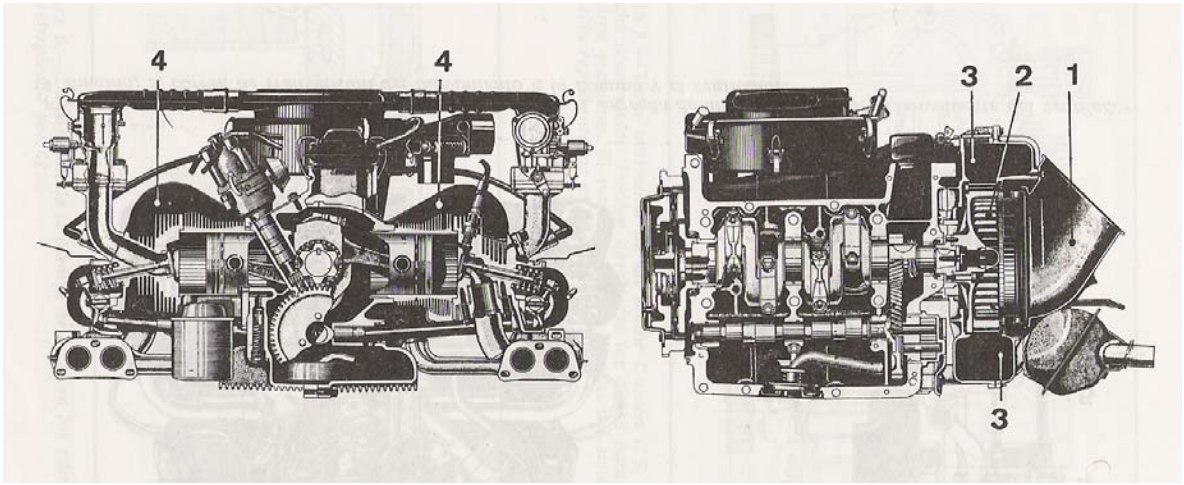


Figura 3.51. Motor Volkswagen 1700 refrigerado por aire: 1) entrada de aire; 2) ventilador centrífugo; 3) envolvente del ventilador; 4) coraza envolvente de los cilindros.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.10.2. Refrigeración Indirecta por Agua [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Fundamentalmente consiste en rodear los cilindros y la cámara de combustión en la culata de una camisa de agua, para lo cual las paredes de estas piezas son dobles, dejando una cámara entre ellas como se muestra en la Figura 3.52; el agua que forma esta camisa no tardaría en calentarse peligrosamente. Para evitarlo se hace circular el agua siendo conducida a un radiador donde se enfría por medio de una corriente de aire forzada por un

ventilador; una vez enfriada vuelva a la cámara de agua que rodea los cilindros y la culata. A continuación se describe el sistema de refrigeración por circulación forzada usado actualmente.

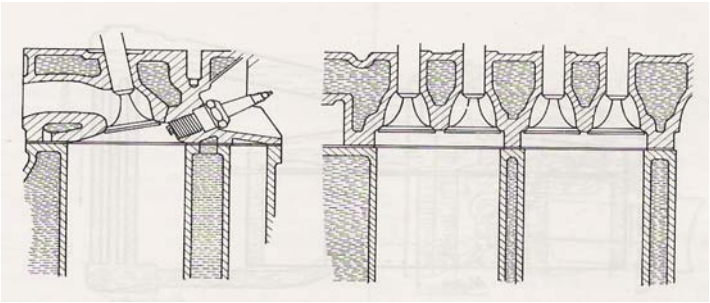


Figura 3.52. Disposición de la camisa de agua en los cilindros y culata de un motor refrigerado por agua. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.10.2a. Sistema de Refrigeración por Circulación Forzada [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En la siguiente figura se muestra el esquema de este sistema, en al cual el agua no solamente tiene una tendencia a circular por diferencia de temperaturas, sino que además es obligada a ello por una bomba intercalada en el circuito.

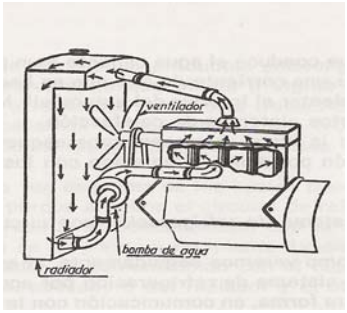


Figura 3.53. Esquema del sistema de refrigeración por circulación forzada. [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Como se ve en la Figura 3.53 los elementos fundamentales de este sistema son: el radiador, la bomba de agua, el ventilador y los tubos de conexión del radiador. En la realidad el sistema es algo más complicado, pues se dispone también una válvula accionada por un termostato, que según la temperatura del agua permite o no que ésta pase por el radiador.

Es práctica corriente que el sistema de calefacción del interior del vehículo opere con el agua caliente del sistema de refrigeración. Con este fin se dispone una derivación del sistema de agua de refrigeración que conduce el agua caliente a un pequeño radiador que sirve para calentar una corriente de aire que se hace circular a voluntad para calentar el interior el automóvil. En la Figura 3.54 se presenta el sistema de refrigeración por agua, completado con los elementos indicados.

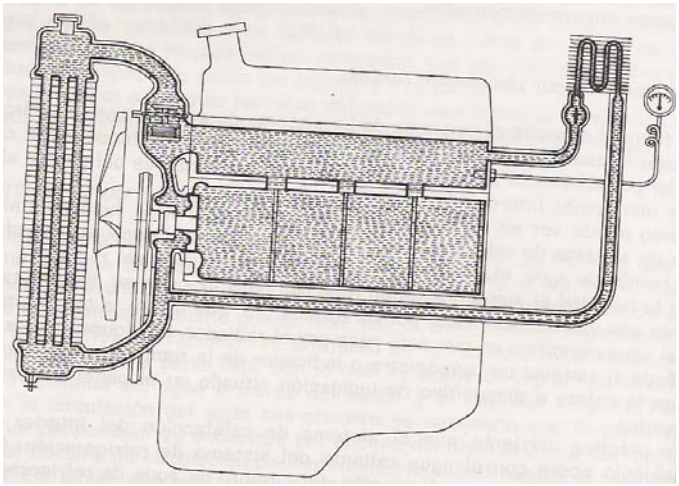


Figura 3.54. Esquema de un sistema de refrigeración por circulación forzada, con válvula termostática y sistema de calefacción del interior del vehículo.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

3.2.10.2b. Sistema de Refrigeración con Circuito Sellado [Castro Vicente, Miguel de. 1985]

Los sistemas de refrigeración sellados (Figura 3.55), se caracterizan porque en ellos el circuito de refrigeración se haya completamente cerrado a su comunicación con la atmósfera y para evitar la sobrepresión se dispone un recipiente (vaso o depósito de expansión), también cerrado, en comunicación con el radiador por un tubo con un extremo en el rebosadero del radiador y el otro en el vaso de expansión.

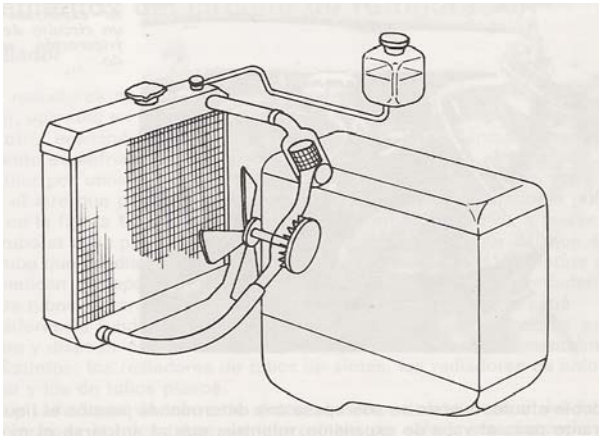


Figura 3.55. Esquema de un sistema de refrigeración de circuito sellado.
[Castro Vicente, Miguel de. 1985]

En el tubo de unión entre el radiador y el vaso, en unos casos a la salida del radiador y en otros a la entrada en el vaso, se dispone una válvula de doble efecto: cuando se sobrepasa una determinada presión el líquido sobrante pasa al vaso de expansión, mientras que al enfriarse el motor y disminuir el volumen del líquido en el circuito de enfriamiento, el líquido pasa desde el vaso al circuito para rellenarlo.

La sobrepresión, controlada por la válvula entre el radiador y el vaso de expansión, hace que la temperatura del líquido de enfriamiento pueda sobrepasar los 100° de temperatura sin que hierva y produzca bolsas de vapor en el circuito, que puedan ser peligrosas por dificultar la refrigeración en zonas localizadas del motor.

3.2.11. Sistemas de Control Computarizados [King, Dick H. 1991]

Con el uso de controles electrónicos, equipo de serie en los vehículos modernos, se espera ver nuevos mejoramientos de rendimiento [Guía de Ahorro de Gasolina. CONAE]. Existen diferentes sistemas computarizados de control del motor, sin embargo al ser comparados son en realidad muy parecidos. La computadora del automóvil es pequeña, digital, muy confiable y está protegida dentro de una caja de metal. Ésta recibe información en forma de señales de voltaje de diferentes sensores y otras fuentes. Con esta información, la cual lee la computadora muchas veces por segundo, puede tomar decisiones sobre calibración del motor respecto a la mezcla aire-combustible, tiempo de ignición, etc. Estas decisiones se traducen en órdenes mandadas a los actuadores (soleniodes, relés). En la mayoría de los

sistemas, la computadora se encuentra dentro del compartimiento de pasajeros protegiéndola así de daños debidos al medio ambiente.

Debido al amplio rango de tamaños y pesos en los automóviles, los motores (como las transmisiones), deben ajustarse por el fabricante para diferentes variables, para lo que se utiliza un sistema de calibración.

3.2.12. Sistemas de inyección de combustible [Heisler, Heinz. 1999]

Pueden ser de un punto (el inyector está localizado en la toma de entrada de aire delante dela válvula de mariposa). La mezcla se divide y distribuye a los diferentes cilindros; o multipunto (se inyecta la mezcla directamente en cada puerto de válvula de entrada de manera que cada columna de aire tenga una mezcla exactamente igual).

La mezcla depende de la información que proporcionan los diferentes sensores que miden por ejemplo, la cantidad de oxígeno que contienen los gases expulsados. Dependiendo de esta información se ajusta la cantidad de combustible y aire que forman parte de la mezcla.

Lo que se busca es que la gasolina se queme completamente con la cantidad justa de aire. Esto explica porque la cantidad de oxígeno en los gases expulsados, es una forma de retroalimentación del sistema.

En general los sistemas de inyección de combustible permiten que el motor tenga un mejor desempeño y una manejabilidad excelente manteniendo o incluso disminuyendo el nivel de emisiones e incrementando el ahorro de combustible [King, Dick H. 1991]. A continuación se presentan elementos que forman parte del sistema de inyección y la siguiente figura representa el sistema de inyección electrónica multipunto.

3.2.12.1. Bomba de gasolina [Heisler, Heinz. 1999]

La unidad de bomba de gasolina es una bomba accionada por un motor magnético-eléctrico permanente. La bomba está compuesta por un rotor montado excéntricamente que tiene cinco ranuras radiales maquinadas alrededor, cada una de las cuales contiene un rodillo que se mueve hacia fuera contra la carcaza cuando el rotor gira, sellando de esta forma los espacios entre rodillos. Cuando la bomba rota, entra el combustible por el puerto de entrada llenando las cámaras entre rodillos y es conducido de esta manera al puerto de salida descargándose al acumulador a una presión superior a los 5 bar.

