



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



PROCEDIMIENTOS
DE CONSTRUCCIÓN

**MOTORES
Y COMPONENTES
MECÁNICOS**

Julián Alcalá

Procedimientos de Construcción
MOTORES Y COMPONENTES MECÁNICOS

©2022 Julián Alcalá González (jualgon@upv.es)
Departamento de Ingeniería de la Construcción
y de Proyectos de Ingeniería Civil
Ref.: 0011-0001-PRC-0015-0008

Índice

1. Concepto de máquina	3
2. Motores eléctricos	4
2.1. Funcionamiento	4
2.2. Motores de corriente alterna	5
2.3. Motores de corriente continua	7
3. Motores hidráulicos y neumáticos	8
3.1. Clasificación	9
3.2. Motores alternativos	10
3.3. Motores rotativos	11
4. Motores de explosión	13
4.1. Motores de gasolina de cuatro tiempos	14
4.2. Motores de gasolina de dos tiempos	16
4.3. Motores diésel	17
5. Potencia y par motor	18
5.1. Potencia	18
5.2. Par motor	19
5.3. Medida de la potencia	20
6. Componentes mecánicos	21
6.1. Transmisiones	21
6.2. Trenes de rodaje	27
6.3. Frenos	33
7. Cuestiones	35

(Página intencionadamente dejada en blanco)

1. Concepto de máquina

De todas las definiciones posibles de lo que es una «máquina», las que mejor se adaptan a las que se emplean en el sector de la construcción son las dos siguientes:

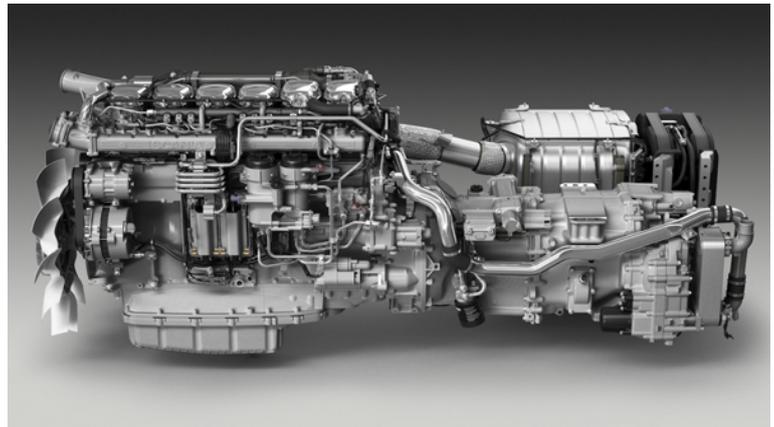
«Dispositivo capaz de equilibrar o vencer una fuerza de resistencia mediante otra de potencia»

«Combinación de elementos rígidos o resistentes que puede realizar un trabajo útil»

Con estas definiciones las máquinas pueden ser muy simples, como una palanca (figura 1a) que es capaz de aumentar el desarrollo de un movimiento a costa de reducir fuerza, o es capaz de aumentar la fuerza a costa de reducir el desplazamiento. Pero pueden ser muy complejas, como el motor de explosión de un camión (figura 1b). La primera puede vencer una fuerza de resistencia (un peso por ejemplo) a partir de otra de potencia, y la segunda es un conjunto de elementos rígidos que nos hace un trabajo útil (hace que el camión se desplace).



(a) Palanca (*Wikipedia*)



(b) Motor de explosión (*Scania*)

Figura 1: Ejemplo de máquinas.

Pues bien, los motores son ese tipo de máquinas que cumplen la segunda definición. Se trata de una combinación de elementos que es capaz de hacer un trabajo útil, pero en los que la fuerza de potencia procede de una fuente de energía artificial.

La forma más lógica de clasificar los motores es a partir de la energía que los alimenta (figura 2). En construcción se emplean dos tipos de energía básicamente, la procedente de fluidos, y la eléctrica. La procedente de fluidos son los motores hidráulicos, que utiliza la energía almacenada en fluidos presurizados –normalmente aceites de baja viscosidad–, o los neumáticos, que utilizan la energía almacenada en gases presurizados –normalmente aire–. Pero también los motores de explosión, que aprovechan la presión que se genera con la ignición de combustibles en presencia de aire (oxígeno). Cuando estos combustibles arden se convierten en un volumen muy superior de gas, pero al estar confinados en un espacio pequeño ejercen una gran presión sobre las paredes del recipiente que los aloja. Los motores de explosión aprovechan esa presión para accionar mecanismos.

La procedente de la electricidad se basa en el aprovechamiento de las fuerzas de atracción magnética entre polos opuestos y repulsión entre polos iguales. Los motores eléctricos consiguen crear imanes de forma estratégica para que surjan esas fuerzas, haciendo que un mecanismo entre en movimiento.

Estas máquinas son reversibles, es decir, si la entrada de energía es mayor que la resistencia, funcionan como motores, pero si no es así funcionan al contrario, convirtiendo el movimiento en presión a fluidos (bombas o compresores) o en electricidad (generadores). Es lo que se denomina el *principio de reversibilidad* de las máquinas. La excepción está en los motores de explosión. La reacción química que se produce durante la ignición de un combustible no es reversible, es decir, no se puede fabricar gasolina a partir de los gases de su combustión solamente con energía mecánica.

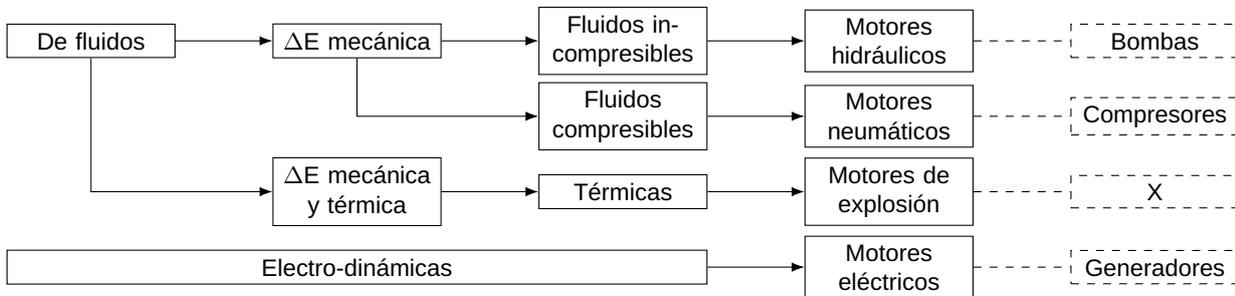


Figura 2: Clasificación de los motores.

En los apartados que siguen se detallan los tipos, características y usos de los diferentes tipos de motores

2. Motores eléctricos

Los motores eléctricos son sin duda los motores primarios más eficaces y preferidos en la industria en general, y en la construcción en particular. Tienen rendimientos muy altos, requieren poco mantenimiento porque tienen pocas partes móviles, son silenciosos y no contaminan. Su rango de aplicación es enorme, y los hay para todos los usos y prestaciones que se requiera.

Tienen como inconveniente el que requieren de una conexión eléctrica para funcionar, pues aunque el mundo de las baterías está mejorando rápidamente, todavía no son eficaces para alimentar con suficiente potencia la maquinaria de construcción. Por eso su empleo está limitado a instalaciones fijas como pueden ser las plantas de hormigón o aglomerado asfáltico, plantas de prefabricados, etc.

Otro inconveniente es que en su funcionamiento se producen chispas, que pueden provocar deflagraciones en ambientes explosivos (algunas galerías subterráneas, por ejemplo).

2.1. Funcionamiento

Los motores eléctricos funcionan por los principios de atracción y repulsión electromagnética. En estos motores hay siempre dos partes (figura 3), una estática, normalmente en el exterior, denominada *estátor*, y otra que puede girar como un eje, normalmente dentro del estátor, denominada *rotor*. Bien gracias a imanes, o bien gracias a campos electromagnéticos inducidos en bobinas por las que se hace pasar una corriente eléctrica se genera un campo magnético en el estátor, que actúa contra la polaridad de otro campo magnético existente en el rotor. Los polos del rotor se ven atraídos hacia los opuestos y repelidos por los iguales del campo del estátor. Estas fuerzas de atracción y repulsión hacen que el rotor gire, con lo que los polos se acercan a sus opuestos, pero entonces el campo magnético del estátor, o la polaridad del rotor, o ambos, cambian de posición, haciendo que el sistema entre en un movimiento de giro continuo. La intensidad de la corriente eléctrica que crea esos

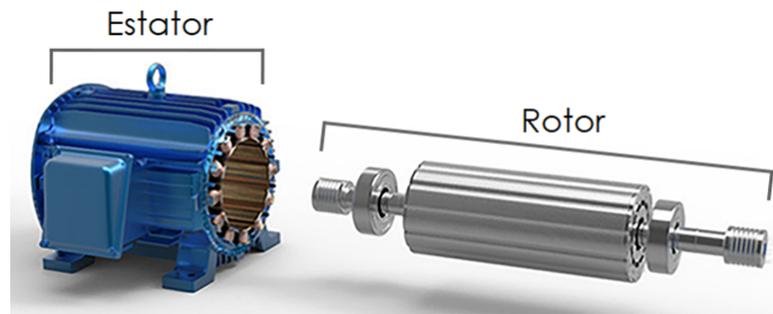


Figura 3: Esquema de un motor eléctrico (*Electricaplicada*)

campos determina la fuerza con la que se produce la atracción y la repulsión entre los campos, y por tanto, determina la fuerza y la potencia del motor.

Los diferentes motores eléctricos que existen se diferencian entre sí por la forma en que crean los dos campos magnéticos, pero también por el tipo de corriente eléctrica que los alimenta, que puede ser continua o alterna. Atendiendo a estos criterios, los motores eléctricos se clasifican del modo que sigue:

- Motores de corriente alterna
 - Síncronos
 - Asíncronos
 - De jaula de ardilla
 - De rotor devanado
- Motores de corriente continua
 - De imán permanente
 - De estátor devanado
 - Sin escobillas

2.2. Motores de corriente alterna

En la corriente alterna la polaridad entre se invierte con una frecuencia de 50 Hz, es decir cada segundo los polos positivo y negativo se alternan a razón de 50 veces por segundo. En EEUU y otros países de América Latina la frecuencia de la corriente eléctrica es de 60 Hz.

La corriente alterna es la que se suministra en las redes de distribución, y por tanto, este tipo de motor eléctrico es el habitual en las instalaciones fijas como plantas de áridos, industrias de prefabricados, etc. La electricidad se suministra bien monofásica a 220 V o en trifásica a 380 V. La corriente monofásica utiliza dos cables conductores, mientras que la trifásica emplea tres conductores y un neutro. La tensión entre cada uno de los tres conductores y el neutro es de 220 V, pero entre ellos la tensión aumenta a $220 \cdot \sqrt{3} = 380$ V. La trifásica es la más utilizada para tomas de potencia en la industria, y la de 220 V monofásica es la más habitual para uso doméstico.

Los motores de corriente alterna emplean esta oscilación de la polaridad para funcionar. Todos ellos tienen en el estátor unos devanados por los que pasa la electricidad induciendo el campo magnético, es decir, se convierten en un electroimán. La polaridad de ese imán depende del sentido de la corriente, pero como es corriente alterna, la polaridad de esos imanes también cambia continuamente a razón de 50 veces por segundo.

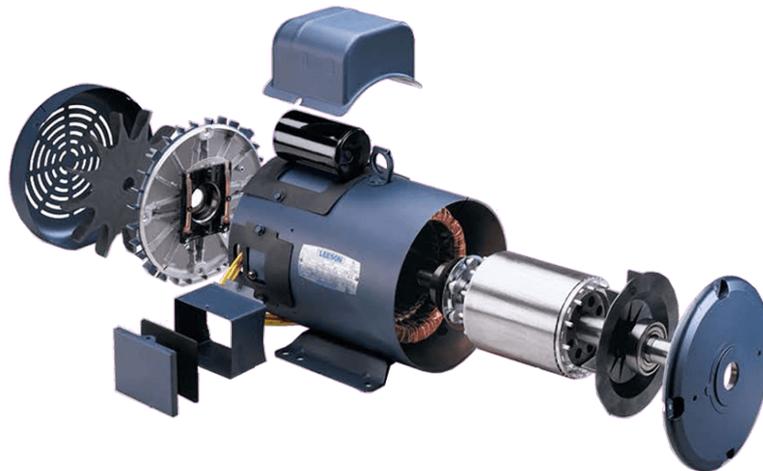


Figura 4: Motor eléctrico AC síncrono (Leeson)

Estos campos magnéticos inducidos en el estátor interfieren con los que hay en el rotor, creando fuerzas de atracción y repulsión en éste que le hacen comenzar a girar. El cambio de polaridad del estátor cambia en sus devanados de forma coordinada, haciendo que ese campo magnético gire, y con ello, las fuerzas que mantienen en rotor girando de forma permanente.

