



1

Estudio de los sistemas de encendido

para empezar...

El sistema de encendido agrupa una serie de elementos que se encargan de inflamar, en el momento preciso y en distintas condiciones de funcionamiento del motor, la mezcla aire-gasolina que se encuentra en el interior del cilindro. Esta inflamación la realiza una chispa que el sistema hace saltar entre los electrodos de las bujías.

Actualmente, gracias a la aplicación de la electrónica, los sistemas de encendido ofrecen altas prestaciones.

En esta unidad didáctica nos limitaremos a describir de manera sencilla los distintos sistemas de encendido por batería que se presentan independientes del sistema de inyección. Aquellos que aparecen combinados con dicho sistema los estudiaremos en la unidad didáctica 4.

qué sabes de...

1. ¿Qué misión cumple el sistema de encendido en un motor?
2. Cita las diferencias, en líneas generales, de los distintos sistemas de encendido.
3. ¿Qué objeto tiene el avance al encendido?
4. ¿Qué influencia tiene montar una bujía inadecuada en el motor?

... vamos a conocer

1. Introducción
2. Encendido electromecánico convencional
3. Encendido transistorizado comandado por contactos
4. Encendido transistorizado con generador de impulsos por efecto Hall
5. Encendido transistorizado con generador de impulsos por inducción
6. Ventajas de los encendidos transistorizados sin contactos
7. Encendidos transistorizados con regulación electrónica del ángulo de cierre, limitación de la corriente primaria y corte de la corriente de reposo
8. Encendidos programados

PARA PRACTICAR

Identificación de encendidos no programados sobre el motor

Bujías: análisis de la punta de encendido e instalación correcta.

y al finalizar...

- Diferenciarás los distintos sistemas de encendido y conocerás el funcionamiento y características particulares de cada uno de sus elementos.
- Entenderás la repercusión de una combustión anormal de la mezcla en el motor.
- Serás capaz de tener una idea aproximada del estado del motor por el aspecto que presentan las bujías.

1. Introducción

La energía motriz del motor se consigue mediante una explosión que se obtiene a través de una reacción química entre el oxígeno del aire y la gasolina. Dicha reacción química da como resultado la generación de vapor de agua, CO_2 y otros gases residuales, así como la liberación de energía térmica que produce la expansión de los gases resultantes. Para iniciar la reacción necesitamos aportar energía a una parte de la mezcla inicial, de tal modo que se inicie la reacción en un punto de la cámara de combustión (electrodos de la bujía). La energía liberada por la reacción producida en ese punto servirá para incendiar el gas próximo a ese punto, provocando así la propagación de la llama que implicará la combustión de todo el gas de la cámara de combustión.

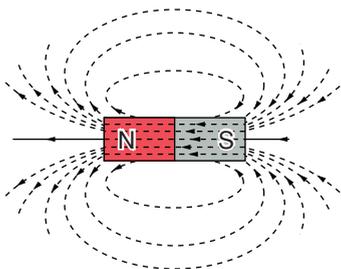
La energía inicial necesaria para el inicio de la combustión la aportamos en forma de salto de chispa entre los electrodos de la bujía. Dicho salto de chispa consiste en hacer conducir un material (aire + gasolina) que es en principio un aislante. Por tanto, para lograr el salto de un electrón entre los electrodos de una bujía es necesario aplicarle una tensión de varios miles de voltios para arrancarle electrones a la mezcla (ionizarla) y que así se produzca una corriente eléctrica entre los dos electrodos con el fin de calentar la mezcla hasta una temperatura y durante un tiempo suficiente para iniciar una explosión.

Por ello, las bajas tensiones de las baterías (6, 12 o 24 V) necesitan ser transformadas en altas tensiones. Esta función la realiza una bobina. Para entender cómo se producen estos cambios de voltaje, así como otros fenómenos que tienen lugar en los procesos de encendido, es preciso tener claros unos conceptos de **magnetismo** y **electromagnetismo** que a continuación vamos a explicar.

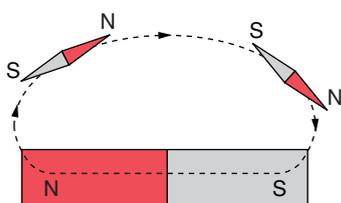
1.1. Magnetismo

El magnetismo es una parte de la Física que estudia las **fuerzas de atracción y repulsión** que se producen entre ciertos materiales.

Los imanes son unos materiales que presentan unas propiedades magnéticas que provocan la atracción o repulsión de otros imanes en función de la posición relativa entre ellos. De este modo se definen en cada pieza de material imantado dos caras o polos (norte y sur), y sabemos que cuando dos imanes se enfrentan por el mismo polo se repelen mientras que si lo hacen por polos opuestos se atraen.



↑ **Figura 1.1.** Campo magnético de un imán.



↑ **Figura 1.2.** Demostración de la existencia de un campo magnético.

Campo magnético producido por un imán

Es el espacio dentro del cual se aprecian los efectos magnéticos que origina el imán. Se representa por una serie de líneas denominadas **líneas de fuerza** (figura 1.1), las cuales se dibujan más apretadas en el punto donde el campo magnético es más intenso. Las líneas representan la orientación que tomarían los polos norte y sur de un imán si se viera sometido a la fuerza generada por el campo magnético en el punto que estuviera dibujada la línea (figura 1.2). Sobre la misma línea se dibuja una flecha que indica hacia dónde quedaría orientado el polo norte.

Clasificación de las sustancias en función de sus propiedades magnéticas

1. **Sustancias ferromagnéticas.** Son sustancias que se ven sometidas a fuerzas al ser introducidas dentro de un campo magnético (níquel, hierro, acero, etc.). Estas sustancias, si permanecen tiempo suficiente bajo el efecto del campo magnético, pueden generar un campo magnético propio una vez que

el campo magnético inicial desaparece (se imantan). El tiempo que permanece ese campo magnético propio (remanencia) varía en función de las características del material. Si este tiempo es suficientemente largo hablamos de un **imán permanente**. Debido a esta propiedad de imantación, estas sustancias pueden producir una transmisión del campo magnético a través de ellas casi sin pérdidas.

2. **Sustancias paramagnéticas.** Estas sustancias no se ven sometidas a ningún tipo de fuerza al ser introducidas dentro de un campo magnético ni provocan alteraciones en él (cromo, aluminio, manganeso, aire, etc.).
3. **Sustancias diamagnéticas.** Tampoco se ven sometidas a fuerzas al ser insertadas dentro de un campo magnético pero entorpecen el paso del mismo a través de ellas (antimonio, mercurio, bismuto, etc.).