3.2.12.2. Acumulador [Heisler, Heinz. 1999]

Tiene dos propósitos: Primero retiene combustible cuando el motor está funcionando y libera este exceso de combustible para mantener la presión de la línea cuando el motor es reencendido; en segundo lugar, el acumulador aligera cualquier fluctuación en la presión del combustible que viene de bomba.

3.2.12.3. Sensor de flujo de aire [Heisler, Heinz. 1999]

Este sensor mide la cantidad de aire que entra al motor y de acuerdo a esta información, mide la cantidad de combustible necesaria para el flujo de aire bajo diferentes velocidades y condiciones de carga.

3.2.12.4. Válvula de inyección de combustible [Heisler, Heinz. 1999]

Este tipo de válvula se abre a una presión preestablecida, normalmente a 3.3 bar, y descarga combustible continuamente en forma de spray dentro de la garganta de los puertos de entrada de los cilindros.

3.2.12.5. Regulador primario de presión [Heisler, Heinz. 1999]

Mantiene una presión constante y previene que escape combustible de la unidad de control de distribución/mezcla cuando el motor se detiene.

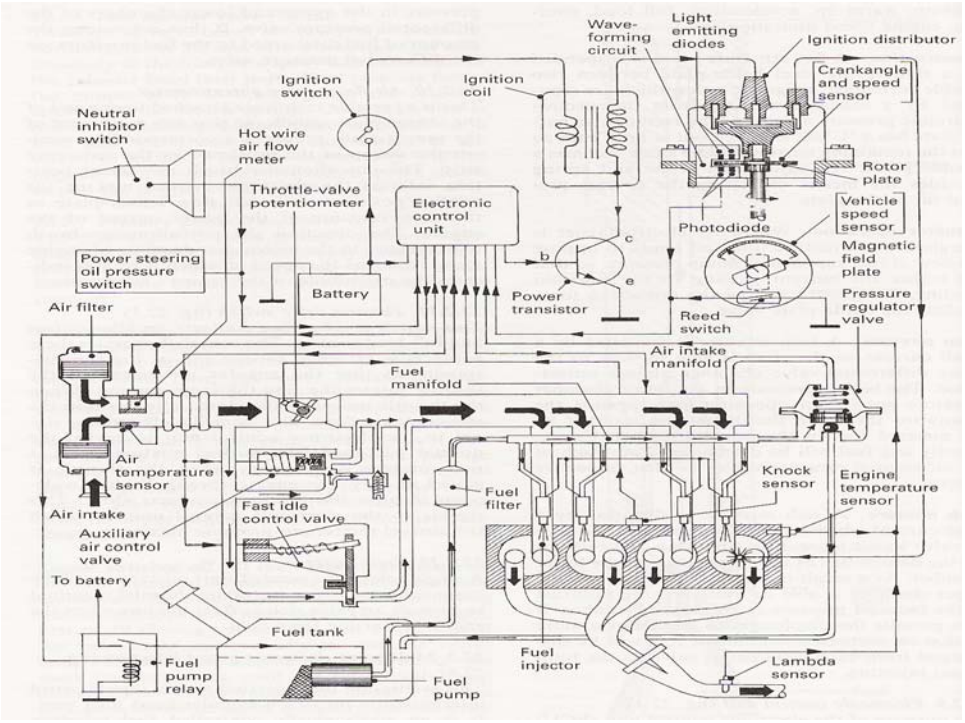


Figura 3.56. Sistema de inyección electrónica multipunto. [Heisler, Heinz. 1999]

3.2.13. El Sistema de Encendido

En la siguiente figura se puede ver el circuito completo de encendido típico. En la actualidad se tienen variantes en cuanto a medidas, formas y diseños de los sistemas. Pero el principio y el objetivo son los mismos. El principio es generar corriente de alta tensión y el objetivo administrar esta corriente distribuyéndola sincronizadamente a las bujías (la cantidad de bujías indica la cantidad de cilindros en el motor) [17].

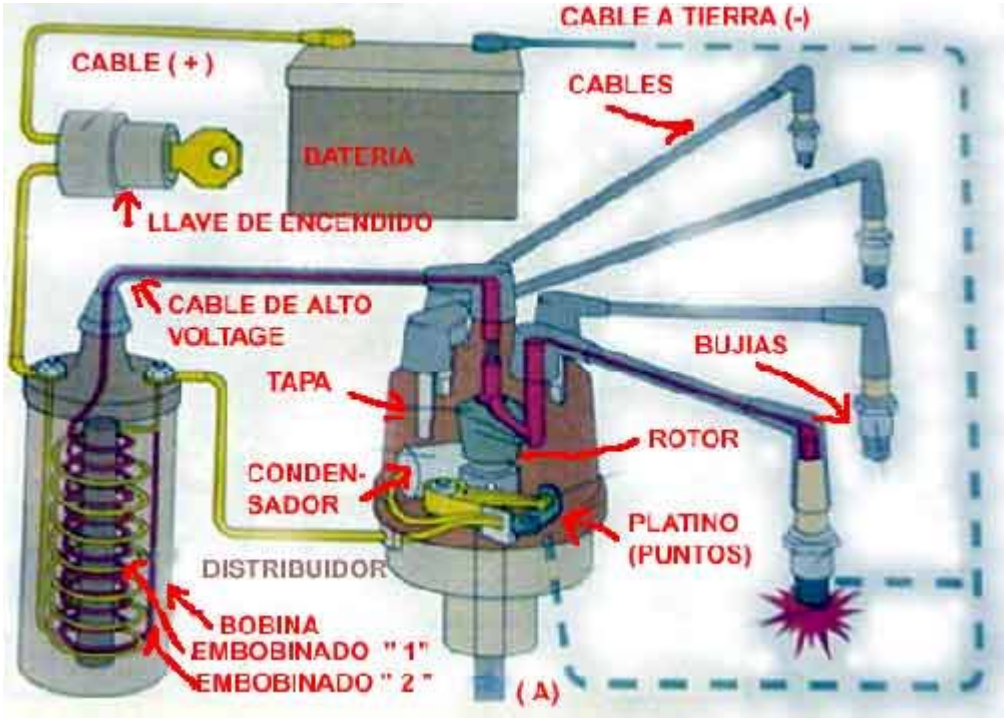


Figura 3.57. El sistema de encendido [17]

3.2.13.1. La Batería [17]

Es un acumulador de corriente. Todos los vehículos de combustión interna traen consigo un alternador (un generador de corriente). Este alternador, cuando el motor está funcionado, genera una corriente superior a los 12 voltios y un regulador de corriente incorporado o externo la regula a la corriente que va a la batería permitiendo que ésta mantenga su carga en un 100%. Todas las baterías tienen dos polos de corriente: negativo (-) y positivo (+). El polo negativo (tierra), esta conectado directamente a la carrocería (todo lo que sea metal dentro de lo que se llama vehículo), y el polo positivo es conducido por todo el vehículo a través de alambres o cordones totalmente aislados.

3.2.13.2. El Alternador

El alternador es el encargado de abastecer energía suficiente para que funcione el vehículo, al mismo tiempo que acumula energía en la batería para que el vehículo tenga energía estando el motor apagado [14].

El generador genera corriente, pero si tomamos en cuenta que las revoluciones del motor suben y bajan de acuerdo a la aceleración que tenga, estaremos de acuerdo que a más revoluciones del motor más corriente se genera. Por esta razón no se puede concebir un alternador sin un sistema que lo estabilice (regulador de voltaje). De acuerdo con el fabricante se construye el alternador con el regulador incorporado o aparte pero funcionan de la misma forma [14].

Antiguamente, los vehículos venían equipados con un generador de corriente llamado dínamo. El problema con este tipo de generador consistía en que su capacidad de generar corriente era bastante reducida. Por esto, utilizar un dínamo en un vehículo actual, equipado con todos los extras, sería una torpeza, debido a que el generador tendría que estar exigiendo altas revoluciones para poder generar más corriente [15].

El alternador es menos pesado que un dínamo y su capacidad de carga es superior, pero se debe tener en cuenta y conocer lo relacionado al amperaje ya que los requerimientos del vehículo tienen que ver con este concepto. La diferencia entre un alternador y otro, radica en lo que se conoce como puente rectificador (ensamble de diodos) [15].

Otra diferencia entre el generador y el alternador consiste en que el generador produce corriente directa o continua; en cambio el alternador produce corriente alterna, lo que hace necesario convertirla a directa (todas las partes eléctricas del automóvil funcionan con corriente directa). Para esto se utilizan diodos semiconductores hechos de silicio, colocados dentro de la cubierta del alternador y que sólo dejan pasar corriente en un sentido. Antes de que existieran estos diodos, los rectificadores eran muy grandes y su enfriamiento difícil, por lo que los alternadores sólo se usaban en camiones grandes. Finalmente se inventó el puente rectificador (que contiene 6 diodos), diseño que simplificó la operación de cambiar diodos y a forma de evitar el calentamiento de éstos [16].

Para que un alternador mantenga operativa una batería y supla la corriente necesaria a los requerimientos del vehículo, necesita generar voltaje por encima de los 12.5 voltios antes y

después de encender todas las luces y accesorios eléctricos. Para mantener estable esta función evitando descarga y sobrecarga, se necesita un regulador de corriente [16].

3.2.13.3. La Bobina [17]

La bobina está compuesta de dos circuitos: Primario “1” y Secundario “2”; el circuito primario es un embobinado de aproximadamente 250 vueltas y el secundario es un embobinado de aproximadamente 20,000 vueltas de alambre más delgado. Cuando se abre la llave de encendido, la corriente (+) es conectada a la bobina, pero para que funcione necesita también la corriente (-), la cual le llega a través del trabajo que realiza el distribuidor en uno de sus circuitos. Cuando la bobina tiene conectados los dos polos, la corriente fluye dentro del embobinado primario, produciéndose un fuerte campo magnético dentro del circuito, pero cuando se corta la corriente un colapso del campo magnético induce una corriente de alto voltaje dentro del circuito secundario. Este alto voltaje es el que sale por la torreta de la bobina, dirigiéndose a través de un cable hacia el distribuidor, el mismo que se vale del toro para distribuirla entre las bujías.

3.2.13.4. El Distribuidor

El distribuidor tiene dos funciones; una es hacer la función de un switch de alta velocidad y la otra es distribuir la corriente que recibe de la bobina entre las bujías. El rotor del distribuidor da vueltas sincronizadas a las vueltas que da el motor. Así, si no se encuentra la chispa en la bobina, no es porque la bobina no sirva, sino porque el distribuidor no está haciendo la función de switch [18].

El distribuidor está compuesto comúnmente de un embobinado emisor de señales, un reluctor o estrella de tantas puntas como cilindros tenga el motor, un módulo de encendido y un rotor. El embobinado emisor de señales tiene la función de transmitir al módulo el momento en que el reluctor o estrella alinea sus puntas con el emisor, originando de esta manera el corte de corriente a la bobina para que ésta a su vez envíe la chispa de alto voltaje a la tapa del distribuidor [18].

La tapa tiene un conector central y a su alrededor la cantidad de conectores como cilindros tiene el motor. La bobina envía la chispa al conector central de la tapa. Dentro de la tapa y ensamblado en el distribuidor está el rotor, el cual tiene ensamblada una lámina en su estructura que recibe en su centro la chispa de la bobina y por el extremo, al hacer su giro, la distribuye entre los conectores que llevan chispa a las bujías. El rotor distribuye esta

chispa en forma ordenada; en cada vuelta entrega la chispa a los conectores de las bujías siguiendo únicamente el orden de derecha a izquierda o lo contrario, según la forma en que de vueltas el distribuidor [19].