Para crear el campo magnético del rotor se pueden usar imanes fijos, o devanados en los que los campos del estátor inducen corrientes eléctricas. Los primeros son los *síncronos*, y los segundos son los *asíncronos*.

Motores síncronos Se denominan así porque al tener en el rotor imanes fijos, cuya polaridad no cambia, tienen que girar a la misma velocidad a la que lo haga el campo magnético del estátor. En función del número de bobinas (siempre en parejas) que se dispongan en el estátor la velocidad de giro del rotor será mayor o menor, pero no podrá variar durante su funcionamiento. Además, siempre es múltiplo de la frecuencia de la red, siendo lo normal para 50 Hz que funcionen a 750 r.p.m. (cuatro pares de polos), 1500 r.p.m. (dos pares de polos) o 3000 r.p.m. (un par de polos).

Al no existir deslizamiento (diferencia entre el campo magnético del estátor y del rotor) tampoco habrá desfase de corriente, por lo que la energía reactiva es nula y no necesita condensadores para su compensación. El rendimiento es mejor y el consumo también. Este tipo de motores son más eficaces que los motores asíncronos, porque no pierden velocidad ni par al aumentar la carga, por eso se suelen emplear en máquinas grandes que tienen una carga variable y necesitan una velocidad constante, como por ejemplo, para mover un molino de bolas, una cinta transportadora, etc.

Sin embargo tienen problemas para arrancar, porque el par de arranque es bajo. Cuando están parados y se ponen en marcha el rotor tiende a no girar de forma espontánea, porque cuando aparece el campo magnético en el estátor antes de empezar a moverse el rotor, la fuerza inicial que lo debe impulsar cambia con la polaridad del estátor. Para arrancar los motores síncronos se recurre a otros motores de arranque asíncronos conectados, que son capaces de iniciar el movimiento desde el reposo.

Motores asíncronos En este caso el estátor es similar al anterior, pero el rotor lleva un devanado en el que la interferencia del campo magnético del estátor induce una corriente, que a su vez produce un campo magnético, que interfiere con el del estátor. Ello crea una serie de polos en ambas partes del motor que producen las fuerzas de atracción y repulsión, pero como las polaridades del estátor también cambian, el rotor gira más despacio de lo que lo hace el campo del estátor. Hay dos



Figura 5: Rotor en jaula de ardilla (M&E Ingeniería Mecánica Eléctrica)

configuraciones en el rotor, un devanado de cobre en cortocircuito en el que se genera la corriente inducida, o un juego de varillas de hierro metálicas conectadas por sus extremos a sendas coronas, denominado *jaula de ardilla* (figura 5).

Cuanto más despacio gire el rotor respecto a la velocidad de su campo magnético más fuerza se produce para que se produzca el giro. Cuando el giro del rotor es parecido a la velocidad del campo del estátor (velocidad de sincronismo), el par motor es mínimo, pero a medida que la resistencia en el eje del rotor lo ralentiza, y las corrientes inducidas en el rotor aumentan, aumentando también el par motor. Al final se llega a un punto en el que se equilibran ambos a una determinada velocidad. Si se aumenta la intensidad de alimentación también aumenta el par motor (el campo magnético del estátor se hace más intenso, y también el inducido en el rotor), por lo que aumenta la velocidad de giro. De este modo controlando la intensidad de la corriente se controla la velocidad del motor.

Estos motores arrancan sin dificultad, pero tienen como inconveniente principal que generan potencias reactivas (igual que se generan corrientes inducidas en el rotor, éstas generan a su vez corrientes inducidas en el estátor que modifican el factor de potencia), por lo que suelen necesitar condensadores en la red que corrijan esos desfases.

2.3. Motores de corriente continua

En los motores de corriente continua la polaridad no cambia en el estátor, en el que hay un campo magnético fijo, sino en el rotor. El rotor tiene unos devanados que son alimentados desde el exterior con la corriente continua gracias a unas escobillas. En función de la posición que tiene el rotor las escobillas entran en contacto con unos circuitos u otros. Estos circuitos actúan como imanes, que son atraídos por el campo magnético fijo que del estator, lo que los hace girar. Con el giro del rotor las escobillas (que están fijas) terminan por perder el contacto con ese circuito antes de que alcance al polo que la atrae, pero entonces entra en contacto con el siguiente circuito, que es el que ahora actúa como un imán, y vuelve a aparecer la fuerza que lo hace girar. El resultado es que el rotor es permanentemente accionado por fuerzas de atracción (y repulsión) que fuerzan un giro constante. La pieza que permite el contacto entre las escobillas y los circuitos del rotor se denomina *colector de delgas* (figura 6).

El campo magnético fijo del estátor se consigue bien mediante un material imantado (imán permanente, o *PM permanent-magnet*), o bien mediante devanados alimentados por la corriente continua. Habitualmente, los primeros se emplean en equipos de poca potencia, porque aunque a igualdad de potencia son más eficaces que los segundos, conseguir imanes permanentes potentes es difícil, y además existe un efecto de desmagnetizado con el tiempo.

En el segundo caso, la configuración de la alimentación a los devanados del estátor puede ser de

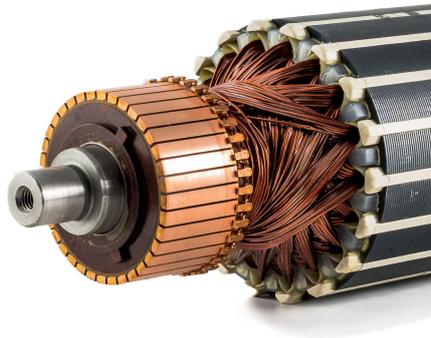


Figura 6: Colector de delgas (Siemens)

tres tipos:

- *En serie*, es decir, se conecta alineado con la polaridad que alimenta al rotor. La intensidad entre ambos circuitos es constante, pero el voltaje no lo es, repartiéndose en función del régimen de giro. Como consecuencia, el par en vacío es muy alto, y arrancan fácilmente, pero si están en vacío tienden a «embalarse» (porque la velocidad de giro es inversamente proporcional a la intensidad en el inductor, y ésta es la misma que en el inducido).
- *Shunt*, o motor en paralelo. En este caso el voltaje entre ambos circuitos es el mismo, pero la intensidad no. Aunque arrancan con más dificultad en carga, mantienen una velocidad casi constante independientemente de la potencia que suministran. Esto significa que se puede ajustar de una manera muy precisa la velocidad variando el voltaje, por lo son los más adecuados si es necesario controlar la velocidad.
- *Compound* o de excitación compuesta. Combina inductores (en el estátor) independientes, estando unos en serie y otros en paralelo. Combina las ventajas de los dos anteriores.

En general los motores de corrientes continua se emplean cuando es necesario una alta precisión en su arranque, parada o velocidad de funcionamiento. También si deben ser alimentados por batería, o por circuitos electrónicos. Finalmente, son los más adecuados cuando se quieren hacer trabajar como motores y como generadores o electro-frenos (vehículos eléctricos, ascensores, etc).

3. Motores hidráulicos y neumáticos

Los motores neumáticos e hidráulicos aprovechan la energía almacenada en un fluido presurizado. Los primeros funcionan con aire comprimido, mientras que los segundos funcionan con un líquido a presión. El líquido utilizado es generalmente aceite de alta densidad y baja viscosidad, que como todos los líquidos es virtualmente incompresible. Tanto el aire como el aceite se pasan por filtros para eliminar partículas que puedan arrastrarse, y que generarían fricciones indeseadas en las partes móviles del motor.

Estos motores no actúan nunca como motores primarios, pues requieren de un compresor –en el caso de motores neumáticos–, o una bomba –en el caso de motores hidráulicos– que genere el fluido

presurizado. Este compresor o bomba, a su vez, estará accionado por un motor primario (eléctrico o de explosión).

Comparativamente, la energía neumática tiene como principal ventaja que es muy sencilla de instalar. Para unir un compresor con un motor neumático solamente hay que conectar una manguera estanca. El suministro de aire es ilimitado, y una vez que ha pasado por el motor puede liberarse de nuevo a la atmósfera, pues sigue siendo aire. Una instalación hidráulica sin embargo es más compleja, porque hay que tener un depósito de aceite para alimentar la bomba, y una vez que éste ha pasado por el motor tiene que retornar a ese depósito. Además, las presiones son mucho mayores, por lo que los conductos y la valvulería deben ser más compactas y robustas.

Por contra la compresión del aire es menos eficaz que la del líquido, porque al presurizar un gas se reduce su volumen y aumenta su temperatura, lo que supone que parte de la energía empleada en el proceso no se aprovecha. En los líquidos esto no es así, porque al presurizarlos no se calientan apenas, y la reducción de volumen es también despreciable. A igualdad de potencia con líquidos se alcanzan presiones hasta diez veces superiores. Además, el propio líquido sirve de lubricante y refrigerante del motor, lo cual no sucede con los sistemas neumáticos.

La consecuencia es que los motores hidráulicos se usan en instalaciones fijas, mientras que los motores neumáticos pueden emplearse en máquinas que se conectan y desconectan de los compresores en obra. En cualquier caso ambos tipos de motores son muy eficaces, robustos, se estropean muy poco y requieren poco mantenimiento. Son silenciosos y económicos, y tienen una alta rapidez de respuesta (en arranques y paradas).

Los principios de funcionamiento de ambos son similares, por lo que los motores que se ven en este apartado se fabrican tanto como motores neumáticos como hidráulicos. Esto no significa que un motor neumático puede ser usado como hidráulico, ni viceversa, porque los caudales y presiones de trabajo son muy diferentes.

3.1. Clasificación

La clasificación de los motores que se muestra en la figura los presenta ordenados de mayor a menor par, y de menor a mayor velocidad de giro. Los motores de pistones proporcionan pares mucho más altos, pero a velocidades de giro más bajas. Se usan sobre todo para accionar ruedas motrices y cabillas. Los de engranajes sin embargo se usan para accionar sistemas de elevación, por ejemplo.

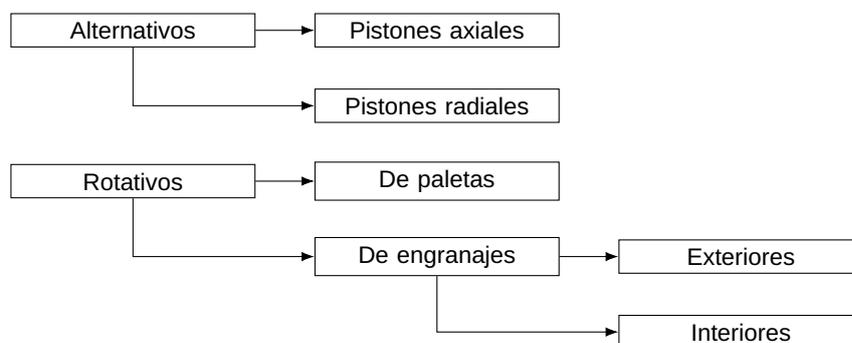


Figura 7: Clasificación de los motores hidráulicos y neumáticos.

3.2. Motores alternativos

Los motores alternativos se basan en pistones que reciben el fluido presurizado que los hace expandirse con una fuerza igual a la presión del fluido multiplicado por la sección del pistón. Sincronizando un grupo de pistones para que se expanda y se recoja en el momento adecuado, se logra un efecto combinado que es posible convertir en un giro.

Pistones radiales También llamados orbitales. Son los motores que más par proporcionan, pero a velocidades de giro más bajas. Los pistones siguen una disposición circular, y actúan contra un rodamiento excéntrico, lo que traduce la fuerza del pistón en un par de giro de ese rodamiento. Suelen tener cinco pistones, de manera que siempre hay más de uno que está en expansión ejerciendo la fuerza.