Nota: De esta clasificación de sustancias deducimos que cada material transmite en su interior el campo magnético de una forma diferente, de tal modo que la capacidad de conducir el campo magnético de un punto a otro se le denomina **permeabilidad magnética (μ)**. En las sustancias ferromagnéticas, $\mu > 1$; pudiendo alcanzar valores de 2.000 o más. En las paramagnéticas $\mu \approx 1$, mientras que en las diamagnéticas $\mu < 1$.

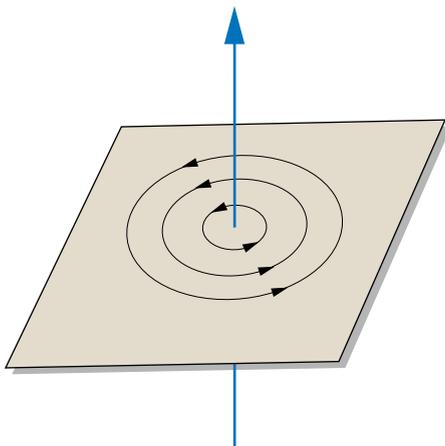
1.2. Electromagnetismo

Es la parte de la Física que estudia la relación entre las corrientes eléctricas y los campos magnéticos.

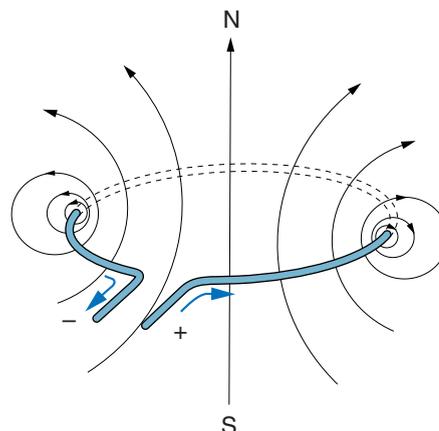
Campos magnéticos generados por corrientes

A través de diversos experimentos se concluyó que toda corriente eléctrica genera un campo magnético en sus proximidades proporcional a la intensidad de la corriente. La representación del campo magnético en forma de líneas de fuerza producido por una corriente rectilínea es mostrada en la figura 1.3. La flecha representa el conductor.

Para aumentar el campo magnético producido por un conductor en un punto, podemos construir una espira cuyo centro sea dicho punto (figura 1.4). El campo magnético en una espira es máximo en su centro y aumenta al incrementar la corriente eléctrica.



↑ **Figura 1.3.** Campo magnético creado por una corriente rectilínea.

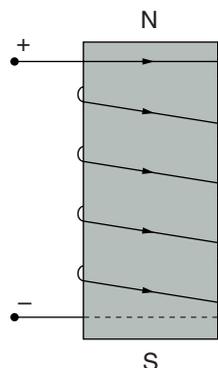


↑ **Figura 1.4.** Campo magnético creado por una espira.

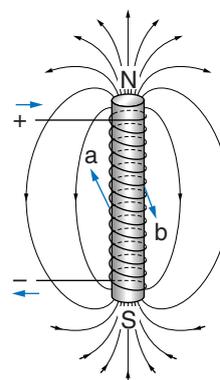


Ferrita

La ferrita es una forma alotrópica del hierro que aparece en ciertas aleaciones.



↑ Figura 1.5. Bobina.



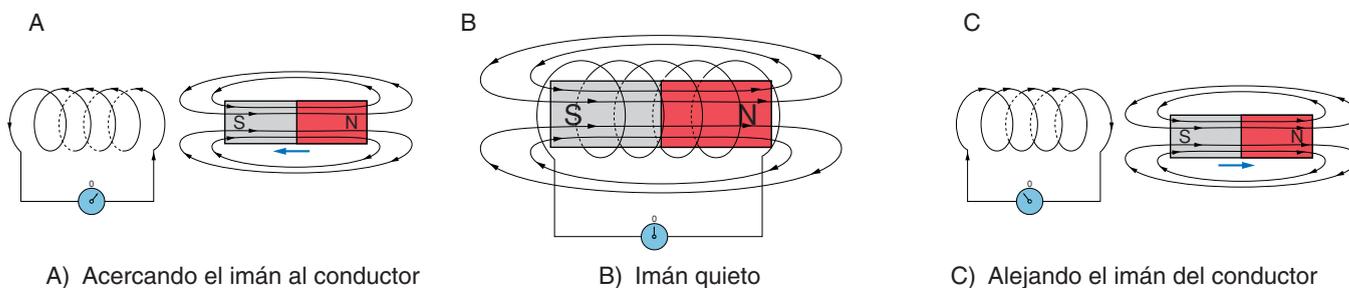
↑ Figura 1.6. Campo magnético creado por una bobina.

Colocando varias espiras unas seguidas de otras, formaremos un solenoide o bobina (figura 1.5), donde el campo magnético en sus proximidades será la suma del campo magnético producido por cada una de las espiras. Como el campo magnético generado por una sola espira es muy débil, para conseguir campos magnéticos aprovechables necesitaremos un gran número de espiras, lo que da como resultado dispositivos relativamente grandes. En la figura se puede ver que en los dos extremos de la bobina se originan los dos polos. Las polaridades se verán invertidas si se invierte el sentido de la corriente eléctrica. Para aprovechar por igual el campo magnético generado por todas las espiras es conveniente arrollar dichas espiras alrededor de un núcleo que transporte muy bien el campo magnético (material altamente ferromagnético) y que al mismo tiempo no se imante para que así, al desaparecer la corriente eléctrica, desaparezca también el campo magnético. Dos de los materiales más utilizados son el hierro dulce y la ferrita. Este núcleo lo tenemos representado en la figura 1.6 indicado con la letra **b**, mientras que la letra **a** señala el arrollamiento de la bobina.

Corrientes generadas por campos magnéticos

También a través de diversos experimentos se ha llegado a la conclusión de que todo **cambio magnético** en las proximidades de un conductor produce una corriente eléctrica en el mismo, proporcional a la intensidad del campo magnético y a la velocidad con que varía dicho campo.

Podemos verlo en la representación de un experimento básico (figura 1.7), donde en la sección A observamos cómo al acercar un imán a una bobina se aprecia la formación de una corriente eléctrica en su interior que puede ser detectada a través de un amperímetro. En la sección B, se aprecia cómo un imán quieto no produce ninguna corriente eléctrica y, por último, en la sección C se ve cómo al alejar el imán obtenemos la misma corriente que al acercarlo pero en sentido contrario.