3.2.13.5. El Módulo de Encendido [18]

Es el encargado de recibir la señal del emisor para proceder al corte de corriente a la bobina reemplazando de esta manera al platino y condensador. Si el rotor gira pero no hay chispa en la bobina, es muy posible que el módulo de encendido ya no sirva.

3.2.13.6. Las bujías

Son las encargadas de entregar la chispa a la cámara de combustión, soportando a su vez el calor de la explosión que se genera como consecuencia de ello. Por esto, están diseñadas y fabricadas de acuerdo al trabajo al que será sometido el vehículo. Las bujías fuera del rango de las especificaciones indicadas para el vehículo, ocasionan fallas y consecuente falta de fuerza en el motor [19].

Para que en la cámara de combustión de cada cilindro se genere una explosión, se necesita que esté sincronizado lo siguiente: válvulas cerradas, pistón arriba en lo máximo de su carrera comprimiendo la mezcla de aire-gasolina, y chispa. La bujía entonces, suelta la chispa en su momento indicado, a lo que se le llama orden de encendido [20].

La cadena de tiempo sincroniza el engrane del cigüeñal con el engrane del árbol de levas. El árbol de levas, en uno de sus extremos lleva instalado un engrane y en el otro una configuración de dientes que pueden acoplarse perfectamente a los dientes del eje o flecha del distribuidor. La idea es que el distribuidor se ensamble de tal manera que cuando el árbol de levas lleva las válvulas a posición de explosión, el rotor de distribuidor entregue la chispa a la bujía del mismo pistón [20].

3.2.14. El Volumen Constante o Ciclo Otto [Happian-Smith. 2002]

Al iniciar el análisis de un ciclo térmico de producción de potencia la consideración más importante es el diagrama presión-volumen asociado con el proceso cíclico. El área de el diagrama P-V es una indicación del trabajo producido por ciclo operativo, lo que también da una indicación de la potencia de salida del ciclo. Los diferentes procesos en el ciclo pueden ser ilustrados y obtenerse una medida de las pérdidas internas del ciclo que se obtienen. El estudio de estos diagramas puede ayudar a conocer la fuerza más grande que actúa sobre los componentes estructurales del motor y el estado termodinámico del ciclo.

El ciclo termodinámico de los motores de gasolina puede ser representado con coordenadas Presión-Volumen como se muestra en las siguientes dos figuras Este ciclo ideal, conocido como Ciclo Otto consiste de un proceso de compresión isotrópica 1-2, un proceso de adición de calor a volumen constante 2-3, una expansión isotrópica 3-4 y una pérdida de calor a volumen constante 4-1.

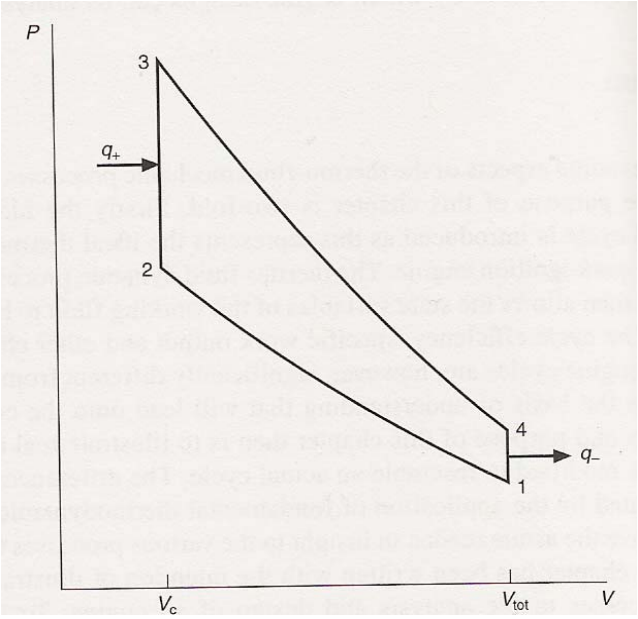


Figura 3.58. Ciclo Otto ideal. [Happian-Smith. 2002]

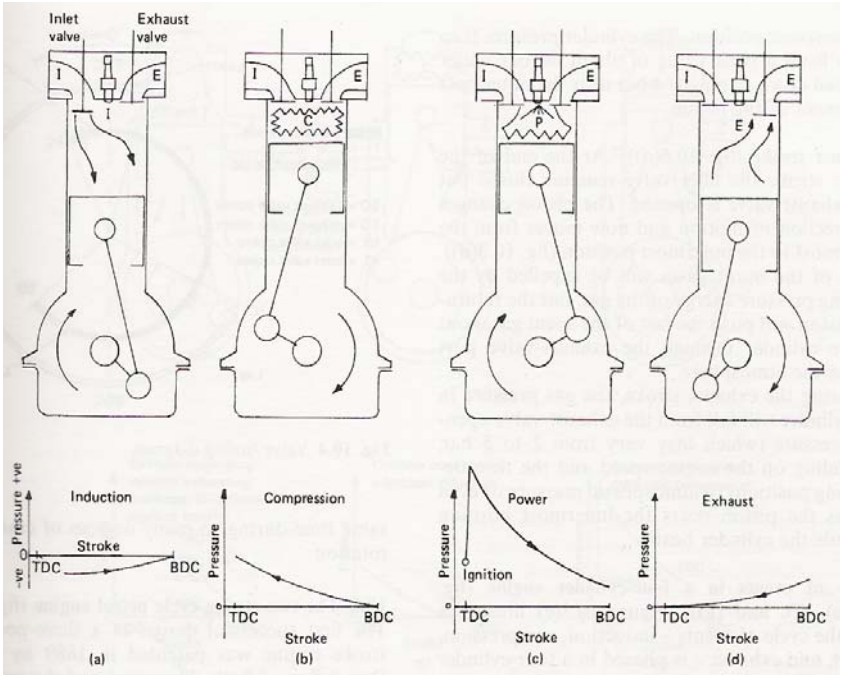


Figura 3.59. El motor durante el ciclo Otto.

[Heisler. Heisler, Heinz. 1999]

3.2.14.1. El Ciclo Otto Teórico y el Real Óptimo [13]

Todos los motores han tenido su origen en algún concepto de un ciclo termodinámico, el cual consta de una serie de eventos en los que la energía se recibe a un nivel elevado, convirtiéndose en trabajo la mayor cantidad posible y el resto se vierte en el medio que lo rodea.

Como ya se mencionó, el ciclo mecánico de un motor Otto de cuatro tiempos, se completa con cuatro carreras del émbolo y dos revoluciones del cigüeñal y una del eje de levas. En los motores de ciclo Otto, el combustible y el aire se mezclan y se mezcla se inflama mediante una chispa. En realidad no se cumple el ciclo termodinámico teórico ya que el ciclo real funciona sobre un sistema abierto; para el análisis del ciclo teórico se supone que el ciclo es cerrado y que el medio sufre el proceso del ciclo repetidas veces. A continuación se tratan las diferencias entre los ciclos teórico y real óptimo (el ciclo termodinámico con el mayor rendimiento posible). En la figura 3.60 se muestran las gráficas P-V para cada uno de estos ciclos.

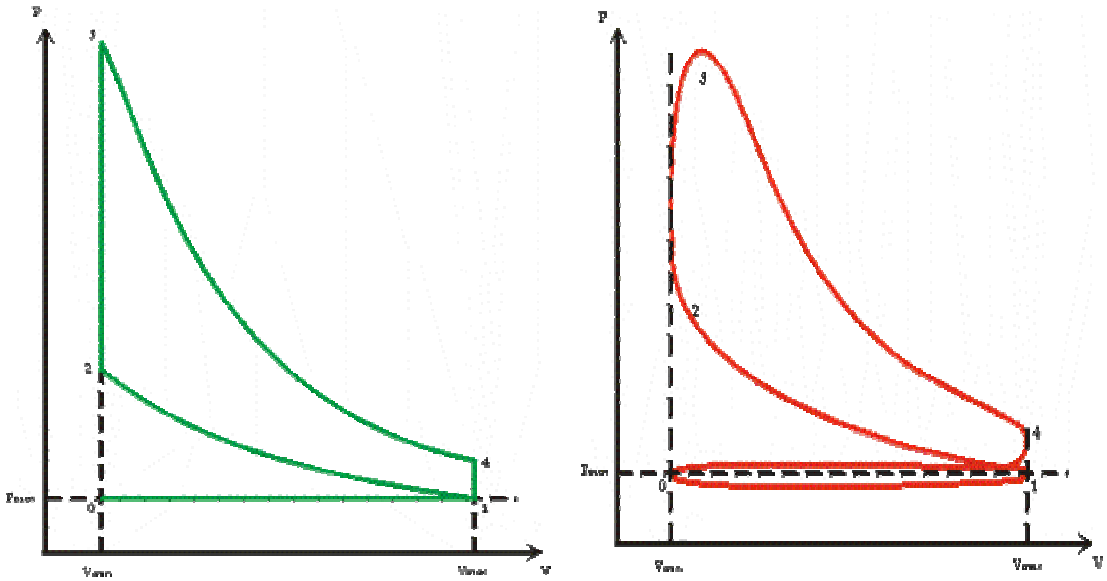


Figura 3.60. Ciclo Otto Real Óptimo (derecha) y Ciclo Otto Teórico (izquierda) [13]

3.2.14.1.a) Diferencias Entre el Ciclo Otto Teórico y el Real Óptimo [13]

- Aspiración: La válvula de admisión se abre y se aspira una carga de aire y combustible a una presión teóricamente igual a la atmosférica, provocando el descenso del pistón. La válvula de escape permanece cerrada.

  En el ciclo real, la presión del gas durante la aspiración es inferior a la presión atmosférica, por lo tanto, el cierre de la válvula de admisión se produce después de que el pistón llega al extremo inferior de su carrera, es decir, se prolonga el periodo de admisión y entra en el cilindro la máxima cantidad de mezcla de aire y combustible.
- Compresión: No existe intercambio de calor entre el gas y las paredes del cilindro. La válvula de admisión y la de escape están cerradas y el pistón comienza a subir, comprimiendo la mezcla que se vaporiza.

  En el ciclo real, el gas cede calor al cilindro, por consiguiente el gas se enfría y adquiere menos presión.
- Combustión: Ambas válvulas permanecen cerradas. Al llegar el pistón a la parte superior de su carrera, el gas comprimido se inflama por la chispa de la bujía. La combustión de toda la masa gaseosa es instantánea, por lo tanto el volumen no variará, y la presión aumentará rápidamente. En el ciclo real la combustión no es instantánea y el volumen de la mezcla va variando mientras se propaga la inflamación.

En este caso, el principal perfeccionamiento que se puede aportar para la obtención de un máximo trabajo, será la elección del instante preciso en que ha de producirse el encendido. La chispa debe saltar antes de que el pistón haya terminado la carrera de compresión, aumentando considerablemente la presión alcanzada después de la combustión y de esta forma el trabajo ganado será significativo.

- Expansión: El gas inflamado empuja al pistón. Durante la expansión, no hay intercambio de calor; al aumentar el volumen la presión disminuye.

  El aumento de la temperatura en el interior del cilindro durante la combustión produce, en la expansión, que los gases cedan calor al cilindro y se enfríen, dando como resultado una presión menor.