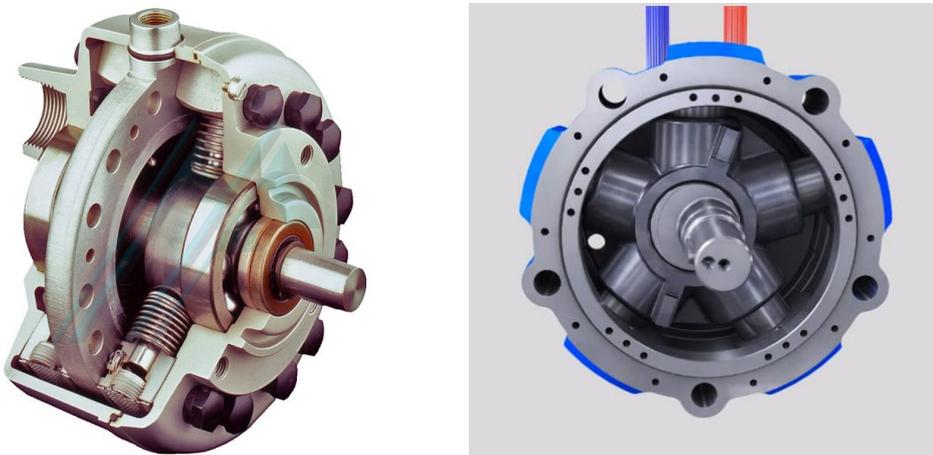


Figura 8: Motores de pistones radiales (*Hidraflex/Rotarypower*).

Pistones axiales En estos motores los pistones se disponen paralelos entre sí, lo que los hace mucho más compactos y fáciles de montar en las máquinas. Cada pistón actúa sobre un disco dispuesto cuasi ortogonal a los pistones, pero con un cierto ángulo de esviaje, lo que desvía la fuerza del pistón hacia el sentido radial, haciendo girar ese disco. Pueden ser de eje inclinado o de placa inclinada (figura 9).

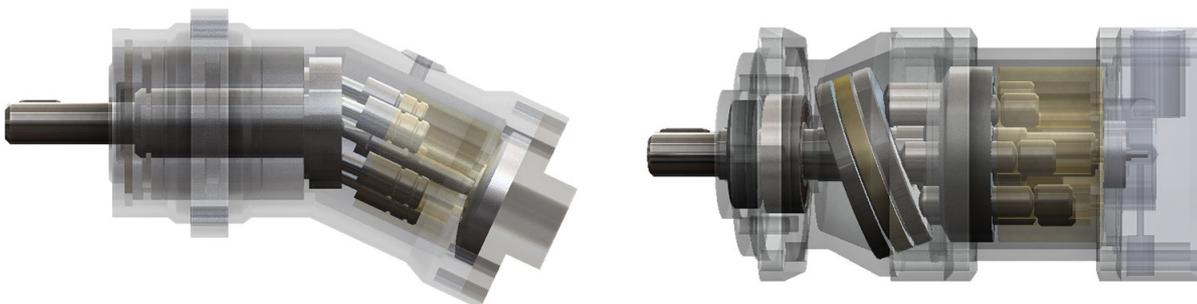


Figura 9: Motores de pistones axiales (www.hydraulic-calculation.com).

3.3. Motores rotativos

En estos motores el fluido circulante ve interrumpido su flujo por algún sistema (paleta o engraje), sobre el que ejerce fuerza para poder continuar avanzando. Esta fuerza es aprovechada para producir el giro de un eje.

Motor de paletas En el motor de paletas el fluido llega a una cámara creada en el espacio que hay entre una carcasa circular y un cilindro centrado en un eje excéntrico del que sobresalen unas paletas radiales. Entre los dos cilindros y las paletas se crean huecos en los que entra el fluido. Debido a la diferencia de superficie entre un lado y otro de la cámara, la presión genera una fuerza mayor a un lado que al otro. Esta fuerza hace girar al cilindro interior, con un determinado par. Cuando la cámara ha girado hasta otra posición alcanza la apertura de salida, y el fluido es devuelto.

El sistema requiere de un perfecto ajuste de las paletas contra la superficie del cilindro exterior, siendo este el punto más delicado y que más mantenimiento requiere. En motores hidráulicos el propio fluido es el lubricante, pero en los neumáticos eso no es así.



Figura 10: Motor de paletas.

Motor de engranajes exteriores En estos motores el elemento móvil es un par de engranajes que están situados en el interior de una carcasa. Uno de ellos está conectado al eje de salida, mientras que el otro puede girar libremente, pero no está conectado a nada.

Cuando entra el fluido en el interior de la carcasa, los engranajes crean un espacio cerrado en el que se produce la presión. Esta presión la reciben los engranajes en su plano, pero de forma desequilibrada. En el lado exterior hay una fuerza mayor que en el lado interior (ver figura 11), pues los dientes están engranados en la parte central. Esto genera fuerzas que hacen girar los engranajes, conduciendo el fluido hacia el orificio de salida.

Motores de engranajes interiores En estos motores el elemento móvil es un par de engranajes que están situados en el interior de una carcasa. Uno de ellos está conectado al eje de salida, mientras que el otro puede girar libremente sin está conectado a nada. Ambos engranajes están dispuestos de forma excéntrica, de manera que giran engranando solo por u lado.

Cuando entra el fluido en el interior de la carcasa, los engranajes crean un espacio cerrado en el que se produce la presión. Esta presión la reciben los engranajes en su plano, pero de forma desequilibrada. En el lado exterior hay una fuerza mayor que en el lado interior (ver figura 11). Esto genera fuerzas que hacen girar los engranajes, conduciendo el fluido hacia el orificio de salida.



Figura 11: Motor de engranajes exteriores.

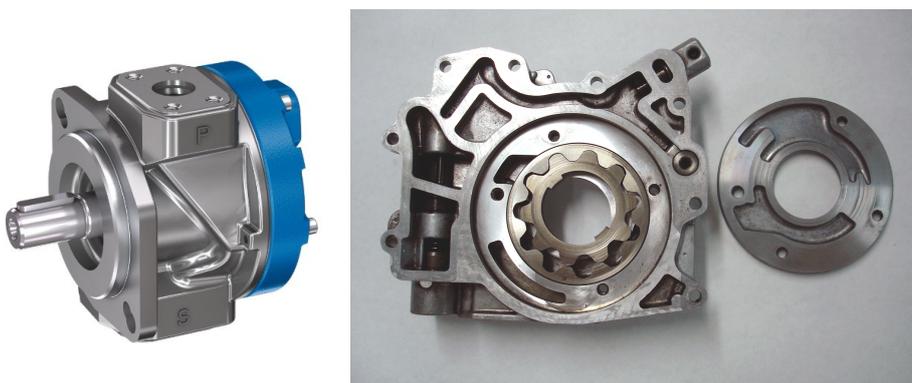


Figura 12: Motor de engranajes interiores.

Los motores de engranajes interiores son más pequeños y compactos que los de engranajes exteriores a igualdad de potencia y es más sencillo su montaje y desmontaje, pero no alcanzan tanta potencia.

4. Motores de explosión

Los motores de explosión funcionan aprovechando las presiones que se producen cuando un combustible se inflama en un espacio confinado. Cuando esto sucede, una mezcla de aire y combustible se convierte en un volumen de gas que ocupa un volumen mucho mayor, pero como aparece en ese espacio confinado, está a muy alta presión. Esa presión se utiliza para hacer girar un eje. Aunque existen otros tipos de motores de explosión (máquinas de combustión externa, turbinas, etc.), los que se montan en las máquinas de construcción son motores de explosión interna, que consisten uno o varios cilindros en cuyo interior desliza un pistón (figura 13). Dentro del cilindro se produce la ignición del combustible, lo que hace que el pistón se desplace por la gran presión que produce esa ignición.

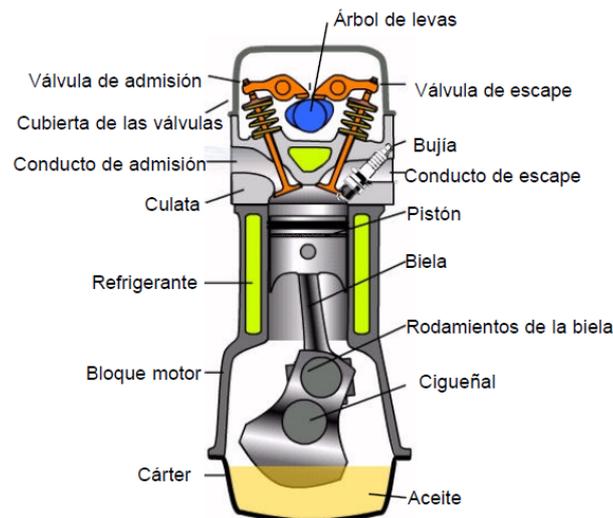


Figura 13: Partes de un motor de combustión interna (*Mundomotor*).

El pistón está unido de forma articulada con un pasador a una biela, que a su vez está unida de forma excéntrica a un eje denominado el cigüeñal, haciéndolo girar (figura 14). El cigüeñal tiene contrapesos que reducen vibraciones al reducir la excentricidad del centro de gravedad del conjunto, al tiempo que le proporcionan inercia para mantenerse girando de forma suave a pesar de que los pistones ejercen la presión de forma discontinua. Para mantener sellado el espacio entre el cilindro y el pistón, éste está abrazado por unas piezas anulares denominadas *segmentos*.

La apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape es totalmente mecánica. Las válvulas tienen forma de *trompeta*, y permanecen cerradas gracias a unos muelles que tiran de ellas. En el momento que deben abrirse, un resorte denominado *leva* presiona sobre ellas, venciendo la fuerza muelle. La válvula desciende abriendo un hueco. Las levas giran por la acción de un eje conectado al cigüeñal, denominado *árbol de levas*.

Los motores de explosión suelen tener varios cilindros, que están mecanizados en una pieza metálica denominada el bloque-motor, que suele ser de acero aleado ligero. La parte superior del motor, donde están los huecos para las válvulas, y en su caso los inyectores o las bujías se denomina *culata*, y es una pieza independiente del resto.

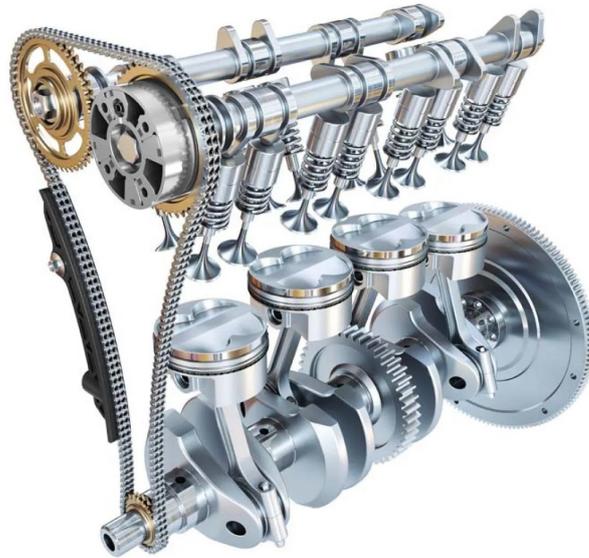


Figura 14: Cigüeñal, pistones, árbol de levas y válvulas (Mundicoche).

Lo normal son configuraciones de cuatro, seis u ocho cilindros, habiendo motores de muchos más, aunque los motores más pequeños tienen uno solo o dos. Los cilindros pueden ser verticales, estar inclinados e incluso estar tumbados. Así por ejemplo un motor V8 tiene ocho cilindros, estando cuatro de ellos inclinados en un sentido y los otros cuatro en el otro, un motor de seis cilindros en línea tendría seis cilindros verticales alineados uno a continuación del otro, y un motor *boxer* tiene cuatro cilindros tumbados en horizontal, dos a un lado y otros dos al otro lado.

La «cilindrada» del motor se mide como el volumen que desplazan los pistones dentro de los cilindros, es decir, el área de la sección del cilindro multiplicada por la distancia entre las extremas del pistón (*carrera* del pistón). Está directamente relacionada con su potencia, y a mayor volumen barrido por los pistones mayor expansión del combustible durante la ignición, y por tanto, mayor fuerza se estará aprovechando. El motor de la ficha que se muestra en la figura 19, por ejemplo, tiene una cilindrada de 12,7 litros, que se obtiene como el producto de la carrera del pistón por su sección y por el número de cilindros:

$$160 \times \frac{\pi 130^2}{4} \times 6 = 12.742.300 \text{ mm}^3 \simeq 12,7 \text{ l}$$

Los motores de explosión interna puede ser de *ciclo Otto* o de *ciclo Diésel*. Los primeros se alimentan con gasolina, y los segundos con gasoil. El funcionamiento de estos motores se basa en una secuencia de ciclos que se suceden de forma continua, pudiendo ser de dos o de cuatro tiempos. En los apartados que siguen se describen todos estos motores, de gasolina o diésel, y de dos o de cuatro tiempos.