A) Acercando el imán al conductor

B) Imán quieto

C) Alejando el imán del conductor

↑ Figura 1.7. Generación de corriente.

La corriente generada en una bobina por efecto de un campo magnético, conocida con el nombre de **corriente inducida**, responde a la **ley de Lenz**, que nos indica que, al hacer variar el campo magnético en las proximidades de una bobina, esta genera una corriente que se opone a esa variación de campo magnético.

Autoinducción

Si hacemos circular una corriente eléctrica a través de una bobina, genera un campo magnético; al mismo tiempo, sabemos que, si variamos un campo magnético cerca de una bobina, esta variación provocará una corriente eléctrica en el interior de la misma. Por tanto, si hacemos pasar una corriente eléctrica que varía a través de una bobina, conseguimos un campo magnético que varía en las proximidades de esta. Este campo magnético autoinducirá en la misma bobina una corriente eléctrica que según la ley de Lenz tenderá a oponerse a la variación de corriente eléctrica que nosotros intentamos producir en la bobina. De este modo, si intentamos aumentar la corriente eléctrica que circula por una bobina (por ejemplo conectando la bobina a un voltaje) la corriente autoinducida por dicha variación en la bobina provocará que esta ofrezca una resistencia al aumento de corriente. Por otro lado, si intentamos reducir la corriente eléctrica que circula por una bobina (por ejemplo desconectando dicha bobina del voltaje) la desaparición de campo magnético autoinducirá una corriente que sustituya a la desaparecida.

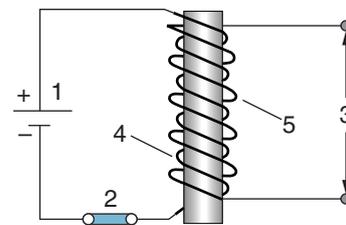
Transformadores

Si colocamos dos bobinas muy próximas una de otra (por ejemplo arrollándolas sobre un mismo núcleo) y hacemos circular una corriente eléctrica que varía a través de una de las bobinas (bobina de primario) conseguiremos que el campo magnético generado por esta corriente cree una corriente inducida y, por tanto, un voltaje en cada una de las espiras de la otra bobina (bobina de secundario). De este modo, el voltaje entre los extremos de la segunda bobina será proporcional al número de espiras de la misma. Por tanto, variando el número de espiras de la segunda bobina podremos conseguir voltajes tan grandes como queramos, siempre y cuando el campo magnético inductor (el generado por la primera bobina) sea lo suficientemente grande.

En la figura 1.8 vemos una ejecución básica de bobina donde, si abrimos y cerramos el interruptor, provocamos un voltaje inducido entre los bornes del secundario. Aplicando la ley de Lenz tenemos lo siguiente: la corriente inducida en la bobina secundaria genera un campo magnético cuyo flujo se opone al flujo creado por la bobina primaria.

Al cerrar el interruptor, la corriente inducida en el secundario es contraria a la del primario ya que el flujo varía en el primario de cero al máximo. Sin embargo, al abrir el interruptor la corriente inducida en el secundario tiene el mismo sentido que la del primario debido a que el flujo en el primario varía de máximo a cero.

Aplicando el mismo principio de la misma ley, podemos confirmar que una vez que está establecida la corriente por el primario, al abrir el interruptor aparece una fuerza contraelectromotriz (f.c.e.m.) que se opone a que la corriente desaparezca, generándose una fuerza electromotriz (f.e.m.) que es del mismo sentido que la intensidad originada.



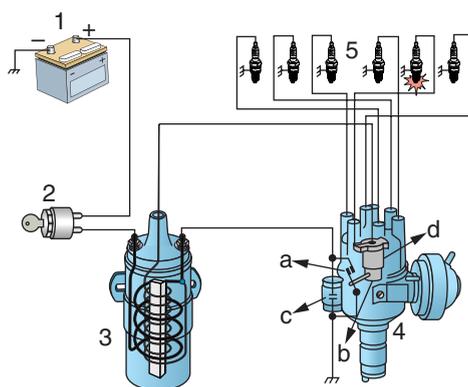
1. Batería
2. Interruptor
3. Voltaje inducido en el secundario
4. Bobina primaria
5. Bobina secundaria

↑ **Figura 1.8.** Principio de funcionamiento de un transformador.

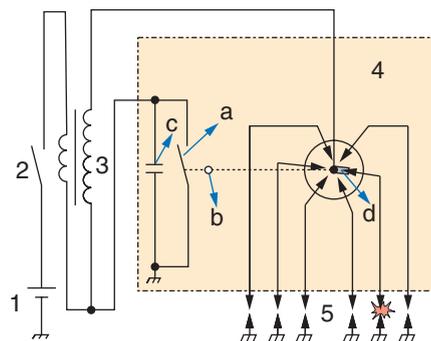
2. Encendido electromecánico convencional

Un sistema convencional de encendido está básicamente compuesto por los siguientes elementos (figura 1.9): batería, llave de contacto, bobina de encendido, distribuidor, bujías y cableado necesario para su conexionado. Por su parte, el distribuidor incorpora entre otros mecanismos, el ruptor, la leva, el condensador y la pipa o rotor.

1. Batería
2. Llave de contacto
3. Bobina de encendido
4. Distribuidor
 - a. Ruptor
 - b. Leva
 - c. Condensador
 - d. Pipa o rotor
5. Bujías



A. Conexión de los distintos elementos en un motor de 6 cilindros



B. Esquema eléctrico

↑ **Figura 1.9.** Instalación de un encendido electromecánico convencional.

2.1. Batería

Es la encargada de suministrar la energía suficiente para hacer funcionar el circuito (figura 1.10).

2.2. Llave de contacto

Además de abrir y cerrar el circuito primario, realiza otras funciones como son el bloqueo de la dirección y el accionamiento del motor de arranque (figura 1.11).



↑ **Figura 1.10.** Batería.



↑ **Figura 1.11.** Llave de contacto.

2.3. Bobina de encendido

Es el elemento encargado de elevar la baja tensión de la batería y transformarla en alta tensión en el circuito de las bujías (figura 1.12).

Básicamente, está constituida por un núcleo magnético alrededor del cual existen dos arrollamientos denominados secundario y primario. En las bobinas modernas, el arrollamiento primario está arrollado sobre el secundario, con lo cual se consigue una mayor resistencia mecánica en el conjunto así como una mayor disipación del calor.