- Escape: Cuando el pistón se encuentra en el extremo inferior de su recorrido, la válvula de admisión permanece cerrada y se abre la de escape, disminuyendo rápidamente la presión sin variar el volumen interior. Luego manteniéndose la presión igual a la atmosférica, el volumen disminuye.

  En la realidad el escape no se hace instantáneamente, sino que en este periodo los gases tienen aún una presión superior a la atmosférica. Por lo tanto, en el ciclo real la válvula de escape se abre antes de que el pistón llegue al extremo inferior de su recorrido. De este modo la presión del gas tendrá tiempo de disminuir mientras el pistón termina su carrera y, al regresar, sólo encontrará gases expandidos ya casi por completo. La válvula de admisión se abre antes de que el pistón llegue al extremo superior de su recorrido, produciendo una cierta depresión en el cilindro que hace que la aspiración sea más enérgica.

3.2.14.1.b) Desviaciones del Ciclo Otto Real Óptimo [13]

- Aspiración: Se produce un trabajo negativo mayor que el normal en la aspiración que puede ser efecto de:
  - Una caída de presión en el múltiple de admisión debido al estrangulamiento excesivo en el múltiple de admisión.
  - Restricción del flujo debido al filtro de aire.
  - Se puede dar un levante deficiente de las válvulas de admisión causado por algún problema mecánico.

Este trabajo negativo se puede contrarrestar en parte cambiando el filtro de aire (posiblemente sucio y obstruido), por uno nuevo con mayor capacidad de flujo. Mantener en buen estado mecánico el eje de levas, balancines, válvulas y resortes de válvulas.

Cuando el flujo de aire es muy grande la mayor pérdida de presión es producida por el roce del aire en las válvulas. Para mejorar esta limitación técnica hay que hacer cambios grandes en el motor como:

- La sobrealimentación que mantiene la presión del múltiple de admisión elevada para así disminuir el efecto de roce en las válvulas.
- Cambiar las válvulas por unas más grandes para lograr un mayor flujo de aire o cambiar balancines para obtener un mayor levante de las válvulas.

Con el fin de obtener más trabajo del ciclo en motores muy revolucionados se atrasa el cierre de la válvula de admisión para que así por inercia ingrese más mezcla al cilindro. El efecto del atraso de la válvula de admisión en motores lentos es negativo ya que el pistón empuja la mezcla de vuelta al múltiple de admisión.

- Compresión: Existe un traspaso de calor desde los cilindros al gas, lo que es inevitable. Además se comprime una mezcla de aire y combustible que difiere en sus propiedades termodinámicas de un gas ideal sumado a que la compresión es con roce.

  El motor puede tener diferentes pérdidas de compresión:

  - Pérdidas entre pistón y cilindro debido a anillos en mal estado, deformidad del cilindro.
  - Pérdidas en las válvulas que no cierran bien y no mantienen la presión.
  - Pérdidas en la empaquetadora entre el block y la culata.

  Claramente hay que preocuparse por que no se presenten estas situaciones.
- Combustión: La combustión no es instantánea y no se produce a volumen constante (lo que es el ideal y se trata de aproximarse lo más posible a esto), se sabe además que la eficiencia tiene relación directa con la razón de compresión. En busca de éste óptimo está el problema de la detonación que es una inflamación violenta del combustible produciendo una onda de choque que es capaz de destruir el motor. La detonación se produce cuando la compresión es demasiado alta para el combustible de un octanaje determinado.

El punto óptimo para encender la mezcla es aquel en que si se retrasa una muy pequeña fracción se va a producir la detonación. No hay que olvidarse de la temperatura ya que a menor temperatura hay menor presión por lo que es conveniente tener una baja temperatura de la mezcla así como del motor.

Es al límite de la detonación donde se maximiza el rendimiento para un motor con una compresión dada. Para evitar la detonación y maximizar el rendimiento se enciende prematuramente la mezcla antes de que alcance una presión demasiado elevada.

- Expansión: Aquí también hay un traspaso de calor, esta vez del gas al cilindro. También existen pérdidas por compresión debido a las mismas causas.

  El ideal es expandir hasta la presión ambiente pero esta expansión esta limitada por características técnicas del motor, ya que el pistón no se puede desplazar más allá del punto muerto inferior donde el volumen es máximo.

- Escape: Aquí se producen pérdidas por mucho o poco avance en el múltiple de escape, esto es una apertura prematura o tardía (con respecto al óptimo), de la válvula de escape. Cualquiera de estas dos situaciones producen una merma en el área de trabajo del ciclo. Si en el múltiple de escape hay una gran contrapresión el motor va a tener que hacer trabajo para lograr evacuar los gases de escape. En cambio una apertura prematura produce una pérdida en el trabajo realizable. Para lograr el óptimo hay que abrir la válvula de escape antes de que llegue al punto muerto inferior para que no haya contrapresión en el colector (múltiple de escape).

  Una contrapresión puede deberse a un escape obstruido, doblado o a alguna reparación incorrectamente hecha.

  Otro efecto importante es el del gas residual dentro del cilindro. Para minimizar esta masa de aire inerte se retrasa el cierre de la válvula de escape mientras la válvula de admisión permanece abierta (se le llama cruce de válvulas). El efecto es que los gases aún sin quemar van a desplazar a los gases quemados. En este proceso siempre se escapa una porción de gases sin quemar.

3.2.14.1.c) Otras pérdidas [13]

Un motor real debe además vencer roces e inercias los que producen una merma en el trabajo utilizable. Para el caso de un automóvil se pueden nombrar: alternador, bomba de

agua, bomba de aceite, ventilador, correas, eje de levas, bielas, pistones, metales, volante y muchos otros más

3.3. Transmisión [Happian-Smith. 2002]

Los automóviles necesitan transmisiones por el funcionamiento del motor de gasolina. Primero, los motores tienen un valor máximo en revoluciones por minuto (rpm), sobre el cual el motor no puede trabajar sin antes explotar. Segundo, los motores tienen un reducido rango de rpm donde la potencia y el torque se encuentran a su máximo valor (por ejemplo, un motor puede producir su máxima potencia a 5 500 rpm). La transmisión permite que la relación de velocidad entre el motor y las ruedas cambie mientras el automóvil acelera o desacelera. Se hacen los cambios de velocidad para que el motor se mantenga debajo de su límite máximo de rpm y cerca del valor de rpm en el que entrega su mejor rendimiento [11]

Las transmisiones con un amplio rango de velocidades siempre mejoran el rendimiento de combustible. Sus funciones son:

- Permitir al vehículo arrancar estando detenido, con el motor funcionando continuamente.
- Permitir que el vehículo se detenga desconectándose del motor cuando debe hacerlo.
- Permitir que el vehículo arranque a diferente velocidad, de manera controlada.
- Variar la relación de velocidad entre el motor y las ruedas.
- Permitir que esta relación cambie cuando se requiera.
- Transmitir el torque a las ruedas que lo requieren.

3.3.1. El Arranque [Happian-Smith. 2002]

Como el motor de combustión interna no puede proporcionar torque a velocidad cero, se necesita un dispositivo en la transmisión que permita el vehículo arrancar estando detenido y, que cuando se requiera, desacople la unión entre el motor y las ruedas. Se tienen diferentes dispositivos para lograrlo dependiendo de la aplicación:

- El embrague de fricción seca – usado comúnmente en autos con cajas manuales.
- El convertidor de torque – usando en la mayoría de las transmisiones automáticas.
- Embragues electromagnéticos – usados en algunas transmisiones automáticas para conectar y desconectar engranes particulares y así permitir el cambio requerido. Esta aplicación no puede arrancar al iniciar el movimiento del automóvil.

Estos dispositivos se colocan entre la salida del motor y la entrada de la transmisión.

3.3.2. Los Requerimientos del Vehículo [Happian-Smith. 2002]

Si se consideran los requerimientos de torque, hay un número de fuerzas actuando en el vehículo que el motor y la transmisión deben superar:

- La resistencia al rodamiento de las llantas.
- La fuerza aerodinámica de arrastre sobre el cuerpo del automóvil.
- Cualquier resistencia debida a una subida.
- Superar la inercia del vehículo y las partes rotantes cuando el auto está acelerando.

Además, se pueden tener otras fuerzas resistivas como: carga extra en el vehículo; en caminos en malas condiciones (por ejemplo con lodo).

3.3.3. Cambio de relaciones – la transmisión y el vehículo [Happian-Smith. 2002]

Es importante saber que la opción de relación de engranes en la transmisión es muchas veces dictada en la práctica por lo que está disponible o en producción. Esto ocurre por lo caro que es fabricar una transmisión. Hay algunos casos que no necesitan cambio; por ejemplo basta con cambiar el motor o el peso del vehículo.

Hay algunas aspectos que se deben tomar en cuenta al decidir las relaciones de engranes en una transmisión particular:

- Los requerimientos de desempeño del vehículo.
- El peso, resistencia a rodamiento y otros parámetros del automóvil.
- Las restricciones que existen en el diseño de la transmisión.
- Disponibilidad.

Así, La selección de la relación mas baja (1ª), depende de:

- El peor caso de pendiente a subir.
- El peso más grande del vehículo.
- Pesos externos.
- Características del motor a bajas revoluciones.

Y la selección de la relación más alta (típicamente 5ª en automóviles de pasajeros):

- Características del motor.
- Requerimientos económicos a velocidad de crucero.
- Velocidad máxima a alcanzar en la relación anterior (usualmente 4ª).

Las velocidades intermedias son espaciadas para dar una variedad confortable entre los extremos. En teoría son seleccionados para proporcionar velocidad constante o incrementos variables de velocidad entre cambios.

3.3.4. La Caja de Velocidades Manual [Happian-Smith. 2002]

El motor, cuando asimila la aceleración, adquiere más revoluciones y esto le da más fuerza. Si aceleramos y el vehículo no puede moverse debido a que tiene trabado el freno de mano o algo en su camino lo impide, el motor no podrá asimilar y quemar la mezcla de combustible y en consecuencia se ahogará y apagará. El motor debe mantener sus revoluciones por encima de las necesidades del vehículo [7].

Si el motor trasladara sus revoluciones directamente a las ruedas que ejercen la tracción, el acople sería tan brusco que el motor se ahogaría. Este es el motivo por la que se hace necesaria la instalación de una caja de velocidades, la cual sirve para administrar las revoluciones del motor. Una caja de velocidades tiene la función de recibir las revoluciones del motor y transmitirlas hacia las ruedas impulsoras [7].

La rueda volante pertenece al motor y en ella se acopla el disco de embrague y prensa, los cuales sirven para dar suavidad o amortiguar el acople del motor con la caja de velocidades [7].

En una transmisión manual, el conductor cambia de una relación a otra como lo requiera el vehículo. Los engranes tienen relaciones diferentes; velocidades relativas entre el motor y las llantas. Hay diversos tipos de estas transmisiones; incluyendo cajas transversales de tracción delantera y cajas en línea utilizadas en tracción trasera y en las cuatro llantas.

3.3.4.1. Ventajas [Happian-Smith. 2002]

- Usualmente tienen mayor eficiencia mecánica, aunque la diferencia ya no es tan amplia e incluso algunas transmisiones automáticas tienen la misma eficiencia [Entrevista VW].
- Es la forma de transmisión más eficiente en gasto de combustible, aunque esto depende de la selección del cambio correcto por parte del conductor.
- Relativamente es barata su producción. Posiblemente la mitad de una automática.
- Bajo peso – típicamente de 50 a 70% de su equivalente automática.
- Más pequeña y así, más fácil de ubicar en el vehículo.