4.1. Motores de gasolina de cuatro tiempos

En el cilindro, en el extremo opuesto al cigüeñal hay una o dos válvulas para la entrada del combustible mezclado con el aire –*válvulas de admisión*–, y una o dos válvulas para la salida de los gases de la combustión –*válvulas de escape*–. También hay un dispositivo que genera una chispa cuando recibe una descarga eléctrica, denominado *bujía*.

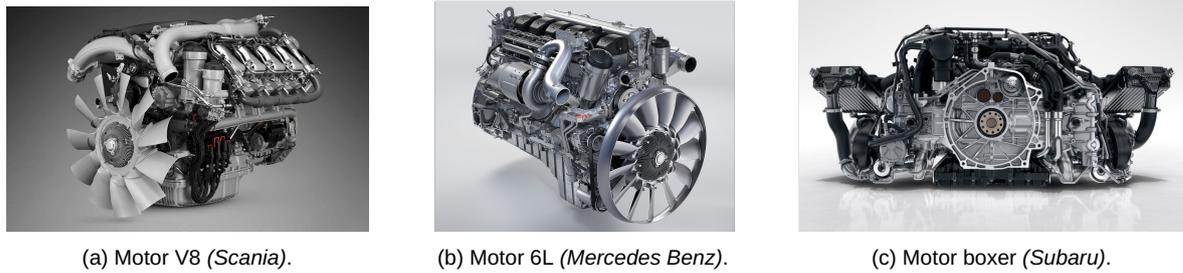


Figura 15: Diferentes configuraciones de motores.

El pistón repite una sucesión de cuatro movimientos en el interior del cilindro, denominadas fases, dos en cada dirección, y que son:

Admisión El pistón se desplaza hacia abajo dentro del cilindro aspirando la mezcla de gasolina y aire que entra por las válvulas de admisión, que están abiertas. este desplazamiento se produce porque el cigüeñal está girando gracias a la inercia que le dan los contrapesos que posee.

Compresión El pistón, una vez alcanza su recorrido máximo, es impulsado por el cigüeñal en un recorrido inverso al anterior. Las válvulas se cierran creando un espacio confinado dentro del cilindro, que se reduce por el movimiento del pistón, aumentando la presión de la mezcla.

Explosión Cuando el cilindro llega al final, y se alcanza la máxima compresión, la bujía recibe una fuerte descarga eléctrica, haciendo que salte una chispa entre sus electrodos. Esta chispa crea la ignición del combustible que está junto con el aire (que le proporciona el oxígeno para arder). Esta ignición genera un aumento súbito de la presión que empuja al cilindro de nuevo hacia abajo.

Escape El pistón asciende de nuevo, pero ahora se abren las válvulas de escape, y los gases que se acumulan dentro del cilindro salen hacia el tubo de escape.

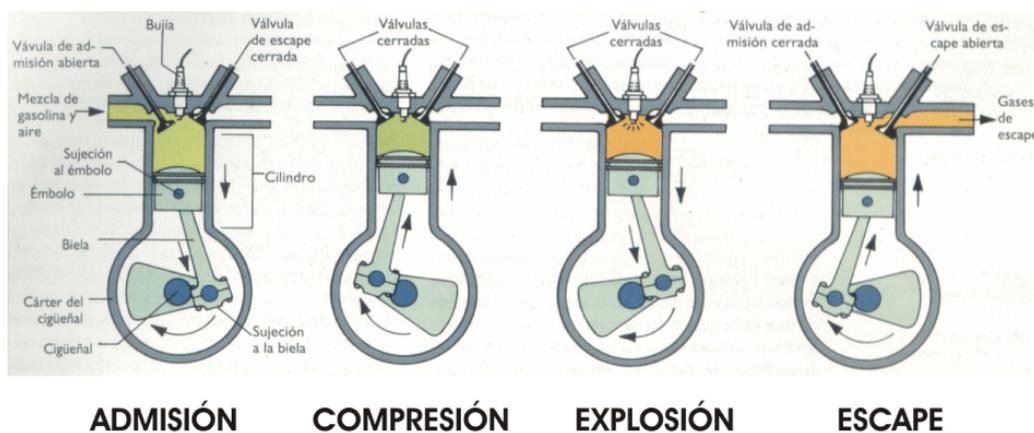


Figura 16: Fases de un motor de cuatro tiempos (Autonocion).

Inyección Para conseguir la mezcla de gasolina y aire existen dos tecnologías: los carburadores y los inyectores. En los primeros la mezcla de aire y gasolina se produce en una pieza denominada carburador. En el carburador, cuando un cilindro en la fase de admisión absorbe aire, éste pasa por un tubo que tiene un estrangulamiento. Debido al efecto venturi se produce una presión negativa,

que absorbe gasolina por un tubo muy estrecho que está conectado a ese estrangulamiento. Cuando el conductor acelera el motor lo que hace es aumentar la cantidad de gasolina que llega al venturi. Al aumentar la cantidad de combustible en la mezcla la explosión es más energética, y se aumenta la fuerza con la que el pistón hace girar el cigüeñal, haciendo que se acelere.

Sin embargo, este sistema puramente mecánico es poco eficaz, implica altos consumos de gasolina y empeora las cantidades de gases procedentes de la explosión (emisiones). Desde 1990 prácticamente todos los vehículos disponen de sistemas de inyección, en los que la gasolina se introduce en el aire mediante inyectores que suministran la cantidad necesaria de combustible en cada momento gracias a un sistema electrónico (inyección electrónica). Los inyectores son conductos que reciben el combustible presurizado, y que en el momento adecuado abren una válvula el tiempo necesario para dejar salir una cantidad controlada de combustible. En la punta hay una boquilla muy estrecha que pulveriza el líquido en la corriente de aire.

En función de la demanda de potencia que el conductor indica con el pedal del acelerador, de la velocidad de vehículo y del régimen de revoluciones al que está funcionando el motor se introduce la cantidad adecuada de gasolina, lo que permite optimizar el consumo de combustible. Si se quiere aumentar la potencia (para acelerar el vehículo por ejemplo), la cantidad de gasolina inyectada aumenta. La inyección puede producirse con un único inyector en el tubo de admisión (en el lugar en el que estaría el carburador), que sirve para para todos los cilindros (inyección monopunto), o con un inyector en cada cilindro (inyección multipunto o directa).

En ambos casos tanto el aire como la gasolina deben estar libres de partículas e impurezas para que no se obturen los conductos del carburador, y por esa razón los motores de explosión llevan filtros tanto para el aire como para la gasolina.

Encendido Las bujías no son más que un par de conductores de cobre que están situados a una distancia muy corta. Cuando aparece un potencial alto entre estos dos conductores se genera una chispa.

Para poder tener este potencial tan alto se pueden emplear bobinas de encendido y sistemas electrónicos (encendido electrónico). En el primer sistema se transforma la tensión de la batería del coche de 12V o 24V a varios miles de voltios con un electroimán que tiene dos juegos de espiras, el primario y el secundario. Cuando el circuito está cerrado la corriente pasa por el primario de la bobina e imanta un núcleo de hierro. Pero en el momento en que se quiere el pico de tensión, el circuito se abre por la acción de una leva (platino). En ese momento el hierro imantado induce una corriente en el secundario de la bobina, pero ahora la tensión es muy alta porque este devanado tiene muchas más espiras. El sistema cuenta también con un condensador que regula picos excesivos de tensión, y ayuda a aumentar la tensión de encendido.

En los sistemas modernos de encendido electrónico el sistema sustituye los platinos por un sistema de transistores que abren y cierran los circuitos en el momento adecuado. Se producen chipas más energéticas, y se puede adelantar o retrasar ligeramente el encendido de cada cilindro en función del ritmo del motor.

4.2. Motores de gasolina de dos tiempos

Los motores de gasolina de cuatro tiempos consiguen unir los tiempos dos a dos, de forma que en cada ciclo del pistón hay una fase de explosión. Para conseguirlo el motor de dos tiempos no lleva válvulas. Los orificios de admisión y escape están en los laterales del cilindro, y es la posición del piston la que los abre y cierra. Además, la admisión se produce a través del cigüeñal. Por ello estos motores se alimentan con una mezcla de gasolina y aceite lubricante. Este aceite se quema en el

motor, y por esta razón los gases de los motores de dos tiempos tienen siempre un color blanquecino y un olor característico.

Las fases se esquematizan en la figura 17. Son las siguientes:

- Pistón en expansión. Tras cada ignición de la mezcla el pistón desciende empujando el cigüeñal. Cuando ha descendido una cierta distancia se alcanza el orificio de escape, y el gas de la ignición puede salir. Cuando el pistón baja un poco más, se libera el orificio de admisión, y la mezcla de combustible comienza a entrar en el cilindro impulsada por el cigüeñal donde estaba almacenado. Ambos orificios, admisión y escape están situados en posiciones opuestas en el cilindro, y el cilindro tiene una forma que facilita todo el proceso.
- Pistón en contracción. Cuando el descenso se ha completado el pistón comienza a ascender, cerrando los orificios anteriores en orden inverso. Primer se cierra la admisión, después el escape, y entonces comienza la compresión. Cuando el pistón está en la parte superior del cilindro libera la entrada de mezcla hacia el cigüeñal, donde se almacena para la siguiente fase.

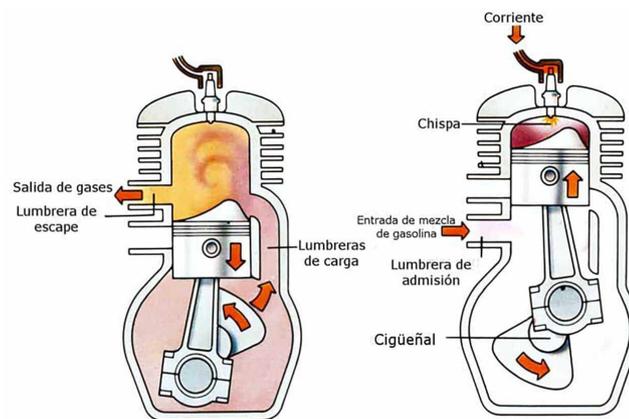


Figura 17: Fases de un motor de dos tiempos (*Autonocion*).

La preparación de la mezcla combustible-aire y el encendido con bujías son iguales que en los motores de cuatro tiempos.

Los motores de dos tiempos son menos eficaces porque no llevan válvulas, que cierran mejor. Además necesitan doble lubricación y queman aceite¹. La acumulación de gases de escape que no se expulsan completamente ensucia las bujías, que funcionan peor. Además, la mezcla de combustible para cada fase y los gases de la combustión de la fase anterior se mezclan en el cilindro, por lo que la combustión es más pobre y no se aprovecha bien la capacidad de la gasolina. No obstante, al no tener fases muertas pueden funcionar con muy pocos cilindros (con uno solo incluso), y eso los hace muy adecuados cuando se necesita ligereza.

4.3. Motores diésel

En los motores de explosión de ciclo Diesel se utiliza gasoil como combustible. Al igual que los motores de gasolina, los motores diésel también pueden ser de dos o de cuatro tiempos, siendo el esquema de tiempos el mismo que en un motor de gasolina.

¹De hecho los gases que se producen al quemar aceite hacen que no sean capaces de cumplir la normativa europea de emisiones para ciclomotores, motocicletas o embarcaciones náuticas, por lo que han dejado de usarse en estas máquinas.

La principal diferencia es que en estos motores no es necesario una chispa para causar el encendido. En la fase de admisión solamente entra aire en el cilindro, y en el momento de máxima compresión se inyecta al gasoil, que arde rápidamente al entrar en contacto con el aire presurizado y muy caliente.