El primario va conectado al circuito de baja tensión (tensión de batería) y está formado por un hilo grueso de cobre (0,5 a 0,8 mm de diámetro) y unas pocas espiras (entre 200 y 300 aproximadamente). Los bornes exteriores se suelen denominar 15 y 1, B y D, + y -, respectivamente según el fabricante. El secundario va conectado por uno de sus extremos al primario y por el otro al circuito de alta tensión que se cierra a través de las bujías (normalmente este último borne viene señalado con el número 4). Este arrollamiento es de hilo de cobre muy fino (0,06 a 0,08 mm de diámetro) y presenta muchas espiras (de 20.000 a 30.000).

Ambos arrollamientos están aislados entre sí por papel y bañados en resina epoxi o en asfalto, para dar rigidez al conjunto frente a las vibraciones. También hay bobinas rellenas en aceite de alta rigidez dieléctrica que sirve de aislante y refrigerante.

La bobina basa su funcionamiento en los fenómenos de inducción electromagnética.

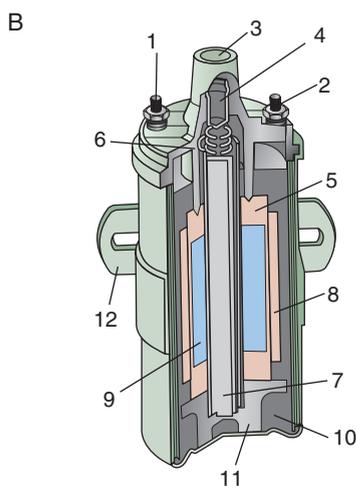


Resina epoxi

Resina formada por macromoléculas portadoras de funciones epóxido. Se dice también resina epóxídica. Se obtiene por reacción de difenoles con epiclorhidrina en presencia de una base alcalina. Su resistencia a la humedad es muy buena. Son buenos aislantes y su adhesividad a los metales y a la mayoría de las resinas sintéticas es excelente.

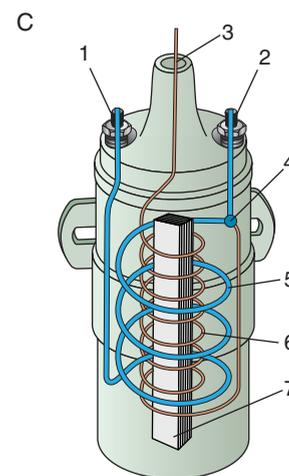


A. Aspecto exterior



B. Vista interior

1. Borne 15
2. Borne 1
3. Borne 4
4. Conexión exterior de alta tensión
5. Capas de papel aislante
6. Tapa aislante
7. Núcleo magnético
8. Arrollamiento primario
9. Arrollamiento secundario
10. Masa de relleno
11. Cuerpo aislante
12. Abrazadera de sujeción



C. Detalle de conexión de los arrollamientos

1. Borne +
2. Borne -
3. Borne 4
4. Conexión común de los arrollamientos
5. Arrollamiento primario
6. Arrollamiento secundario
7. Núcleo magnético

↑ **Figura 1.12.** Vista y detalles de una bobina de encendido.

2.4. Distribuidor

Recibe movimiento del árbol de levas y su función es repartir a cada una de las bujías, en el orden y momento preciso, el impulso de alta tensión generado por la bobina (figura 1.13).

Los componentes del distribuidor son, como se ha dicho: el ruptor, la leva, el condensador y la pipa o rotor.

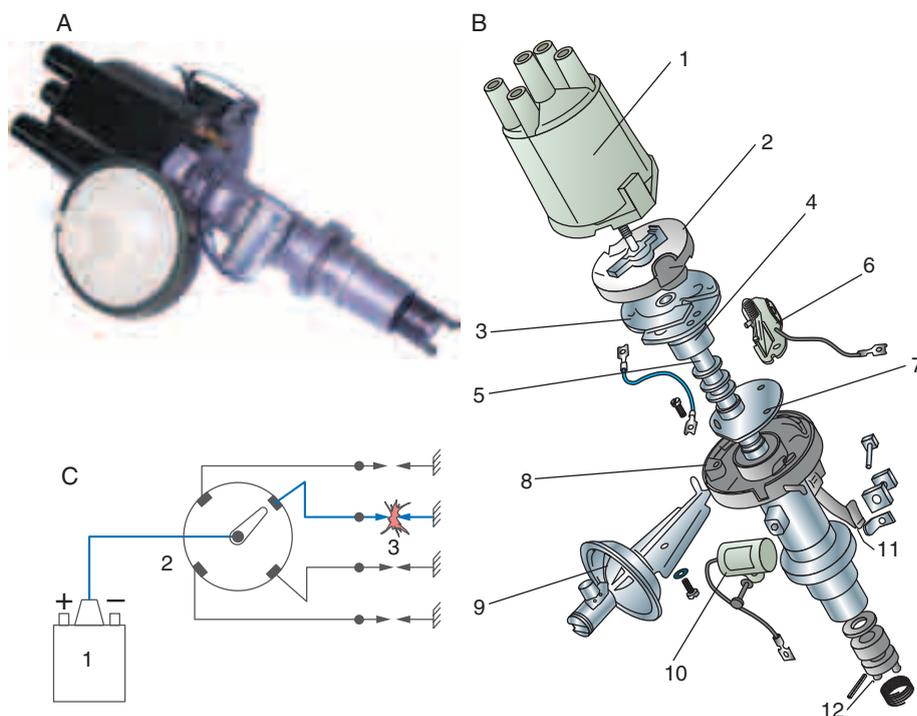
A. Aspecto exterior

B. Despiece

1. Tapa
2. Rotor
3. Avance centrífugo
4. Leva
5. Eje
6. Ruptor
7. Placa soporte
8. Cuerpo
9. Depresor
10. Condensador
11. Muelle de sujeción
12. Arrastre

C. Detalle de la distribución de alta tensión

1. Bobina
2. Distribuidor
3. Bujías



↑ Figura 1.13. Distribuidor.