3.3.4.2. Desventajas [Happian-Smith. 2002]

- Se requiere algo de habilidad por parte del conductor.
- Las emisiones y consumo de combustible pueden ser muy influenciados por la selección de cambio del conductor.
- La operación del embrague y el cambio de velocidades puede ser agotador, especialmente en tráfico pesado (el tipo de tráfico que generalmente se encuentra en la Cd. de México).
- No convenientes para todos los conductores ya que a veces se necesita destreza para operarlos (vehículos pesados).
- La reparación es más difícil aunque las fallas son fáciles de identificar (problemas en el embrague o con los anillos sincronizadores).

3.3.4.3. Tipos de Cajas de Velocidades Manual [Happian-Smith. 2002]

3.3.4.3a. Caja de Velocidades de tracción delantera [Happian-Smith. 2002]

Las siguientes dos figuras es un corte de la típica transmisión de tracción delantera. Los elementos esenciales son los tres ejes que toman la potencia del motor (en la línea central del cigüeñal), a la salida de la caja. De ahí, las flechas cardán conectan la caja a las llantas. Dos características obvias de esta caja son el diferencial integral y el par de engranes de transmisión final.

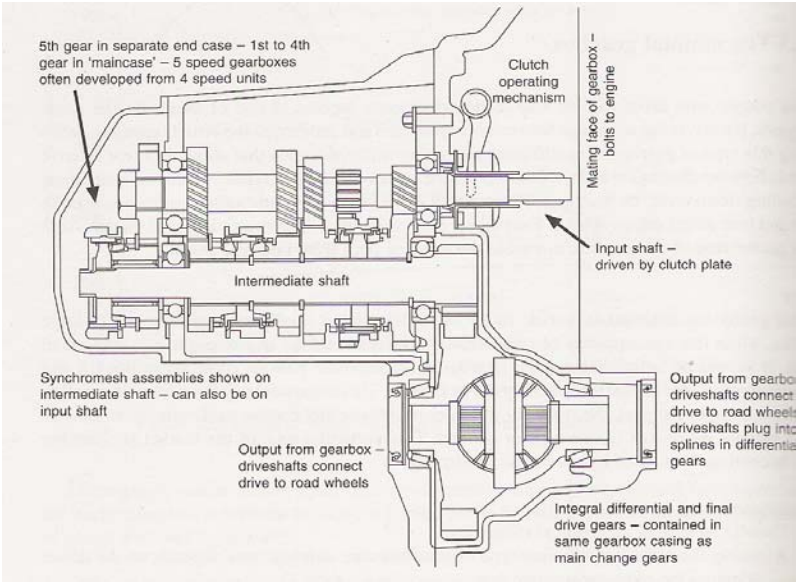


Figura 3.61. Corte de una caja de velocidades manual de tracción delantera [Happian-Smith. 2002]

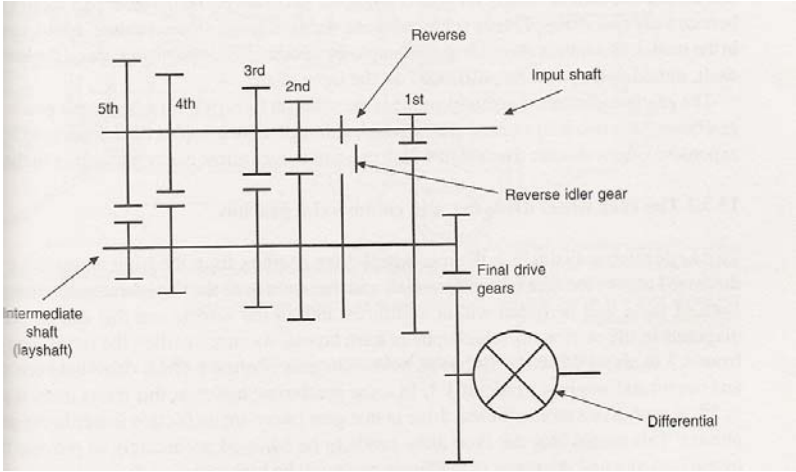


Figura 3.62. Esquema de una caja de velocidades manual de tracción delantera [Happian-Smith. 2002]

La tracción pasa de motor, vía embrague, a la flecha de entrada. Los pares de engranes transmiten torque a la flecha intermedia. El piñón de tracción final es parte de ésta y hace girar a la rueda de tracción, la cual es parte del diferencial. Finalmente las flechas cardán están conectadas al diferencial para transmitir la tracción a las ruedas permitiéndoles girar a velocidades diferentes aunque la velocidad promedio final siempre será la misma que en la rueda de tracción final.

El movimiento sólo es transmitido entre las flechas de entrada e intermedia utilizando un par de engranes en cualquier tiempo. Esto se logra utilizando anillos sincronizadores.

3.3.4.3b. Automóvil de tracción trasera y cajas de cambios comerciales [Happian-Smith. 2002]

Dos características fundamentales para diferenciar esta caja de cambios de la de tracción delantera es la falta de diferencial y la ausencia de el par de engranes de reducción final. Estos dos elementos se encontrarán en una unidad diferente en el vehículo. En las dos figuras siguientes se presenta este tipo de caja, donde puede verse que tienen varios pares de engranes con diferentes relaciones. Con un cambio particular, la transmisión de potencia sigue uno de los posibles caminos a través de la caja. Cuando el conductor cambia de velocidad, la potencia se transmite por un camino diferente.

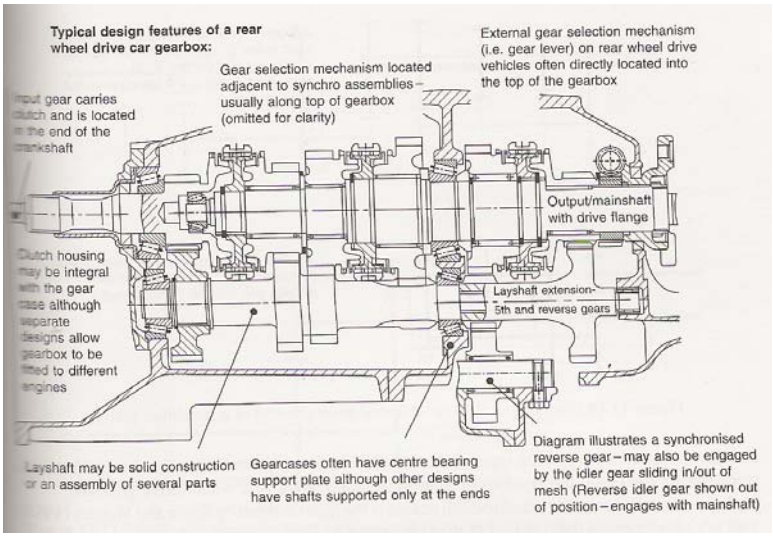


Figura 3.63. Corte de una caja de velocidades manual de tracción trasera. [Happian-Smith. 2002]

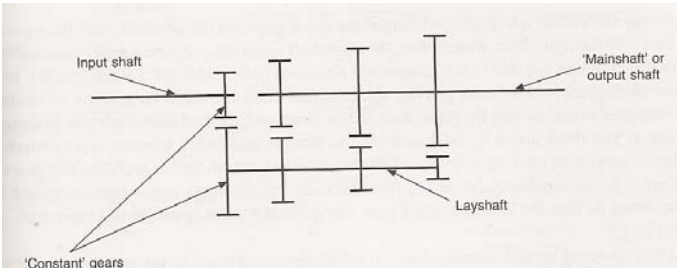


Figura 3.64. Esquema del tren de una caja de velocidades de tracción trasera [Happian-Smith. 2002]

En estas cajas, la flecha de entrada es manejada, vía embrague, por el motor. Los engranes están continuamente en contacto y la flecha de entrada siempre mueve a la de salida. En neutral, todos los engranes en la flecha principal rotan libremente en ella y no hay transmisión a la flecha principal. Los anillos sincronizadores permiten que los engranes en la flecha principal estén conectados a ella o que las dos flechas se conecten entre ellas. Esta conexión permite que diferentes engranes puedan dar relaciones de velocidad distintas entre flechas.

3.3.4.4. El anillo sincronizador [Heisler, Heinz. 1999]

El propósito del sincronizador es que se logre un cambio suave y silencioso de relaciones de engrane con la mínima destreza por parte del conductor cuando el automóvil está en

movimiento. El sincronizador utiliza un embrague cónico friccional para inicialmente lograr que la velocidad de la flecha y del engrane sea similar (Figura 3.65).

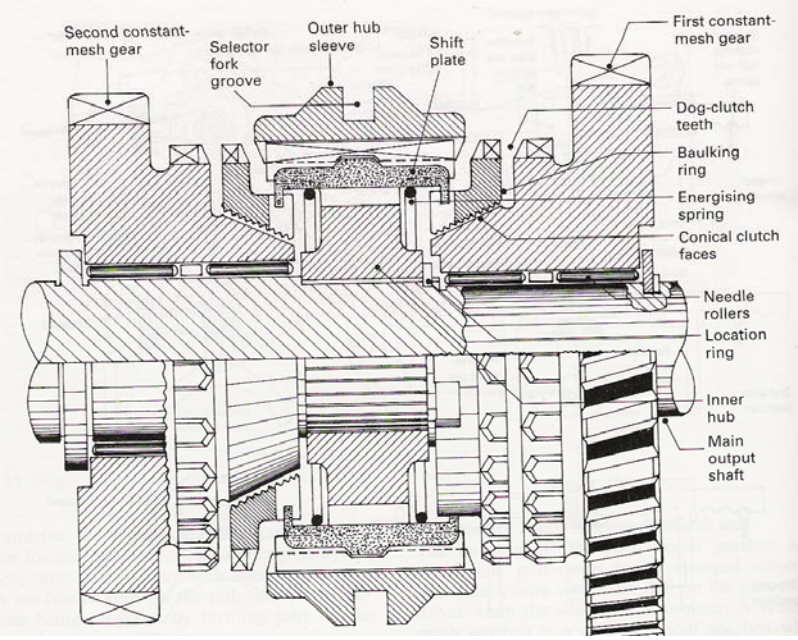


Figura 3.65. El sincronizador y sus partes principales
[Heisler, Heinz. 1999]

3.3.4.5. El embrague [9]

El embrague es un mecanismo que une o separa dos árboles; esta separación debe efectuarse tanto si los dos árboles se hallan en movimiento como si están parados. En el automóvil, este dispositivo tiene como función transmitir el movimiento del motor a las ruedas a voluntad del conductor. El embrague va situado entre el motor y la caja de cambios y, más concretamente, entre el árbol motor o cigüeñal (el eje que transmite todo el par motor), y el eje primario de la caja de cambios.

El mecanismo de embrague es absolutamente necesario en los vehículos dotados de motor térmico, ya que para iniciar la marcha hay que trasmitir el par motor a bajo régimen de una forma progresiva por resbalamiento mecánico o viscoso, hasta conseguir un acoplamiento rígido entre el motor y las ruedas a través del cambio de velocidades. Además, en los vehículos con cambio de velocidades mecánico es necesario el embrague para desconectar el movimiento del motor del movimiento de las ruedas siempre que se tenga que cambiar de velocidad o se deseé parar el vehículo sin detener el motor.