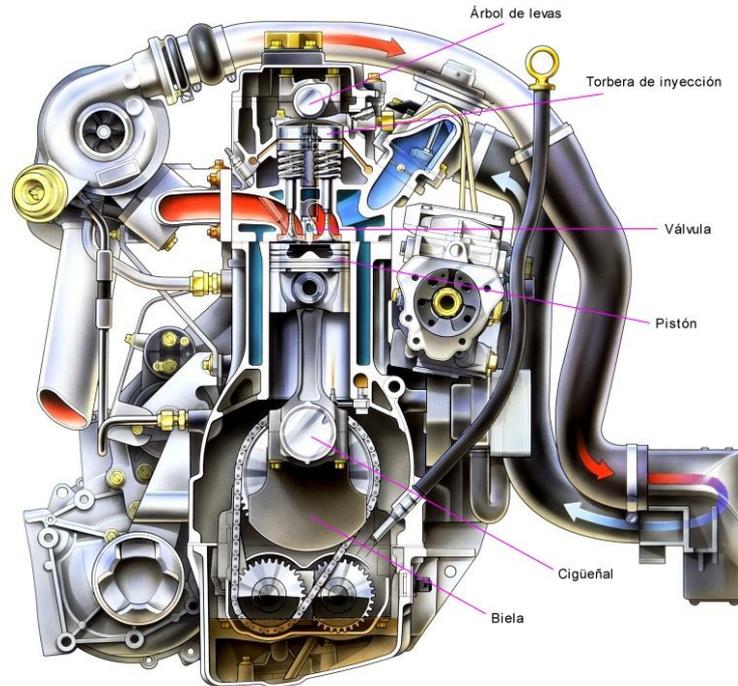


Figura 18: Esquema de un motor diesel (Ro-des)

Los motores diesel trabajan con relaciones de compresión mayores que los de gasolina, es decir, la presión que se produce en los cilindros para accionar el movimiento de los pistones es superior, y proporcionan más par motor a menos revoluciones. Además hoy en día son siempre turboalimentados, esto es, el aire que entra a los cilindros ha sido previamente comprimido por una turbina accionada por los gases de escape, que en estos motores salen a muy alta temperatura y presión. De este modo la cantidad de oxígeno presente en cada ignición es más alta que si el aire entra a la presión atmosférica (motores atmosféricos), y esto aumenta todavía más la presión, y el par motor. El motor que se muestra en la figura 18 lleva el turbo en la parte superior izquierda.

5. Potencia y par motor

Los dos parámetros que definen un motor son la *potencia* máxima que es capaz de desarrollar, y la fuerza que es capaz de ejercer, que en el mundo de los motores se denomina *par motor* o *torque*.

5.1. Potencia

La potencia se define como el trabajo que se hace por unidad de tiempo. En el Sistema Internacional de Unidades se mide en *watios*, que corresponde a un *julio* por segundo, es decir, levantar un kilogramo fuerza a una altura de un metro en un segundo.

Sin embargo, en el mundo de los motores la potencia se mide con frecuencia en *caballos de vapor*. Hay dos versiones del caballo de vapor:

- Caballo de vapor alemán (CV): 75 kilogrametros por segundo. Un kilogrametro es la fuerza necesaria para elevar un kilogramo a un metro de altura, luego:

$$1\text{CV} = 75\text{g} = 735.5\text{W}$$

- Caballo de vapor inglés (HP *horse power*): 550 pies por libra y segundo. Equivale a 1.011385CV (745.685W).

Con frecuencia se habla de «caballos» sin especificar, aunque lo que debe ser normal es que se defina la potencia en CV o en HP, para evitar confusiones. Hoy en día cada vez más se tiende más a dar las potencias en kilowatios (kW) además de en caballos de vapor. Por ejemplo, la figura 19 muestra la ficha técnica de un motor, en la que se da la potencia del motor en varias unidades.

Datos técnicos de DC13 370 – 450 CV

	DC13 162 370 CV	DC13 163** 410 CV	DC13 164** 450 CV
Tipo	En línea		
Cilindrada	12,7 litros		
Orden de encendido	1-5-3-6-2-4		
Cilindros	6		
Válvulas por cilindro	4		
Diámetro x carrera	130 x 160 mm		
Compresión	23.0:1		
Inyección de combustible	Scania XPI		
Control de emisiones	Scania SCR		
Freno de escape	242 kW a 2.400 r/min		
Capacidad de aceite	40 litros		
Potencia máxima	370 CV (272 kW) a 1.800 r/min	410 CV (302 kW) a 1.800 r/min	450 CV (331 kW) a 1.800 r/min
Par máximo	1.900 Nm a 900-1.340 r/min	2.150 Nm a 900-1.340 r/min	2.350 Nm a 900-1.340 r/min

Figura 19: Cuadro de características técnicas de un motor (*Scania*)

Parte de la energía que consumen los motores se malgasta en cuestiones tales como fricciones y rozamientos entre las partes móviles, compresiones de gases que se calientan, vibraciones parásitas, accionamiento de accesorios, etc. Esto hace que no toda la energía que consumen para funcionar se convierte en giro en el eje de salida. Así aparece el concepto de *rendimiento*, que se define como la cantidad de trabajo que es capaz de hacer respecto a la energía que consume para su funcionamiento. Matemáticamente el rendimiento sería:

$$\mu = \frac{W_{\text{util}}}{W_{\text{abs}}} < 1 \quad (1)$$

Un motor eléctrico trabajando en el rango óptimo (el régimen de revoluciones para el que ha sido diseñado) puede proporcionar un rendimiento del 75 %, llegando en algunos vehículos eléctricos al 90 %. Un motor de gasolina viene a tener una eficiencia de entre el 20 % y el 30 %, en el mejor de los casos. Un motor diésel viene a tener una eficiencia de entre el 30 % y el 45 %, siendo ese 45 % el caso de motores diésel navales, diseñados para un rango de velocidades muy concreto.

5.2. Par motor

Otro de los aspectos que se emplean para conocer las prestaciones de un motor está relacionado con la fuerza máxima que es capaz de proporcionar. La fuerza es en realidad lo que se mide en los

bancos de prueba, cuando se hace actuar el motor contra un dinamómetro que lo frena, midiendo la fuerza de frenado que el motor es capaz de vencer.

Como los motores dan la fuerza mediante el giro de un eje o de un volante (rueda de engranaje), la fuerza que proporcionan es un momento, un par de fuerzas que se denomina *par motor*. A igualdad de potencia, el par motor depende del número de revoluciones al que gira el motor, y la relación entre ambos viene dada por la expresión:

$$P = \frac{M\omega}{716} \quad (2)$$

siendo ω la velocidad de giro en revoluciones por minuto (rpm). El par motor tiene dimensiones de par, es decir, fuerza por distancia (se suele dar en Nm). Dentro de las especificaciones de los motores es normal recoger este dato (ver figura 19) para diferentes velocidades.

5.3. Medida de la potencia

Para medir la potencia que proporciona un motor se utilizan dinamómetros que ofrecen una resistencia controlada al giro del mismo (figura 20), de modo que se puede saber el par motor que éste desarrolla. Conociendo las revoluciones, es posible saber la potencia que suministra gracias a la expresión 2 anterior.



Figura 20: Motor en un banco de pruebas conectado al dinamómetro (*Dyno Plus*).

Existen diferentes regulaciones y diferentes formas de hacer este tipo de ensayos, pero básicamente, se pueden hacer mediciones para obtener tres tipos de potencias:

Potencia bruta Mide la potencia sin los accesorios conectados al motor (alternador, bomba de agua, ...), en un ensayo mantenido durante un tiempo determinado. Cuando los fabricantes proporcionan la potencia SAE de un motor se refieren a la potencia bruta, aunque hay normas SAE que miden otras potencias.

Potencia máxima Como la bruta, se mide la potencia sin accesorios conectados, pero se busca la potencia de pico que el motor puede alcanzar, aunque no de forma mantenida. Suele ser la potencia ISO que proporcionan los fabricantes.

Potencia neta Se mide la potencia con los accesorios necesarios para que el motor funcione de forma autónoma (bomba de combustible, filtros, refrigeración, ...). Suele ser la que los fabricantes denominan potencia DIN. Es un 5-20% inferior a las SAE o ISO.

6. Componentes mecánicos

6.1. Transmisiones

En las máquinas automótiles los motores proporcionan un par que debe ser conducido a los sistemas de rodaje para producir el desplazamiento de la máquina. Esto se consigue gracias a las transmisiones, que pueden ser de cuatro tipos:

- Transmisión eléctrica
- Transmisión hidrostática
- Transmisión mecánica o transmisión directa
- Transmisión hidrodinámica

En las transmisiones eléctricas el motor principal de la máquina acciona un generador eléctrico. Este generador produce la electricidad con la que se alimentan motores eléctricos conectados a las ruedas motrices de la máquina. Se usa en ferrocarriles, en buques (para accionar las hélices) y en la gran maquinaria de minería (dumpers).

Las transmisiones hidrostáticas funcionan de un modo similar al anterior, pero aquí se sustituye el generador por una bomba de aceite, y los motores eléctricos por motores hidráulicos (figura 24). Este tipo de transmisiones son frecuentes en las máquinas de obras públicas que no tienen que alcanzar grandes velocidades, como son los bulldozer, las palas cargadoras, las motoniveladoras, las excavadoras, etc.. Si la máquina se desplaza con cadenas el maquinista puede accionar unos motores u otros para producir una tracción variable, lo que da la dirección a la máquina. Además, el sistema hidráulico acciona las herramientas de la máquina, como es un dozer, el brazo de una excavadora, etc.

En las transmisiones directas el giro del volante del motor se transmite a las ruedas mediante ejes y engranajes (figura 22). El motor (1) está conectado mediante un *embrague* (2) a una *caja de cambios* (3). De la caja de cambios el giro se transmite a un eje (*palier*) hasta un sistema de *engranajes cónicos diferenciales* (5) hasta que llega finalmente a las ruedas (6).

Las transmisiones hidrodinámicas son similares a las anteriores, pero sustituyen el embrague por un convertidor de par, y la caja de cambios por un sistema de engranajes planetarios.

En los apartados que siguen se detallan estos elementos.

Embrague El embrague tiene como función independizar el giro del motor del giro de las ruedas. Cuando el vehículo está detenido o cuando se está cambiando la marcha, es necesario que el giro del motor no se detenga, pero este giro no debe llegar al resto de la transmisión.

El embrague está formado por tres discos de material abrasivo, uno conectado al volante del motor (gira solidario con el motor), otro conectado al resto de la transmisión, y un tercero que puede

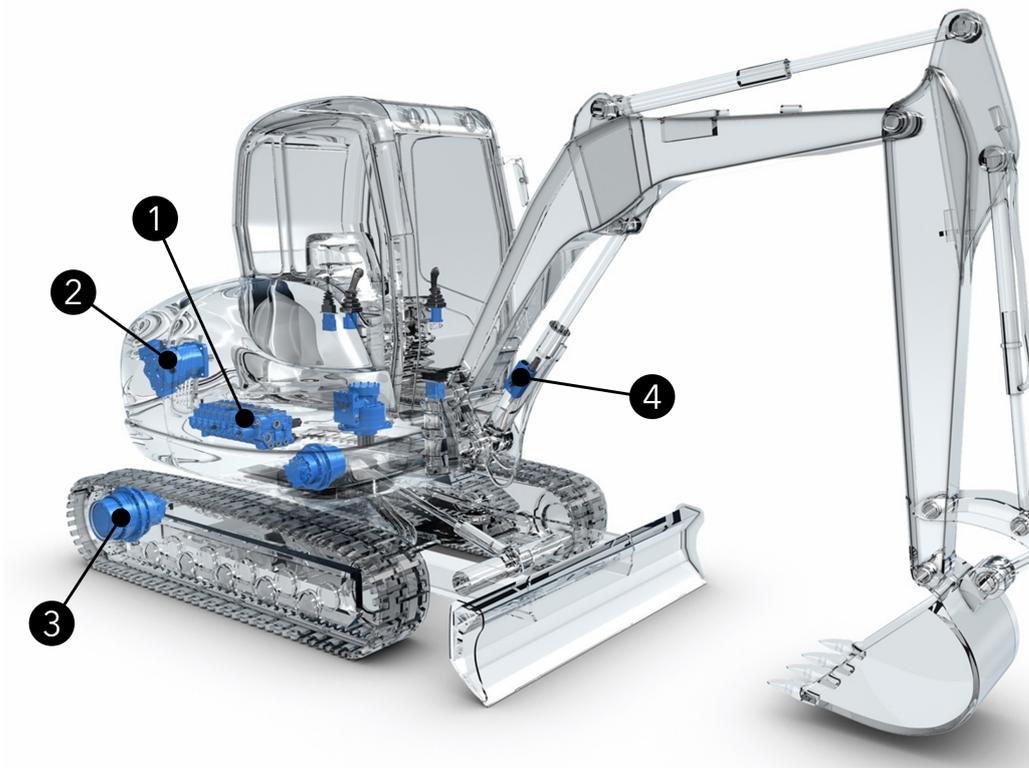


Figura 21: Elementos de una transmisión hidrostática: (1) motor principal; (2) bomba; (3) motor hidráulico; (4) hidráulicos para accionamiento de herramienta.