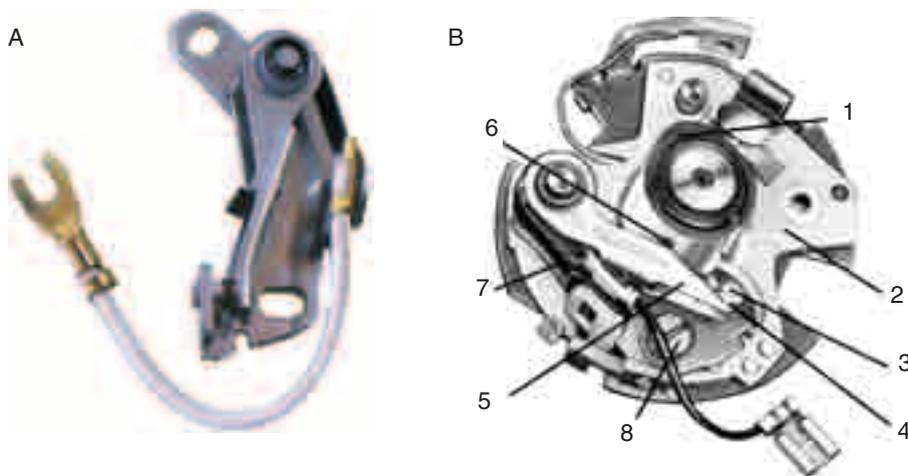
Ruptor

Es un interruptor accionado por una leva a través de un patín de fibra que desliza sobre la misma (figura 1.14). Este interruptor se encarga de abrir y cerrar el circuito primario de la bobina de encendido al ritmo del número de revoluciones del motor.

A. Aspecto exterior

B. Ubicación del ruptor en el distribuidor

1. Leva del ruptor (un solo saliente, ya que corresponde a un motor monocilíndrico)
2. Placa portarruptor
3. Yunque
4. Martillo
5. Palanca del ruptor
6. Patín
7. Resorte de la palanca del ruptor
8. Tornillo de fijación del yunque



↑ Figura 1.14. Ruptor.

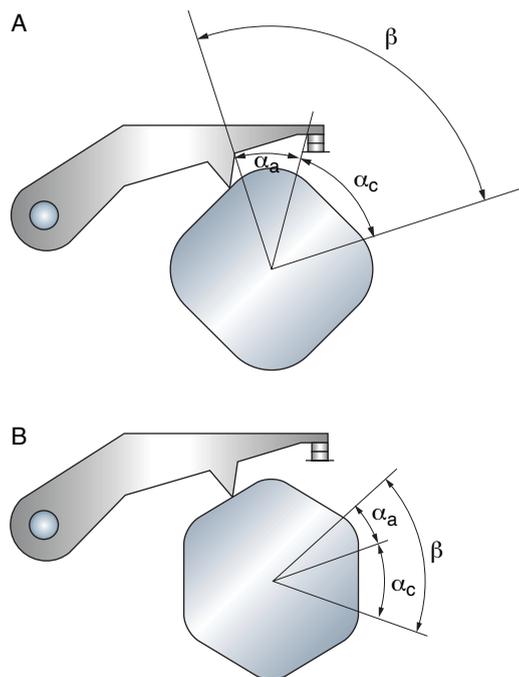
Los contactos del ruptor, uno fijo llamado yunque y otro móvil llamado martillo, son de acero al tungsteno de elevado punto de fusión.

Leva

Tiene forma de polígono regular (cuadrada, hexagonal, etc.), según el número de cilindros del motor. Sus vértices están redondeados y determinan el ángulo de apertura y cierre de los contactos del ruptor.

La leva en su movimiento genera dos ángulos. Se llama **ángulo de leva o ángulo de cierre** (α_c) al descrito por la leva mientras los contactos están cerrados. Se llama **ángulo de apertura** (α_a) al descrito por la leva mientras los contactos están abiertos.

El valor medio de cierre de contactos (valor porcentual) es conocido como *Dwell* y se define como la fracción de tiempo durante el cual están cerrados los contactos del ruptor con respecto al tiempo total de un ciclo de encendido.



- A. Ángulo de giro de una leva cuadrada (motor de cuatro cilindros)
 α_c . Ángulo de cierre ($\approx 57^\circ$)
 α_a . Ángulo de apertura ($\approx 33^\circ$)
 β . **Ángulo disponible (90°)**

$$Dwell = \frac{\alpha_c}{\beta} = \frac{57^\circ}{90^\circ} = 0,63 \rightarrow 63\%$$

- B. Ángulo de giro de una leva hexagonal (motor de seis cilindros)
 α_c . Ángulo de cierre ($\approx 38^\circ$)
 α_a . Ángulo de apertura ($\approx 22^\circ$)
 β . **Ángulo disponible (60°)**

$$Dwell = \frac{\alpha_c}{\beta} = \frac{38^\circ}{60^\circ} = 0,63 \rightarrow 63\%$$

Son grados de giro del distribuidor (no confundir con grados de cigüeñal)

↑ **Figura 1.15.** Ángulos de giro de la leva.

Una separación entre contactos grande (α de cierre pequeño) favorece el encendido en bajas revoluciones; mientras que una separación pequeña (α de cierre grande) beneficia su comportamiento en altas revoluciones.

La separación correcta la marca el fabricante en los catálogos correspondientes y suele ser de 0,40 mm aproximadamente.

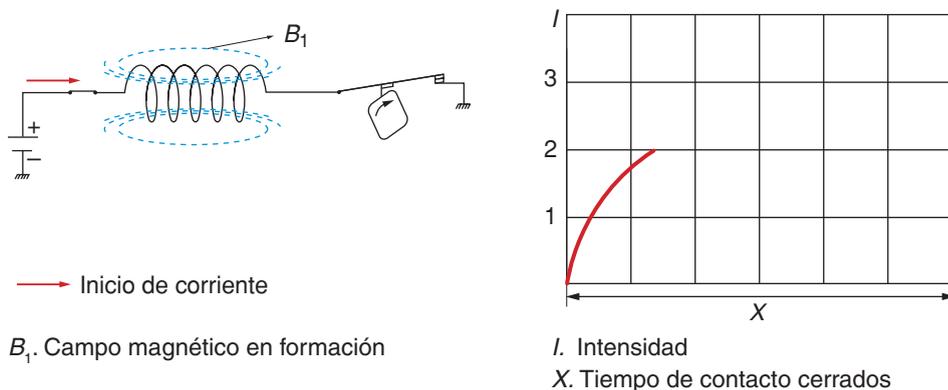
Funcionamiento del ruptor en combinación con la bobina

- **Contactos cerrados:** al cerrarse los contactos del ruptor, y con la llave de contacto accionada, el circuito primario se conecta a masa. Con ello, se inicia un campo magnético en función de la tensión de la batería y la resistencia del primario (figura 1.16).