Los embragues de fricción están formados por dos partes: el disco de embrague y el plato de presión. Estos y otros elementos se pueden ver en la Figura 3.66:

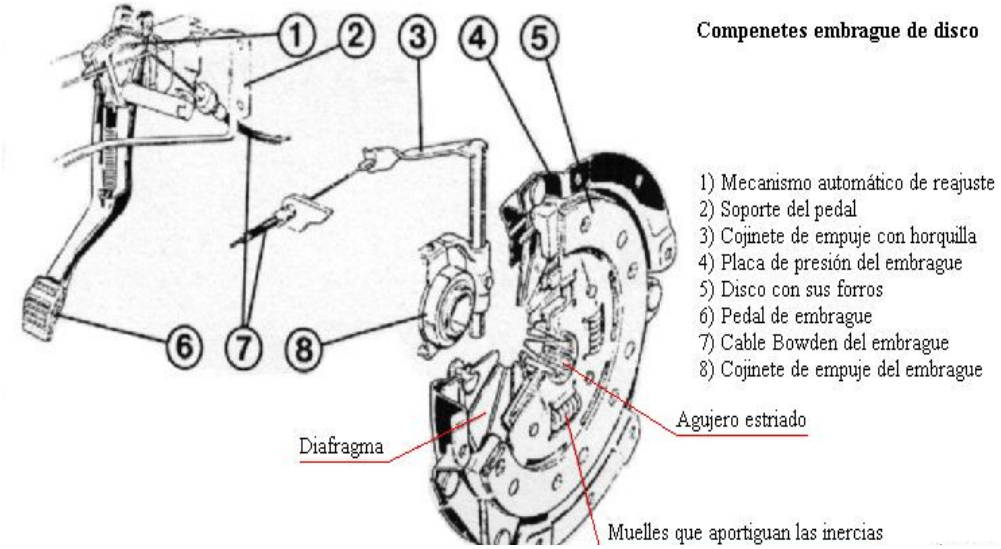


Figura 3.66. Las partes del embrague

[9]

El objetivo del embrague consiste en el acoplamiento o desacoplamiento del movimiento del motor con las ruedas a través del cambio de velocidades. La mayoría de los automóviles actuales están equipados con embrague monodisco en seco.

Al disco solidario con el movimiento del motor se le denomina plato conductor, y al disco de embrague como plato inducido. Normalmente el plato conductor suele ser el mismo volante motor, y el plato conducido es la plancha de acero recubierto de un material no metálico para aumentar el rozamiento de las superficies. Este último recibe el nombre de disco de embrague.

La posición normal de trabajo del embrague es la posición de transmitir movimiento; Para que el movimiento no se trasmita hay que separar el disco del embrague del anillo de presión, comprimiendo el muelle del diafragma, operación conocida como desembragar. En la posición de desembragado, al pisar el pedal se desplaza el collarín hacia el interior, presionando sobre el diafragma, liberando el disco de fricción. El embrague no transmite el movimiento (Figura 3.67).

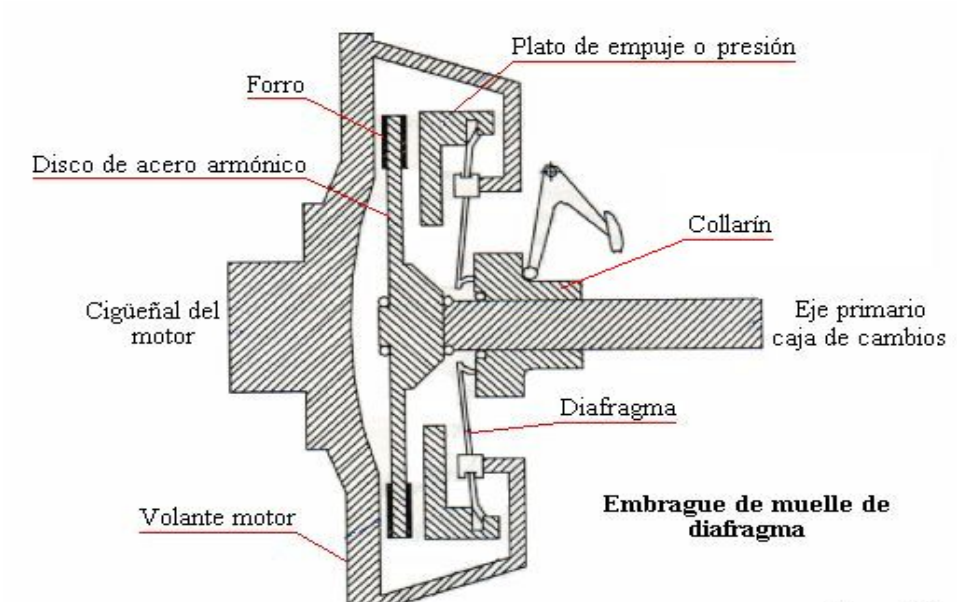


Figura 3.67.

Corte del dispositivo de embrague

en posición de desembrague

[9]

3.3.4.6. El diferencial

El diferencial se encarga de dividir el movimiento entre cada par de ruedas traseras, compensando automáticamente la mayor distancia que recorre la rueda exterior, por ejemplo, cuando el vehículo da vuelta en una esquina [Guía de Ahorro de Gasolina. CONAE]. Así, es la parte que se conecta con los ejes que transmiten las revoluciones, de la caja, a las ruedas del vehículo.

La caja de velocidades que se usa para tracción delantera, viene acoplada con el diferencial (Figura 3.68), lo que no sucede para tracción trasera (Figura 3.69) [7].

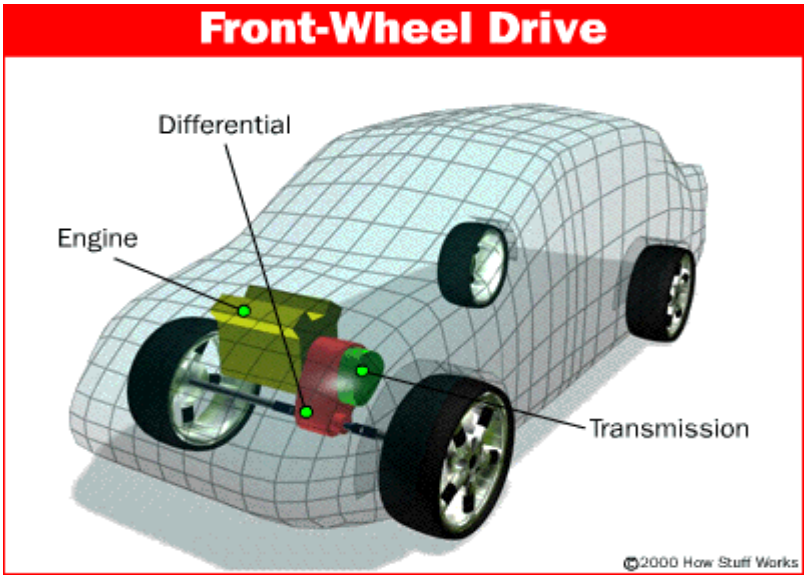


Figura 3.68. El diferencial en la transmisión delantera

[8]

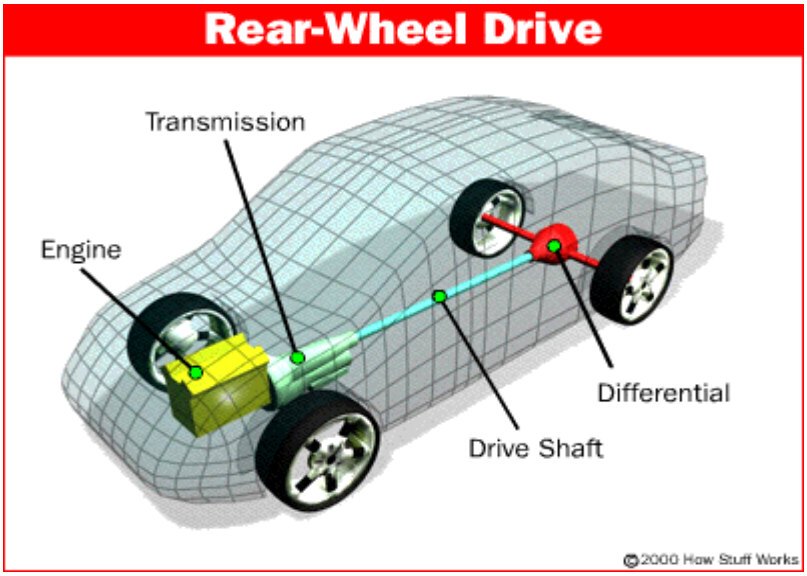


Figura 3.69. El diferencial en la transmisión trasera

[8]

El diferencial (Figura 3.70) actúa como un reductor final en el vehículo, bajando la velocidad rotacional de la transmisión antes de llegar a las ruedas. Así, el diferencial se encarga de transmitir la potencia a las ruedas mientras permite que giren a diferentes velocidades [8].

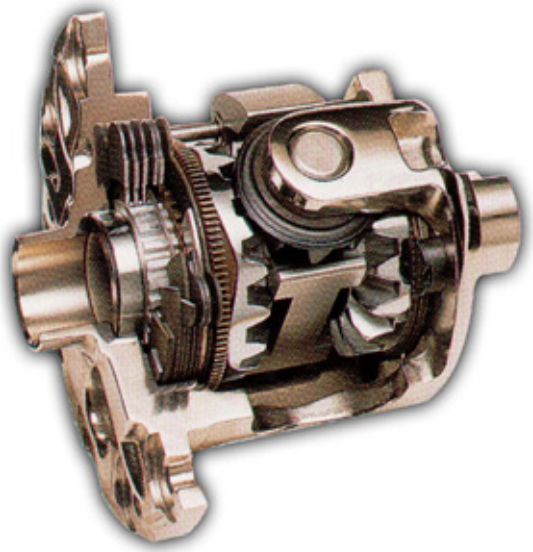


Figura 3.70. Corte del diferencial [8]

Las ruedas del automóvil giran a diferentes velocidades, especialmente al dar vuelta. Cada llanta recorre una distancia diferente durante la vuelta, siendo las llantas interiores (a la vuelta), las que recorren menor distancia. Si el automóvil no tuviera diferencial, las ruedas tendrían que estar fijas y juntas, forzando a que giren a la misma velocidad. Esto haría muy difícil para el vehículo el dar vuelta, ya que una llanta tendría que deslizarse, lo que sería muy difícil de conseguir con el material actual de las llantas y el material de los caminos ya que se requeriría una gran fuerza [9].

El mecanismo consiste en un alojamiento de hierro fundido maleable que incorpora los engranes cónicos diferenciales (Figura 3.71). El tren de engranes cónicos forma una red cerrada o anillo en el cual hay dos engranes cónicos laterales generalmente llamados engranes solares y entre ellos dos o cuatro piñones conocidos como engranes planetarios y que unen indirectamente a los engranes solares [Heisler, Heinz. 1999].