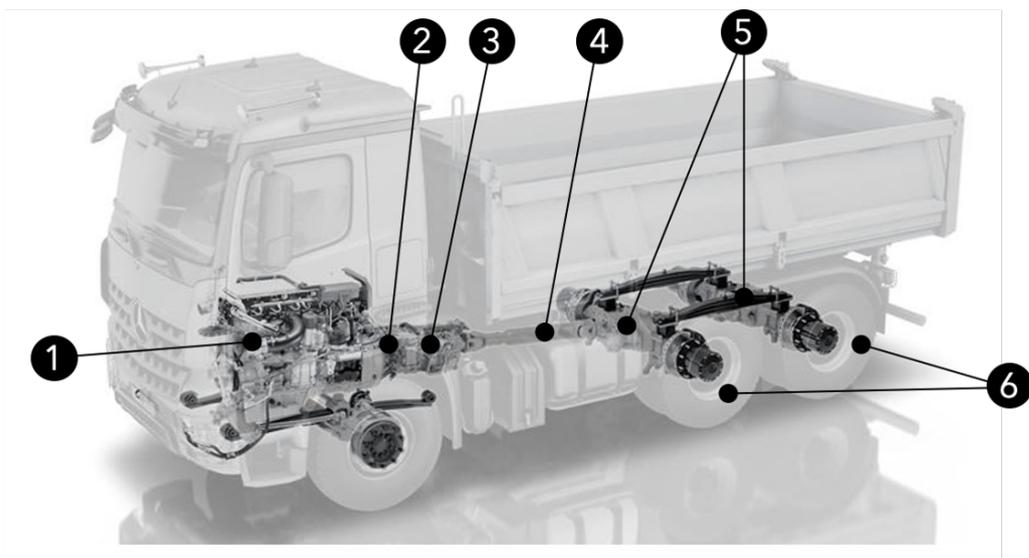


Figura 22: Elementos de una transmisión mecánica o hidrodinámica.

presionar a los otros dos o puede no hacerlo. En condiciones normales, el tercer anillo presiona a los otros dos, y por tanto giran solidariamente transmitiendo el giro del motor al resto de la transmisión. Pero cuando el conductor pisa un pedal (pedal del embrague) el tercer disco se separa, lo que hace que se separen también los otros dos por un sistema de muelles. En ese momento el giro de esos anillos se independiza, y el motor queda desconectado del resto de la transmisión.



Figura 23: Los tres discos de un embrague (*Diariomotor*).

Caja de cambios La caja de cambios consiste en un juego de engranajes de diferentes diámetros que tienen por misión aumentar o reducir las revoluciones de giro que llegan a las ruedas respecto a las que lleva el motor. Si las revoluciones de giro se reducen en la caja de cambio (marchas cortas) el par motor aumenta pero obviamente la velocidad de avance del vehículo se reduce. Al contrario, si se aumenta el régimen de revoluciones (marchas largas) la velocidad del vehículo aumenta, pero el par motor (la fuerza de arrastre) se reduce. El rango de velocidades de las ruedas es muy amplio, pudiendo variar desde 0 (vehículo detenido) a más de 530 revoluciones por minuto a 80 km/h. Sin embargo un motor funciona en el entorno de las 1300 rpm, con una horquilla muy baja, por lo que en función de la velocidad a la que vaya el vehículo habrá que reducir esa velocidad más o menos.

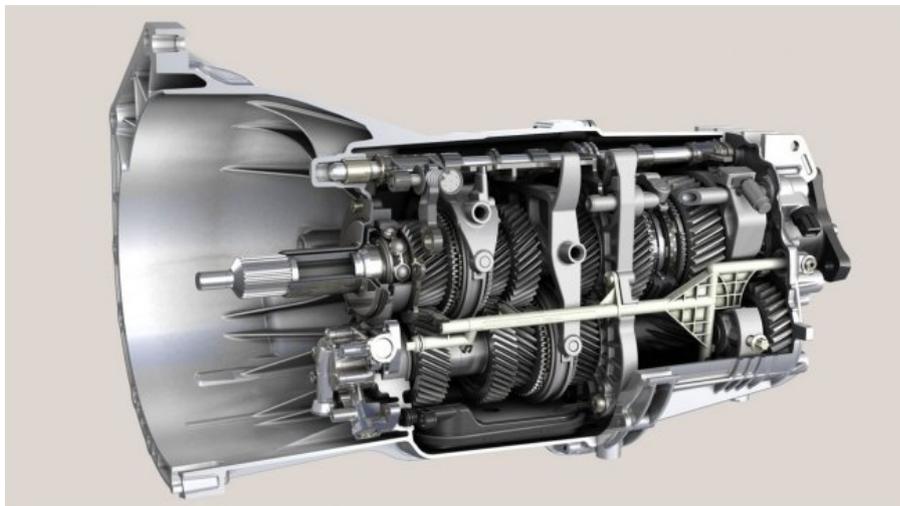


Figura 24: Caja de cambios (*motor.es*).

La caja de cambios consiste en una carcasa rellena de líquido lubricante denominado *valvulina*. En su interior hay dos ejes paralelos, cada uno con una sucesión de engranajes colocados de manera

que entre los engranajes de ambos ejes están conectados dos a dos. En el primer eje que sale del embrague los engranajes están fijos al eje, pero en el segundo, que sale hacia las ruedas, los engranajes giran libremente. En cada uno de ellos hay un disco dentado (*sincronizado*) que puede hacer que el engranaje y el eje se unan o no. Cuando el conductor selecciona una marcha, el disco de ese engranaje se acerca al engranaje y lo conecta al eje de salida. Entonces el giro del motor pasa a las ruedas a través de los dos engranajes que en ese momento estén en contacto.

Cuanto menor es el engranaje del eje primario mayor es el del eje secundario, por lo que la velocidad de giro se reducirá, y por tanto se trata de una marcha corta. Una de las marchas lleva un engranaje adicional entre el eje primario de entrada y el de salida, lo que permite cambiar el sentido de giro. Este engranaje requiere que el vehículo esté detenido para ser accionado (marcha atrás).

Convertidor de par En las transmisiones hidrodinámicas no hay una conexión mecánica entre el motor y las ruedas. En su lugar hay un dispositivo denominado *convertidor de par*. El convertidor de par consiste en un recipiente relleno de líquido de transmisión (*valvulina*). Unida al eje del motor hay una turbina, es decir, un disco con álabes que al girar por la acción del motor hace girar el líquido. La fuerza centrífuga que produce el giro lo lanza hacia el exterior, contra la carcasa, que con su forma toroidal lo hace salir hacia adelante. Paralela a la turbina y un rotor, que es como la turbina pero dispuesta de forma simétrica. El rotor está unido al eje de salida. Cuando los álabes del rotor reciben la presión del líquido que ha sido lanzado por la turbina, aparece en ellos una fuerza que los hacen girar. El giro del motor entonces llega al eje de salida a través del conjunto turbina-líquido-rotor. El líquido pasa por los álabes del rotor, y entra en su parte central, por donde vuelve hacia la turbina para volver a ser despedido por el giro de ésta.

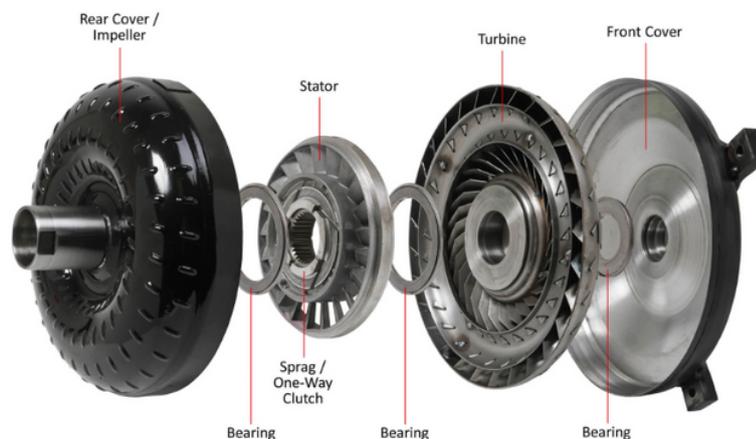


Figura 25: Convertidor de par (*dentontransmissions*).

Pero además, en un convertidor de par hay otra pieza intermedia denominada estátor (figura 25), que no está unida a ningún eje y puede girar libremente. La misión del estátor es la siguiente: cuando el eje de salida tiene una resistencia que vencer, y se frena, el líquido que recibe el rotor desde la turbina golpea contra sus álabes, pero no con suficiente fuerza para hacerlo girar. Cuando llega al interior del rotor y vuelve hacia la turbina pasa por el estátor, que gracias a sus álabes inclinados le cambia la dirección, lanzándolo contra los álabes de la turbina. Esto aumenta la presión del fluido que llega a la turbina, por lo que es lanzado a más presión por ésta contra el rotor, aumentando la fuerza que se ejerce sobre él.

Cuando turbina y rotor giran a revoluciones parecidas el estátor no hace ninguna función, pues el propio fluido lo atraviesa sin apenas efecto con sus álabes, pero a medida que el rotor se frena el estátor hace que aumente la fuerza que se ejerce en el rotor. Gracias al estátor, por tanto, el efecto del convertidor de par es que cuanto mayor es la diferencia de revoluciones entre el eje de entrada

(procedente del motor) y el de salida, mayor es el par que se ejerce sobre éste último, y de ahí su nombre.

Sistema planetario En las transmisiones hidrodinámicas la reducción de revoluciones del motor no se consigue con el convertidor de par. Es necesario un cambio de marchas, pero ahora en lugar de una caja de cambios convencional se emplean sistemas de engranajes planetarios. Los engranajes planetarios constan de un sistema de engranajes de tres tipos: el central (sol), el planetario y la corona (figura 26).

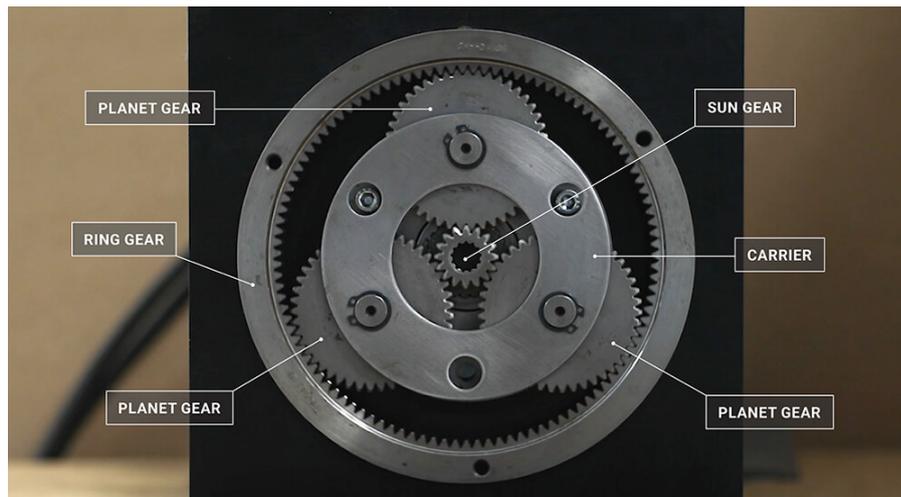


Figura 26: Sistema de engranajes planetarios (*Lancerea*).

Un sistema planetario tiene tres ejes, uno al engranaje central, otro al disco que une los planetarios, y el tercero a la corona. Éstos pueden conectarse de diferentes formas para conseguir diferentes relaciones de cambio. Por ejemplo si se hace girar la corona y se fija el engranaje central, el disco de los planetarios girará en el mismo sentido que la corona pero más despacio, con una reducción de velocidad pero con un aumento del par. Lo mismo sucede si se fija la corona y se hace girar el eje central. La diferencia será la relación de cambio que resulte, que es función del diámetro de los engranajes. Incluso si se fija el disco de planetarios y se conseguirá invertir el sentido de giro (marcha atrás).

Los vehículos con transmisión hidrodinámica suelen montar varios sistemas planetarios en serie (figura 27), con diámetros de engranajes diferentes, consiguiendo así muchas combinaciones de relaciones de cambio posibles. La elección de la configuración en cada momento depende de un sistema electrónico que va conectando unos ejes a otros mediante un sistema de pequeños embragues.