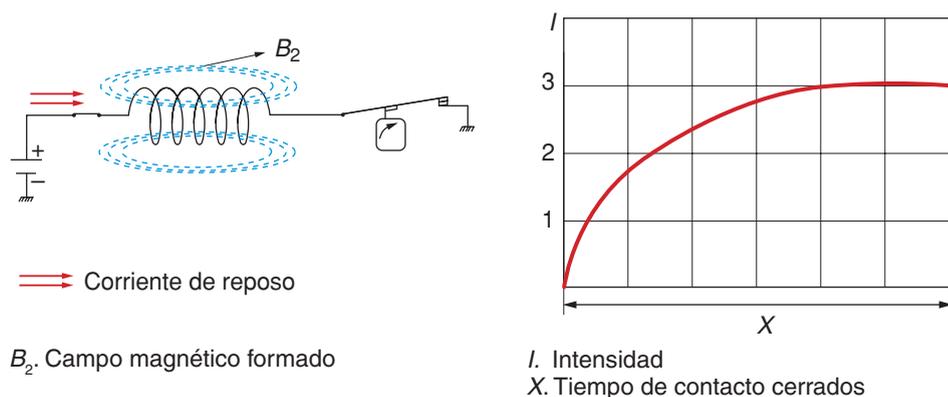
Tungsteno

Metal de color blanco estañoso con una densidad muy elevada ($13,9 \text{ g/cm}^3$). Tiene gran resistencia eléctrica y su temperatura de fusión es 3.410°C .



↑ **Figura 1.16.** Formación del campo magnético en la bobina al cerrarse los contactos del ruptor.

Cuando una bobina se conecta a voltaje de forma instantánea, la intensidad que pasa por ella, y por tanto el campo magnético generado por la misma, no se produce de forma instantánea sino que, debido a su autoinducción, la intensidad va creciendo progresivamente hasta alcanzar un valor máximo conocido como corriente de reposo (figura 1.17).



↑ **Figura 1.17.** Evolución de la intensidad de corriente a través de la bobina.

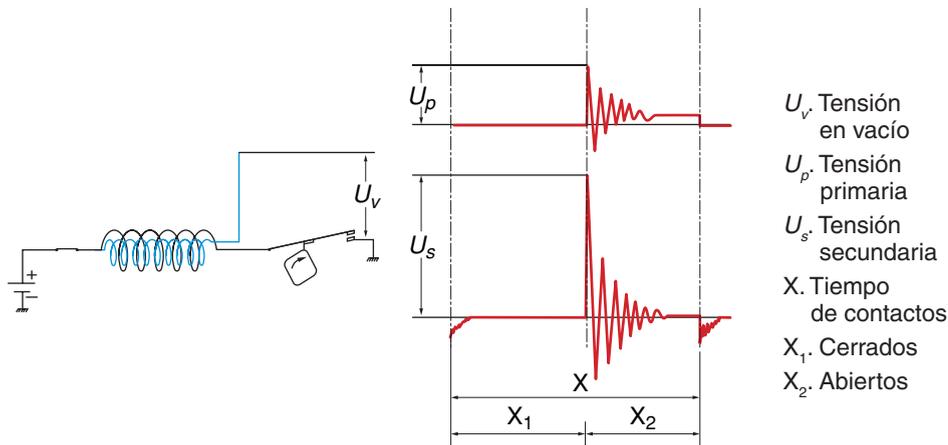
El ángulo de cierre de contactos debe ser suficientemente amplio para asegurar que a cualquier régimen de giro la bobina tenga tiempo suficiente para cargarse completamente.

- **Contactos abiertos:** una vez que se forma el campo magnético, la leva del distribuidor sigue girando y se abren los contactos. La corriente del primario se interrumpe y con ello se disipa rápidamente el campo magnético.

Según la ley de inducción, sabemos que las tensiones inducidas en el primario y en el secundario de la bobina son proporcionales al campo magnético inductor, al número de espiras y a la rapidez de la variación de campo.

La tensión del primario alcanza así varios cientos de voltios.

Esta tensión inducida en el primario se traduce en otra en el secundario que alcanzaría valores de 30 kV aproximadamente como tensión disponible (régimen en vacío sin bujía que produzca consumo al secundario) (figura 1.18).



↑ Figura 1.18. Tensiones en la bobina.



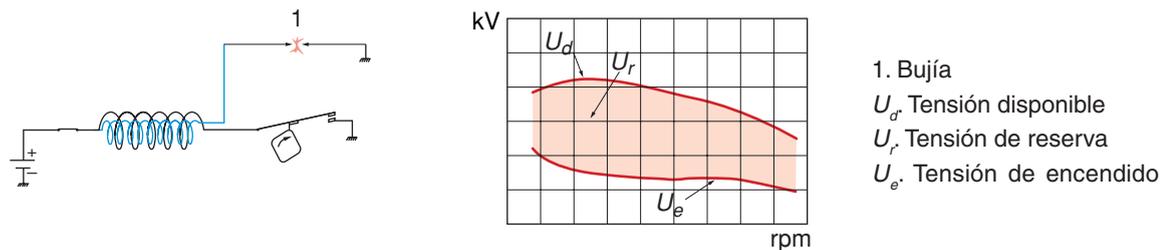
Tensión de encendido

La tensión de encendido es la tensión mínima necesaria para ionizar la mezcla y producir así el salto de chispa. Esta tensión depende de la cantidad de mezcla entre los dos electrodos (separación de electrodos), así como de la temperatura, composición y presión de la misma (tanto la debida a la relación de compresión del motor como a la cantidad de aire que entra en este).

La relación de tensiones entre el primario y el secundario viene dada por la relación entre el número de espiras de ambos arrollamientos.

Intercalando entre el circuito secundario y masa un elemento consumidor (bujía), se produce el salto de chispa entre sus electrodos. A la tensión necesaria para que esto ocurra se le llama **tensión de encendido**.