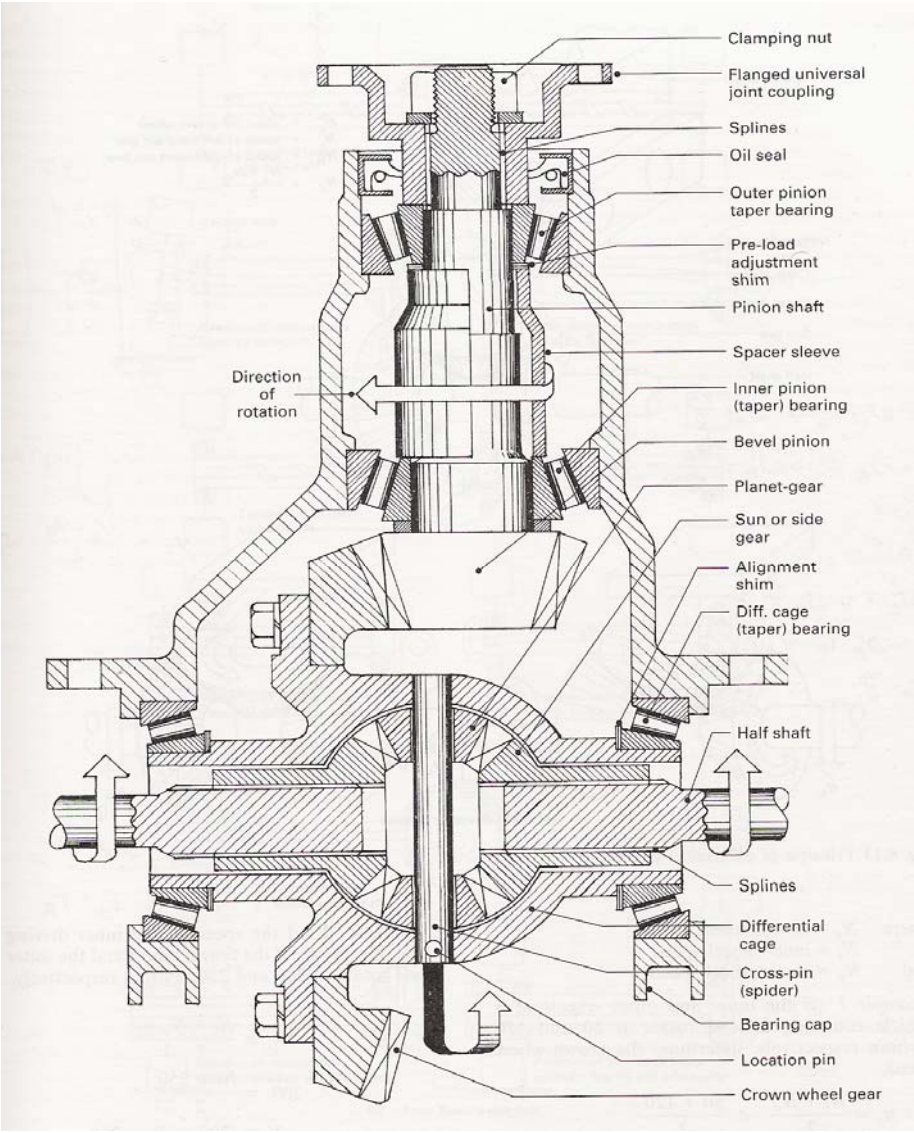


Figura 3.71. Corte del diferencial. [Heisler, Heinz. 1999].

3.3.5. Transmisión Manual Automatizada [Happian-Smith. 2002]

Con la introducción reciente de algunos vehículos, con el sincronizador automatizado, las transmisiones manuales se han vuelto más populares. La razón para el desarrollo de esta transmisión es: primero, que tienen un beneficio económico mayor a las transmisiones manual y automática, ya son más eficientes que las automáticas y pueden ser programadas para cambiar las velocidades más efectivamente de lo que pueden hacerlo los conductores; segundo, por mercadotecnia ya que se relacionan con autos Formula 1. Algunos ejemplos que utilizan esta transmisión son el BMW M3, MMC Smart, VW Lupo y Alfa 156.

Considerando la mecánica de estos sistemas, es difícil pensar que llegue a sustituir a la automática tradicional. El punto fundamental es que los sistemas manuales automatizados necesitan desconectar la tracción del motor a la transmisión para lograr el cambio de velocidad. Sin embargo, hay diseños de transmisión con embrague doble que superan esta limitante por medio de dos caminos paralelos de torque a través de la transmisión donde un cambio de relación simplemente cambia de un camino a otro poniendo en contacto un embrague en lugar del otro.

3.3.6. La Transmisión Automática [Happian-Smith. 2002]

El concepto de transmisión automática ofrece considerables ventajas a los conductores porque no tienen que preocuparse de seleccionar la relación correcta. Cualquier reducción en el cansancio del conductor hace que el conductor se concentre mejor en otros aspectos del control del vehículo, reduciendo accidentes.

También hay beneficios en términos económicos y de emisiones si un sistema automatizado puede hacer mejor la selección de cambios que un conductor inexperto.

El término “transmisión automática”, es usado para referirse a una combinación de convertidor de torque con una relación de cambio de sección que se basa en juegos de engranes epicíclicos y actualmente es un área de rápido desarrollo gracias a los cada vez más avanzados controles electrónicos. Su éxito se debe a la simplicidad del convertidor de torque como un dispositivo que tiene características ideales para arrancar al vehículo desde reposo; por otro lado los juegos de engranes epicíclicos proporcionan relativa facilidad y cambios controlables entre relaciones.

Comparada con la transmisión manual, la automática es más costosa, más pesada, más grande y de menor eficiencia. Sin embargo, todas estas desventajas están conduciendo al desarrollo de diseños modernos que logren tener un número mayor de relaciones de engrane contando con el mismo y incluso menor espacio.

A continuación se presentan las partes más importantes de las transmisiones automáticas más utilizadas actualmente.

3.3.6.1. El convertidor de torque hidrocinético [Happian-Smith. 2002]

La transmisión hidrocinética tiene que ver con la transmisión de potencia a través de la energía cinética de un fluido. En estos dispositivos un elemento impulsor crea la energía cinética en el fluido y una turbina recupera la energía produciendo un torque de salida.

Existen dos tipos principales de dispositivos hidrocinéticos: cople de fluido y convertidor de fluido. Ambos proveen un ajuste automático de relación y capacidad de relación infinita por lo que son muy apropiados como dispositivos de arranque. Sus características incluyen: variación de torque y velocidad sin control externo, aislado contra vibraciones, absorción de carga de choque, poco mantenimiento y virtualmente operación sin desgaste. Sus desventajas incluyen la eficiencia, limitaciones de diseño y gran dificultad de control preciso.

3.3.6.1a. Cople de fluido [Happian-Smith. 2002]

Contiene sólo dos elementos rotativos (impulsor y turbina), en un alojamiento de forma toroidal (Figura 3.72). Ambos elementos tienen conductos radiales y llenos con fluido hidráulico. El impulsor y alojamiento rotan gracias a la potencia de entrada obligando al fluido a girar haciendo que el líquido fluya hacia fuera a causa de la fuerza centrífuga. El líquido es conducido por la curvatura del impulsor hacia la turbina, donde existe una reacción de torque en las paletas como resultado del cambio de dirección del fluido. Finalmente el fluido regresa hacia el centro y entra nuevamente al impulsor.

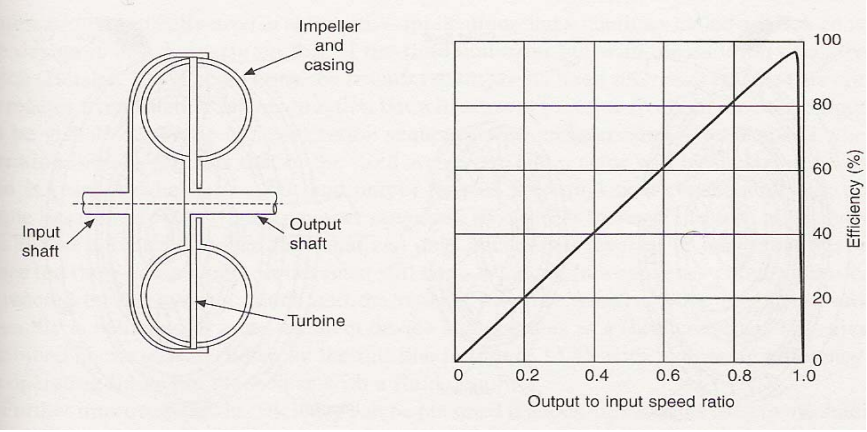


Figura 3.72. Cople de fluido y sus características.
[Happian-Smith. 2002]

3.3.6.1b. Convertidor de fluido [Happian-Smith. 2002]

El convertidor cuenta también con un impulsor y una turbina, pero además tiene un tercer elemento que no rota llamado estator. Para prevenir su rotación se conecta vía un tubo concéntrico con la flecha de turbina de salida a una parte interna de la carcasa de la caja.

Los conductos del estator redirigen el flujo como en la Figura 3.73 y lo suman al torque proporcionado por la entrada del motor para hacer mayor el torque de salida.

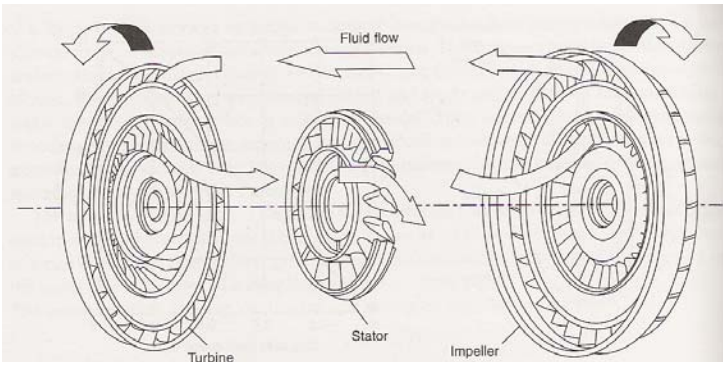


Figura 3.73. Convertidor de torque mostrando el recorrido del fluído.
[Happian-Smith. 2002]

3.3.6.1c. El convertidor de torque [Happian-Smith. 2002]

El término convertidor de torque es aplicado algunas veces al convertidor de fluido descrito anteriormente, pero también se utiliza para describir el dispositivo que combina la operación del convertidor y el cople. Esta combinación se usa típicamente en aplicaciones automotrices. El diseño se basa en el convertidor de fluido pero con un embrague adicional de sobremarcha conectado al estator; su función es prevenir que el estator gire en una dirección, permitiéndole girar en la contraria. Su operación se puede ver durante la secuencia de aceleración en un incremento de velocidad del vehículo cuando trabaja como un convertidor de fluido. El estator estará bloqueado hasta que una relación de velocidad se alcanza tal que los torques de entrada y salida sean iguales, teniendo un torque en el estator igual a cero. Sobre esta relación de velocidad, el ensamble se comporta como un dispositivo de dos elementos y opera como un cople de fluido. Esto da las características de la Figura 3.74 aumentando la eficiencia hasta que los límites de operación se alcanzan como con un cople de fluído.