Grupo cónico diferencial El grupo cónico diferencial es el encargado de repartir el giro que llega del motor entre las ruedas. Para ello tiene unos engranajes con forma cónica hacen que la dirección de giro cambie de ser longitudinal a transversal. Pero además, este sistema de engranajes permite que la fuerza se distribuya entre las dos ruedas de un eje, para que una gire más rápido que la otra en el caso de una curva por ejemplo.

Como se ve en la figura 28, el piñón hace girar la corona gracias a la fuerza que llega del motor. La corona está unida al eje de una de las ruedas, mientras que a la rueda del otro extremo el giro le llega a través de los cuatro engranajes cónicos: los dos planetarios, uno solidario al otro palier y otro libre, y los dos satélites que están articulados en el bastidor de la corona. Durante un giro del vehículo la rueda que circula por el interior debe girar más despacio que la contraria. En ese momento los dos engranajes satélites empiezan a girar, debido a la diferencia de par que se produce entre ambos

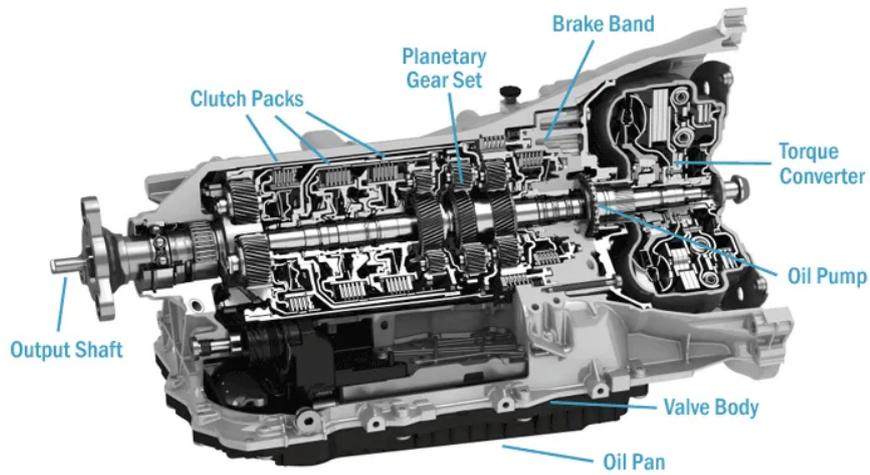


Figura 27: Transmisión hidrodinámica completa (*Engineeringchoice*).

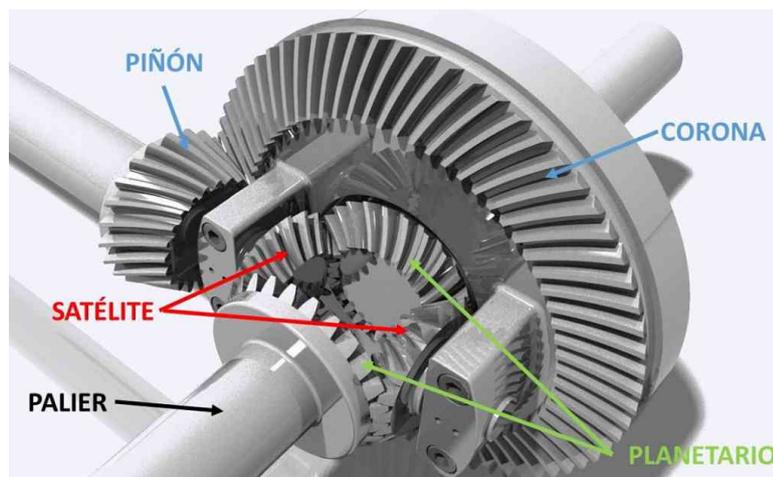


Figura 28: Grupo cónico diferencial (*gascommunity*).

palieres. Esto hace que el giro de los planetarios sea diferente, uno más rápido y otro más lento. El sistema es totalmente mecánico, y el propio equilibrio de fuerzas que se debe alcanzar hace girar los satélites en el sentido y la velocidad que proporciona equilibrio al conjunto.

Este sistema evita el desgaste de neumáticos en las curvas, pero es un problema para la tracción cuando se circula en suelos resbaladizos. Cuando el diferencial está activo la rueda que no encuentra agarre al suelo es la única que gira, las demás no giran, y el vehículo se queda sin tracción. Por eso, los vehículos que circulan en modo 4x4 no pueden tener activos los diferenciales. En estos vehículos el conductor suele poder elegir entre el diferencial activo o bloqueado, en función del tipo de pavimento sobre el que circula. Cuando está bloqueado, el giro llega por igual a todas las ruedas motrices, lo que garantiza tracción en todo momento.

6.2. Trenes de rodaje

Los trenes de rodaje son los elementos que, estando en contacto con el suelo, le proporcionan tracción y dirección. Pueden ser de dos tipos: de cadenas o de neumáticos.

Cadenas Los trenes de cadenas están formados por un conjunto de ruedas en el bastidor que se apoyan en una cinta de eslabones, o en una banda de goma, a la que está engranada una rueda motriz denominada cabilla. Las cadenas de eslabones metálicos no pueden circular por superficies pavimentadas. En algunas máquinas pequeñas se usan cadenas de goma que sí pueden pisar pavimentos. Cuando la cabilla recibe el par del motor y gira obliga a los eslabones a pasar por ella, pero como están formando un circuito cerrado, y en una parte están apoyadas en el suelo con el que friccionan, el único movimiento posible es el avanza (o retroceso) de la máquina.

El conjunto está formado por las siguientes partes (figura 29):

- Bastidor (1): unido al chasis del vehículo es una pieza rígida a la que están unidos los ejes de las ruedas
- Rueda guía(2): Las dos ruedas de los extremos permiten el giro de los eslabones para formar un circuito cerrado. Una de ellas está unida a un sistema que la presiona para estirar la cadena y mantenerla tensa.
- Tensor (3): es un pistón hidráulico o un muelle que actúa contra la rueda tensora. En el primer caso actúa mientras la máquina está en funcionamiento.
- Cabilla(4): es la rueda dentada engranada en los eslabones de la cadena que los hace moverse cuando gira accionada por el motor de la máquina. Si la cadena se emplea solamente para desplazar la máquina es la ruda opuesta a la rueda tensora (*sprocket bajo*). En las máquinas que deben ejercer empuje (bulldozers), está situada por encima del tensor (*sprocket alto*) para que la fuerza se transmita a la cadena a una altura similar a la de acción del empuje y reducir los esfuerzos sobre el chasis de la máquina.
- Rodamientos (5): en la parte inferior del bastidor los rodamientos son ruedas más pequeñas que cargan contra la parte inferior de la cadena para repartir el peso del vehículo.
- Eslabones (6): son piezas que se articulan unas a otras para formar la cadena cuando ésta es metálica. Esa articulación se logra mediante casquillos lubricados.
- Zapatas (7): En algunos modelos los eslabones llevan unida una pieza plana con resaltes denominada *zapata*, que es la que entra en contacto con el suelo y proporciona el apoyo y agarre a la máquina. De este modo las zapatas pueden ser sustituidas sin necesidad de desmontar la cadena. Hay modelos en los que la zapata y el eslabón forman una sola pieza.

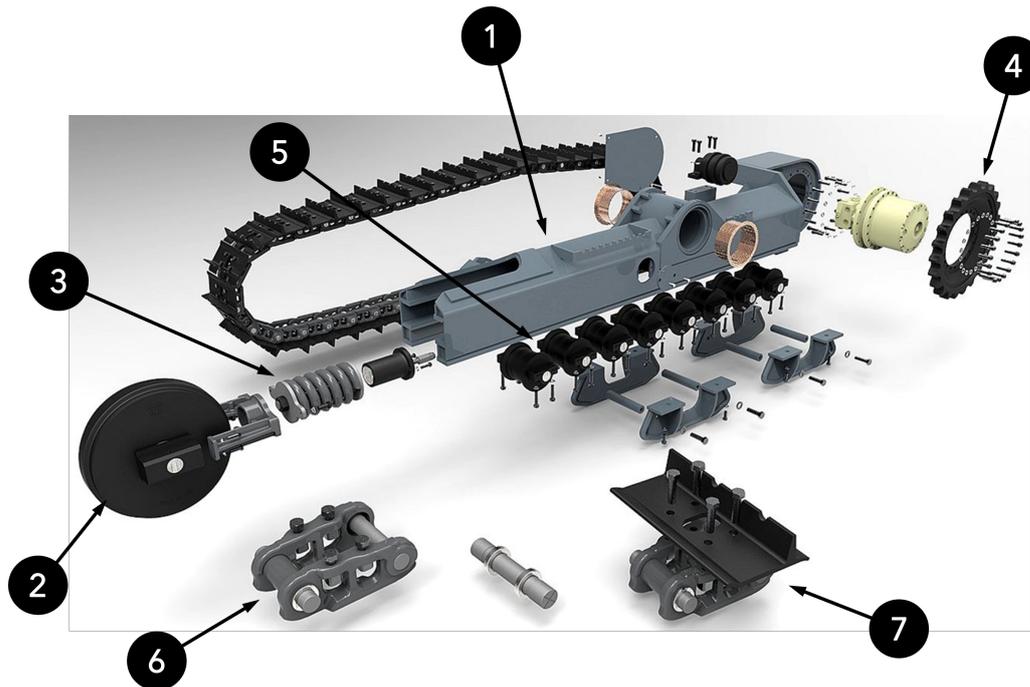


Figura 29: Partes de un tren de rodaje de cadenas.

Las ventajas de los sistemas de cadenas son su mayor agarre al terreno, lo que mejora su tracción incluso en suelos blandos, y el mejor asiento sobre el suelo. Al no llevar amortiguación pueden operar sin necesidad de calzos. Esto es muy útil en máquinas como las excavadoras, o las pilotadoras, por ejemplo. Otras máquinas aprovechan su capacidad de tracción, como los bulldozers, tanto empujando como ripando, o las palas cargadoras de cadenas, que tienen más capacidad de carga que las de neumáticos cuando el material no está suelto.

Por contra, no pueden circular a grandes velocidades, y no pueden circular sobre superficies pavimentada porque las destrozan. Solo las máquinas con cadenas de goma pueden pisar pavimentos, por lo que se usan en obras urbanas (figura 30).

Neumáticos Los neumáticos son elementos fabricados en cauchos sintéticos y materiales sintéticos textiles en capas superpuestas que se colocan alrededor de una llanta metálica. Los cauchos se endurecen mediante un tratamiento químico y térmico denominado *vulcanización*, que además adhiere la goma a los demás materiales.

Normalmente son huecos y se llenan de aire presurizado en su interior para darles forma, aunque pueden usarse otros gases (normalmente nitrógeno). Pueden también ser macizos, o pueden llenarse de agua para hacerlos servir de lastre. Suelen llevar unos alambres en su interior a los que se denomina *armadura*.

Algunos llevan en el espacio entre el neumático y la llanta una pieza de goma con forma toroidal denominada *cámara*, que es la que contiene el aire. Este sistema está en desuso y hoy en día casi todas las máquinas de neumáticos los llevan sin ella (emphtubeless).

La parte exterior es la cubierta, y es la que está en contacto con el suelo. Puede ser lisa (figura 31a), como en algunos tipos de compactadores, pero normalmente se ranura creando acanaladuras. En función del uso y las condiciones de trabajo se determina el espesor de la cubierta, y la forma de las acanaladuras. Por ejemplo, para transitar por suelos duros y abrasivos se usan espesores gruesos y acanaladuras grandes (figura 31b), o incluso se fabrican con gruesos resaltes, a veces formando *tacos* (figura 31c) que mejoran el agarre y la resistencia a la abrasión (dumpers). Si son



Figura 30: Máquina con cadenas de goma (JCB).

neumáticos de dirección (figura 31d) se prefiere la acanaladura longitudinal (motoniveladoras) y si son de tracción mejor la transversal (figura 31e), que proporciona más agarre. Si van a circular a altas velocidades (camiones viarios) las acanaladuras son más pequeñas y dispuestas en diagonal en el sentido adecuado para que ayuden a expulsar el agua en caso de pavimento mojado (figura 31f), y la cubierta es más delgada. Si son máquinas remolcadas se suelen usar acanaladuras cruzadas en diagonal formando *botones* (figura 31g).