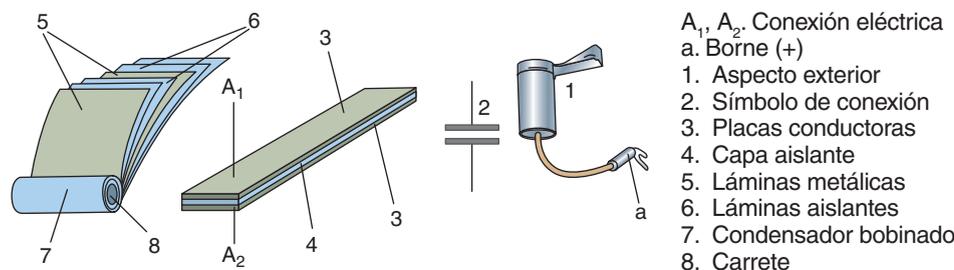
La diferencia entre la tensión disponible y la tensión de encendido se denomina **tensión de reserva** (figura 1.19).



↑ Figura 1.19. Margen de funcionamiento del encendido.

Condensador

Su misión es reducir el arco eléctrico que se produce entre los contactos del ruptor en el momento de la apertura. De no existir, dicho arco eléctrico ocasionaría la rápida destrucción de estos contactos (figura 1.20). De esta forma también conseguimos una interrupción muchísimo más rápida de la corriente en el circuito primario debido a la mayor velocidad de la variación de flujo. Con ello logramos una f.e.m. inducida en el secundario de valores más elevados.



↑ Figura 1.20. Condensador.

Está formado por dos placas conductoras (láminas de estaño o aluminio) separadas por material aislante (papel parafinado). El conjunto se presenta en forma de cilindro donde una placa se conecta a la caja metálica (borne de masa) y la otra a un cable que sale al exterior (borne +).

Se conecta en paralelo con los contactos del ruptor (figura 1.9) y la capacidad del mismo debe ser la prescrita para cada sistema de encendido ya que en caso contrario aparecerían defectos en los contactos del ruptor. En general la capacidad de los condensadores de encendido oscila entre 0,2 y 0,3 μF ($1 \mu\text{F} = 1 \times 10^{-6} \text{F}$).

La capacidad de un condensador depende exclusivamente de sus características geométricas.

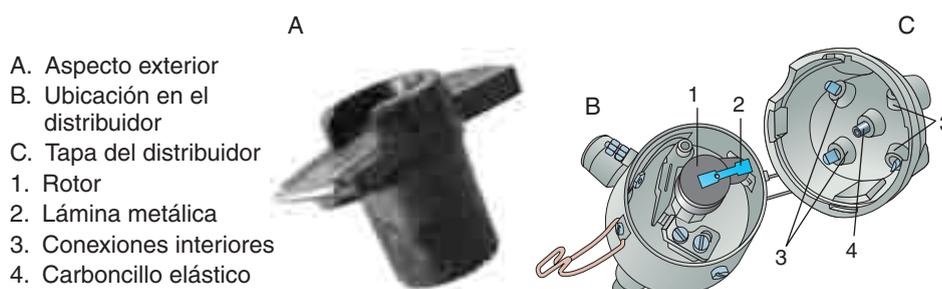
El condensador también actúa como antiparasitario, al absorber las chispas que se producen en otros circuitos inductivos instalados en el automóvil, impidiendo que sean captados por los receptores de radio.

Pipa o rotor

Consiste en un contacto móvil que va acoplado en la parte alta del eje de la leva (figura 1.21). Está fabricado de material aislante (generalmente de resina artificial) y dispone de una lámina metálica en su parte superior por la que recibe la alta tensión del borne central de la tapa del distribuidor a través de un carboncillo el cual, gracias a un muelle, tiene asegurado el contacto con dicha lámina metálica.

Mediante el giro, el rotor distribuye esa alta tensión a las bujías, según el orden de encendido, a través de las conexiones interiores de dicha tapa.

La conducción de corriente entre el rotor y las conexiones de la tapa se realiza sin contacto mecánico para evitar desgastes. Debido a la alta tensión de la que disponemos, dicha conducción se efectúa a través de un arco voltaico.



↑ **Figura 1.21.** Pipa o rotor.

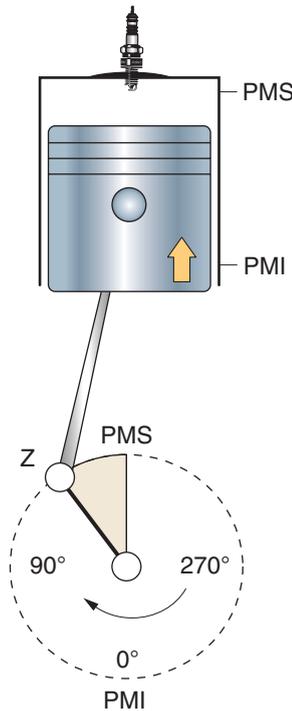
Hemos de señalar que la distancia que existe entre la punta de la lámina metálica y los contactos de las conexiones interiores de la tapa, suele ser de, aproximadamente 0,3 mm. Tanto la tapa del distribuidor, como el rotor propiamente dicho, sólo admiten una posición de montaje. Esto es debido a que debe existir un perfecto sincronismo en todo momento entre la tapa, el rotor y la leva.

Algunos modelos de pipa incorporan un limitador de giro que consta de un brazo sujeto al centro de la misma por un muelle.

Dicho brazo se desplaza al alcanzar un número determinado de revoluciones, con lo cual se deriva la corriente de alta a masa impidiendo que el motor supere por sus medios esas revoluciones.

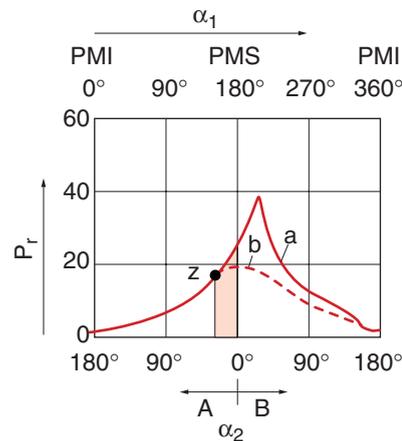
Mecanismos de avance

La chispa de encendido debe saltar con cierta antelación con respecto al PMS (figura 1.22) para que la presión de combustión alcance su valor máximo, poco después de que el pistón inicie la carrera descendente una vez superado dicho PMS (figura 1.23). Este punto óptimo depende de las características constructivas del motor (tamaño de biela, diámetro del pistón, tamaño de la muñequilla del cigüeñal, etc.).



PMS. Punto Muerto Superior
PMI. Punto Muerto Inferior
Z. Punto de encendido

↑ **Figura 1.22.** Posición del cigüeñal y del pistón en el punto de encendido (Z), estando este avanzado.