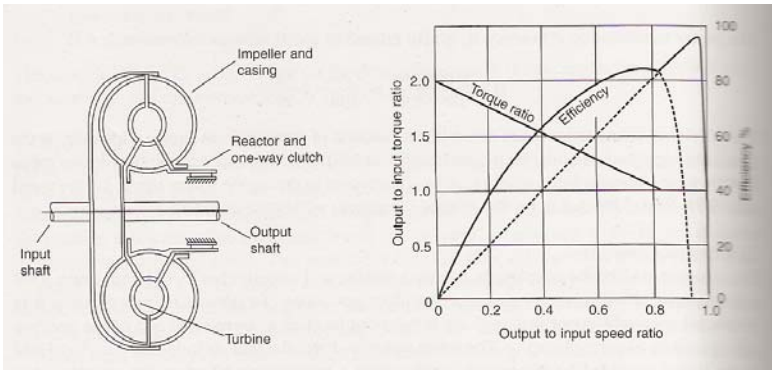


Figura 3.74. Convertidor de torque y sus características.
[Happian-Smith. 2002]

3.3.6.2. Los juegos de engranes epicíclicos [Happian-Smith. 2002]

Los engranes epicíclicos o planetarios contienen tres juegos de engranes concéntricos en contacto en dos diámetros, como se muestra en la Figura 3.75. Éstos están conectados a tres flechas externas distribuyendo el torque transmitido entre ellas. Estas tres constituyen la flecha del engrane solar, la flecha del engrane de anillo y el transportador. Los engranes planetarios giran sobre piñones montados en el transportador y esta parte del ensamble puede considerarse se comporta como un componente. En las transmisiones automáticas los engranes epicíclicos son usualmente operados con una de las tres flechas bloqueadas, dejando a las otras dos como flechas de entrada y salida. Otra opción es que dos de los componentes estén bloqueados y la unidad completa gire.

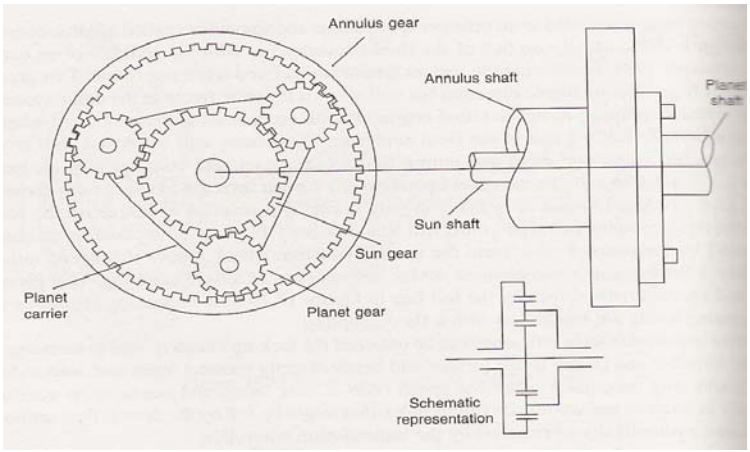


Figura 3.75. Engrane epicíclico. [Happian-Smith. 2002]

3.3.6.3. Operación [Happian-Smith. 2002]

La Figura 3.76 muestra una representación esquemática de la transmisión con diferentes engranes seleccionados. Por claridad, los componentes principales sólo están representados de un lado de la línea de centro de la flecha.. El torque principal se muestra en líneas gruesas. Hay dos juegos de engranes epicíclicos en la flecha primaria, marcados A y B, y otra reducción epicíclica en la flecha secundaria. En todas las relaciones la transmisión pasa del convertidor de torque a la flecha primaria. La transmisión pasa de la flecha primaria por un camino conectado al anillo del engranaje A y el transportador de B. Ésta pasa a la flecha secundaria a través del anillo del juego de reducción final. La salida pasa entonces del transportador de este engranaje a la transmisión final y así, a la flecha de salida. En los primeros cuatro cambios y reversa, el anillo solar del engranaje de reducción está bloqueado por el freno de reducción, dando una rotación al transportador en el mismo sentido del anillo pero con reducción.

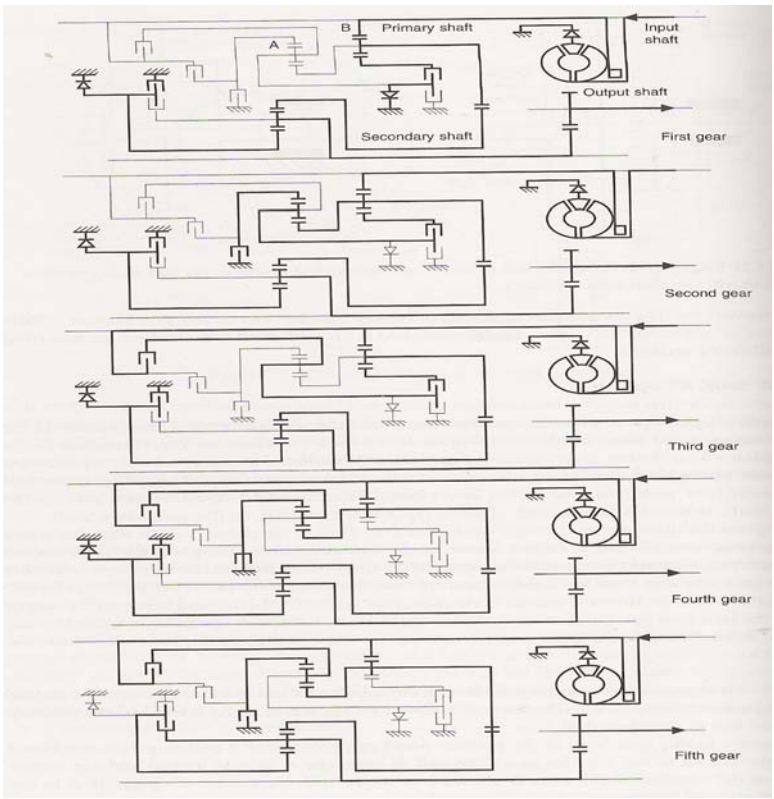


Figura 3.76. Flujo de potencia para diferentes relaciones en una transmisión JF506E (cortesía de Jatco) [Happian-Smith. 2002]

3.3.6.4. El controlador [Happian-Smith. 2002]

Las transmisiones automáticas han sido operadas por muchos años con un sistema hidráulico que proveía las funciones lógicas y de control. El desarrollo de controladores digitales y el de sensores de menor costo y actuadores eléctricos a permitido el implementar el control lógico en forma digital. Esto ha incrementado considerablemente la funcionalidad con gran flexibilidad y adaptabilidad del controlador. Sobre todo la clásica combinación de "cerebro" electrónico con "músculo" hidráulico.

El controlador entonces, recibe información de los diferentes sensores que indican el comportamiento del automóvil (por ejemplo velocidad del vehículo y de la turbina), para ajustar el funcionamiento de la transmisión de acuerdo a las condiciones existentes. En esto radica la importancia del controlador.

3.4. Ejes de transmisión [Heisler, Heinz. 1999]

Los ejes de transmisión transfieren la potencia de la flecha de salida de la caja de velocidades montada al frente del vehículo al eje trasero de transmisión final, impulsando al vehículo hacia atrás o adelante. Así, la flecha cardán o eje de transmisión**,** es un elemento mecánico que transmite la potencia del motor al eje diferencial. La transmisión es en movimientos rotatorios y según la demanda en revoluciones por minuto (rpm), que el vehículo requiera para transmitir fuerza [10].

Las ejes de transmisión consisten en tubos de acero de bajo carbón rolado o soldado. Los extremos huecos del tubo son soldados a juntas para lograr una estructura de transmisión rígida que sea concéntrica a las flechas de entrada y salida que la soportan.

Las flechas se hacen huecas para que resistan de forma más efectiva el torque y esfuerzos a los que se someten. La rigidez torsional y resistencia a doblarse de una flecha es directamente proporcional al cubo del diámetro de la flecha. En la Figura 3.77 se puede ver una comparación de peso y propiedades de capacidad torsional de flechas sólidas y huecas. Un eje de transmisión típico de 60 mm de diámetro exterior y 2 mm de espesor, puede considerarse equivalente a una flecha sólida de 21.5 mm de diámetro del mismo peso. En forma similar puede probarse que la capacidad de torque para la flecha hueca es aproximadamente 5.2 veces más grande que la de la flecha sólida. Así, una flecha que tiene una rigidez torsional equivalente a la flecha hueca de 60 mm de diámetro debería tener un diámetro aumentado 37.3 mm, lo que la haría 3 veces más pesada.

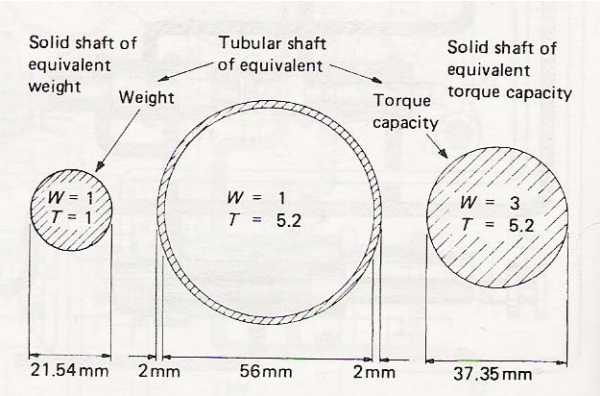


Figura 3.77. Comparación de peso (W) y capacidad de torque (T) de flechas de transmisión sólidas y huecas. [Heisler, Heinz. 1999]

El cardán tiene la ventaja de expanderse, contraerse y cambiar de ángulo de operación según se requiera. En la figura 3.78 se muestra cómo varían la longitud del árbol de transmisión y el ángulo de transmisión cuando las ruedas se desplazan hacia arriba y abajo.

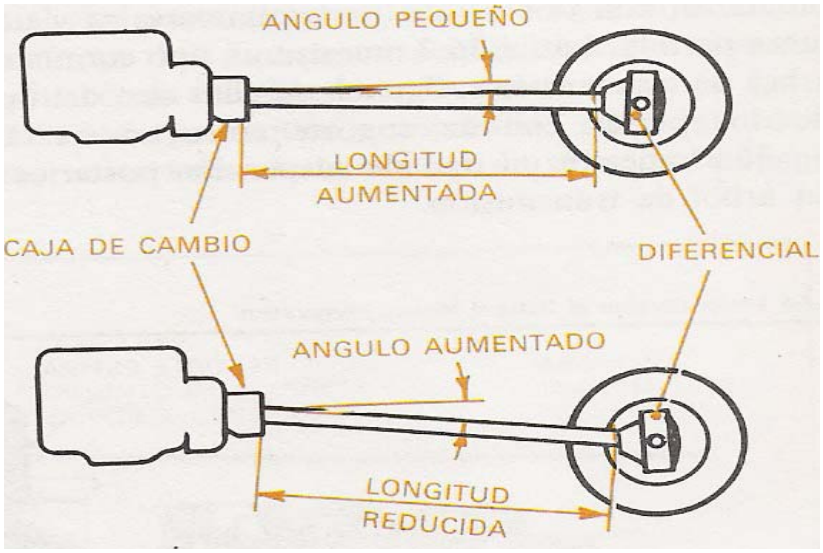


Figura 3.78. Cambio de longitud y ángulo de operación en el eje de transmisión [Crouse, William H. 1985]

En la parte superior de la figura, las ruedas y el diferencial están en la posición alta, lo que significa que el ángulo de transmisión es pequeño, y que el eje motriz adquiere su longitud máxima. En la parte inferior de la figura, el diferencial y las ruedas están en posición baja. Está es su posición cuando las ruedas pasan por un bache en el camino. En esta posición el

ángulo de transmisión aumenta, y la longitud del árbol motriz disminuye porque cuando las ruedas posteriores y el diferencial descienden, también desplazándose hacia delante. Las ruedas posteriores y el diferencial tienen que moverse de esta manera porque van unidos a los resortes de la suspensión [Crouse, William H. 1985].

Hay flechas cardán de acoplamientos cortos y largos y son elementos silenciosos, libres de vibración y de larga vida útil; por eso su gran utilización en vehículos grandes y pequeños. En la siguiente figura podemos ver un ejemplo de eje de transmisión.

Figura 3.79. Ejemplo de flecha cardan

[10]