Los neumáticos tienen un sistema de numeración estandarizado que se usa en todo el mundo. Está formado por una secuencia de números y letras con el siguiente significado:

BBB/RR AXX YYY T

- BBB: Anchura del neumático en mm
- RR: Relación de aspecto, es decir, proporción entre el ancho y el canto del flanco del neumático.
- A: Estructura del armado. Puede ser «R» radial, «D» diagonal o «B» de cintas opuestas.
- XX: Diámetro de la llanta en pulgadas (diámetro interno del neumático).
- YYY: Factor de carga. Si hay dos dígitos separados por una barra «/» se refiere a la carga máxima por neumático para montaje en ejes con un neumático en cada extremo, y con dos neumáticos en cada extremo respectivamente.
- T: Índice de velocidad.

El factor de velocidad y el índice de carga están tabulados, y definen las condiciones de uso máximas –velocidad (tabla 1) y carga por rueda (tabla 2)– para las que el neumático está fabricado.

Así por ejemplo, el neumático de la figura 32 es un 195/55 R16 87V tendrá las siguientes dimensiones:



Figura 31: Tipos de acanaladuras en neumáticos.

Tabla 1: Carga máxima por neumático para cada índice de carga.

Ind. carga	Kg	Ind. carga	Kg	Ind. carga	Kg	Ind. carga	Kg	Ind. carga	Kg
50	190	80	450	110	1060	140	2500	170	6000
51	195	81	462	111	1090	141	2575	171	6150
52	200	82	475	112	1120	142	2650	172	6300
53	206	83	487	113	1150	143	2725	173	6500
54	212	84	500	114	1180	144	2800	174	6700
55	218	85	515	115	1215	145	2900	175	6900
56	224	86	530	116	1250	146	3000	176	7100
57	230	87	545	117	1285	147	3075	177	7300
58	236	88	560	118	1320	148	3150	178	7500
59	243	89	580	119	1360	149	3250	179	7750
60	250	90	600	120	1400	150	3350	180	8000
61	257	91	615	121	1450	151	3450	181	8250
62	265	92	630	122	1500	152	3550	182	8500
63	272	93	650	123	1550	153	3650	183	8750
64	280	94	670	124	1600	154	3750	184	9000
65	290	95	690	125	1650	155	3875	185	9250
66	300	96	710	126	1700	156	4000	186	9500
67	307	97	730	127	1750	157	4125	187	9750
68	315	98	750	128	1800	158	4250	188	10000
69	325	99	775	129	1850	159	4375	189	10300
70	335	100	800	130	1900	160	4500		
71	345	101	825	131	1950	161	4625		
72	355	102	850	132	2000	162	4750		
73	365	103	878	133	2060	163	4875		
74	375	104	900	134	2120	164	5000		
75	387	105	925	135	2180	165	5150		
76	400	106	950	136	2240	166	5300		
77	412	107	975	137	2300	167	5450		
78	425	108	1000	138	2360	168	5600		
79	437	109	1030	139	2430	169	5800		

Tabla 2: Velocidad máxima por neumático para cada índice de velocidad.

Código	km/h	Código	km/h	Código	km/h
A1	5	F	65	R	180
A2	10	G	70	S	190
A3	15	H	80	T	200
A4	20	I	90	U	210
A5	25	J	100	V	240
A6	30	K	110	Z	>240
A7	35	L	120	W	270
A8	40	M	130	(W)	>270
B	45	N	140	Y	300
C	50	O	150	(Y)	>300
D	55	P	160		
E	60	Q	170		



Figura 32: Nomenclatura de los neumáticos (Good Year).

- Anchura del neumático: 315 mm
- Diámetro del flanco: $315 \times 80\% = 252$ mm.
- Diámetro de la llanta: 22.5 pulgadas, o sea $22.5 \times 25.4 = 571.5$ mm
- Diámetro exterior: $571.5 + 2 \times 252 = 1075.5$ mm
- Estructura: Radial.
- Carga máxima por neumático (ver tabla 1): con un neumático 4000 kg; con dos neumáticos 3350 kg.
- Velocidad máxima (ver tabla 2): 120 km/h.

6.3. Frenos

Los frenos que se emplean para detener los vehículos en marcha, o para bloquearlos cuando están detenidos, pueden ser eléctricos o mecánicos. Los primeros consisten en generadores accionados por el movimiento del vehículo que al extraer energía cinética producen electricidad para cargar baterías. Son típicos de vehículos híbridos y ferrocarriles eléctricos.

Pero en los vehículos de construcción se emplean sistemas mecánicos, que pueden ser de tres tipos: de cinta, de tambor y de disco (figura 33).

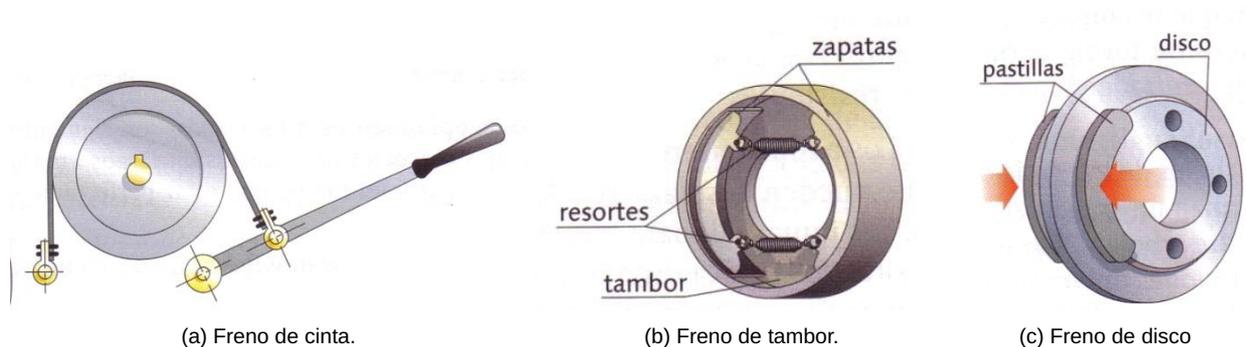


Figura 33: Tipos de frenos.

Frenos de cinta En este sistema el frenado se produce por la fricción de una cinta contra un disco que gira solidariamente con las ruedas (figura 33a). En condiciones de circulación la cinta está laxa y no toca el disco, pero cuando el conductor acciona este freno la cinta se tensa alrededor del disco, creando una fricción que impide su giro.

Se usan como frenos de estacionamiento (frenos de mano).

Frenos de tambor En este sistema hay un tambor unido a las ruedas del vehículo (figura 33b). Está formado por un cilindro cerrado por un lado y abierto por el otro. En su interior hay unas zapatas con forma de arco de sector circular que pueden entrar en contacto con las paredes del tambor. En condiciones normales, unos muelles mantienen las zapatas separadas del tambor, pero cuando el conductor acciona el freno un resorte desplaza las zapatas haciendo que entren en contacto con él. La fricción que se produce impide el giro del tambor.

Frenos de disco En este sistema hay un disco que gira solidario con las ruedas, y que pasa entre dos zapatas que están muy cerca del mismo (figura 33c). Cuando el conductor acciona el freno las dos zapatas presionan el disco, creando una fricción que impide su giro.

En los vehículos ligeros actuales la fuerza que se ejerce para accionar el freno es multiplicada por un sistema hidroestático. Cuando el conductor acciona el pedal de freno se presiona un émbolo en un pistón introduciendo presión en un circuito lleno de líquido (líquido de frenos). Esta presión llega a otro pistón que es el que acciona las zapatas del freno, aumentando la fuerza que éstas hacen sobre el tambor o el disco (en los frenos de cinta el sistema es mecánico).

En los vehículos pesados sin embrago la multiplicación de fuerza que se requiere es mucho mayor, y en lugar de accionar un sistema hidrostático se acciona un sistema neumático. Un compresor mantiene llenos de aire a presión unos calderines situados junto a las ruedas (figura 34). Cuando el conductor acciona el freno se abre una válvula y el aire a presión sale del calderín contra las zapatas del freno, presionándolas.

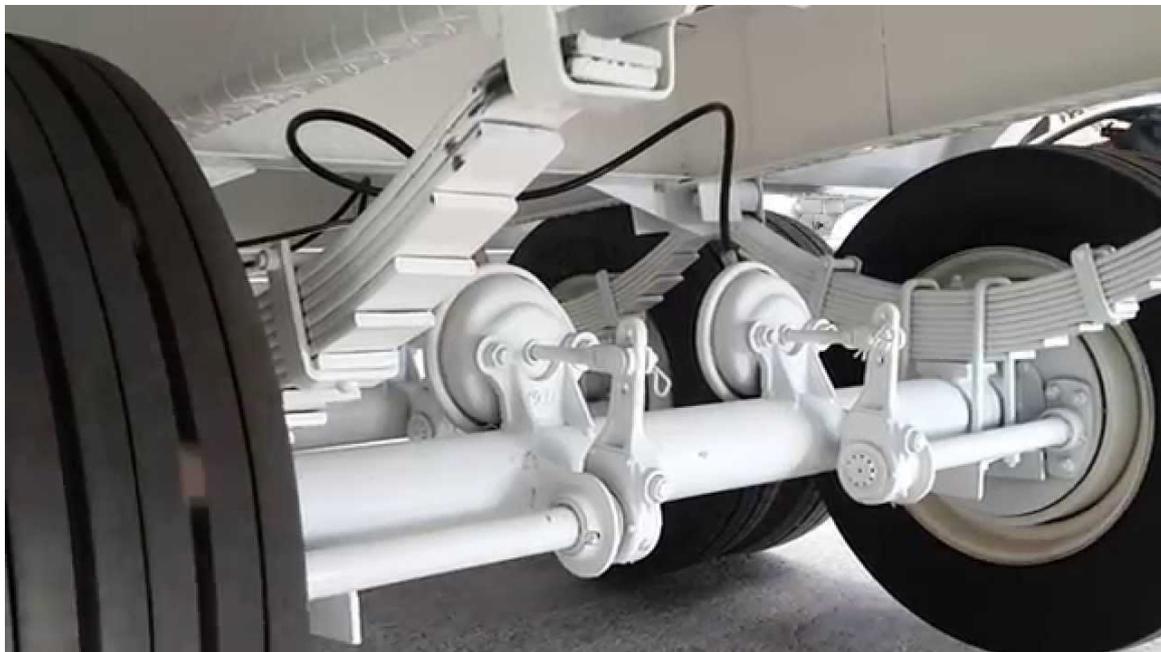


Figura 34: Calderines y accionamiento del freno de un camión (*Lubrati*).

Frenos eléctricos Los sistemas anteriores son los más habituales en las máquinas de construcción, pero existen otros sistemas de frenos que se usan en otro tipo de máquinas, como pueden ser por ejemplo los frenos eléctricos, en los que la resistencia al avance se produce al conectar a las ruedas un generador eléctrico. La electricidad que se genera se emplea en cargar la batería, los acumuladores (sistemas híbridos), o en el caso de ferrocarriles, se introduce en la catenaria a través de los pantógrafos. Estos frenos se utilizan para reducir la velocidad de la marcha, pero no son capaces de detener el vehículo por sí solos. De hecho, muchos camiones los llevan y se emplean para reducir la inercia a la marcha, para evitar que el camión se acelere en una rampa, de modo que evitan usar durante mucho tiempo el freno neumático, lo que podría recalentarlo.

7. Cuestiones

1. La frecuencia de la corriente eléctrica suministrada en España es de:
 - a) 50 Hz
 - b) 220 V
 - c) 60 Hz
 - d) 380 V
2. El rotor de un motor asíncrono de corriente alterna:
 - a) Es un imán permanente
 - b) Son una serie de devanados conectados en cortocircuito
 - c) Son de jaula de ardilla
 - d) Ninguna de las anteriores es correcta
3. De los siguientes motores hidráulicos, ¿cuál proporciona más par motor?
 - a) De engranajes interiores
 - b) De engranajes exteriores
 - c) De pistones axiales
 - d) De paletas
4. Las fases de un motor de cuatro tiempos se ordenan del modo que sigue:
 - a) Admisión, explosión, escape y compresión
 - b) Escape, explosión, compresión y admisión
 - c) Explosión, escape, admisión y compresión
 - d) Explosión, admisión, compresión y escape
5. En los tres de rodaje de cadenas, la rueda delantera que mantiene tensa la cadena se denomina:
 - a) rueda guía
 - b) tensor
 - c) cabilla
 - d) rodamiento
6. Un neumático 255/35 R18 94V, puede circular a una velocidad máxima de:
 - a) 35 km/h
 - b) 94 km/h
 - c) 240 km/h
 - d) 255 km/h

Respuestas: 1 a - 2 b - 3 c - 4 c - 5 a - 6 d