PMS. Punto Muerto Superior

PMI. Punto Muerto Inferior

A. Antes del PMS

B. Después del PMS

Z. Punto de encendido

a. Presión obtenida por la compresión de la mezcla, más la combustión de la misma, cuando salta la chispa en el punto Z

b. Presión obtenida por la compresión de los gases sin que salte la chispa

α_1 . Ángulo de giro del cigüeñal

α_2 . Ángulo de ajuste del encendido

Pr. Presión en la cámara de combustión

↑ **Figura 1.23.** Variación favorable de la presión en la cámara de combustión durante una vuelta completa del cigüeñal.

Desde que salta la chispa hasta que se alcanza la presión máxima de combustión, transcurre un tiempo debido a la velocidad de la propagación de la llama y el tiempo que tarda en producirse la expansión de los gases debida a la reacción química producida por el incendio de la mezcla. Este tiempo varía en función de la forma de la cámara de combustión, temperatura de la mezcla, riqueza de la misma y presión en el interior de dicha cámara (tanto la debida a la cantidad de aire que entra en el motor, carga, como a la relación de compresión). El ángulo recorrido por el motor desde que se produce el salto de chispa hasta que se produce el punto de encendido varía en función de la velocidad de giro del mismo, por lo que necesitaremos avanzar el encendido a medida que aumentan las revoluciones.

Unos dispositivos de avance situados en la cabeza del distribuidor ajustan el punto de encendido en función de las revoluciones y la carga del motor. Existen dos ejecuciones básicas:

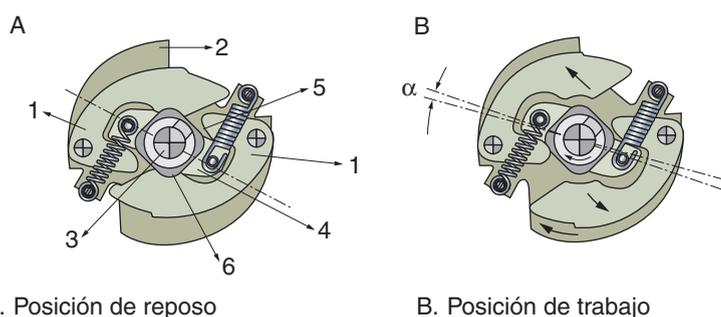
- **Avance centrífugo.** Varía el punto de encendido en función del número de revoluciones del motor.
- **Avance por vacío.** Varía el punto de encendido en función de la carga del motor.

Con independencia de estos dispositivos, casi todos los motores calan el distribuidor con algunos grados de avance. El valor oscila entre 0 y 25° aproximadamente según las características del motor (cilindrada, grado de compresión, normas antipolución, etc.).

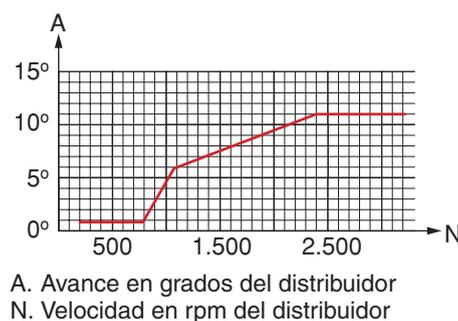
Avance centrífugo

Como se muestra en la figura 1.24, está formado por dos pesos centrífugos (1) que se apoyan sobre la placa del eje (2), la cual gira con el eje del distribuidor (3). Al aumentar el régimen, los pesos se desplazan hacia el exterior y hacen girar a la pieza de arrastre (4) por la trayectoria de rodadura (5) en el mismo sentido de giro que el eje del distribuidor. Esto acarrea un giro en la leva de encendido (6), también en el mismo sentido que el del distribuidor, por lo que el punto de encendido se adelanta un ángulo (α).

En la figura 1.25, se representa la curva de un avance centrífugo.



↑ Figura 1.24. Forma de funcionamiento del regulador centrífugo.



A. Avance en grados del distribuidor
N. Velocidad en rpm del distribuidor

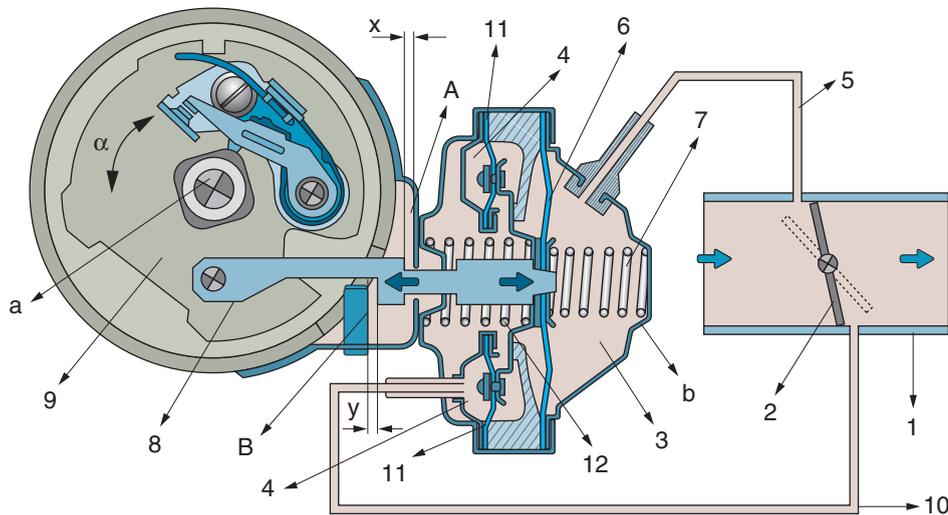
↑ Figura 1.25. Gráfico de avance centrífugo.

Avance por vacío

El vacío en el interior del colector de admisión está provocado por la diferencia entre la cantidad de aire que sería capaz de aspirar el motor en las revoluciones en las cuales está trabajando y la cantidad de aire que realmente aspira debido al estrangulamiento que produce la válvula de mariposa. De este modo, una depresión elevada en el colector de admisión implica un alto estrangulamiento de la mariposa y por tanto una baja cantidad de aire por embolada. La ausencia de depresión en el colector de admisión implica que el motor no es capaz de aspirar más aire que el que se le está suministrando, lo que indica que la mariposa no está estrangulando el motor y, por tanto, el motor está aspirando una gran cantidad de aire por embolada.

Así este mecanismo (figura 1.26) funciona por el vacío que hay en el colector de admisión (1) cerca de la mariposa (2). Cuanto mayor sea el vacío en el colector de admisión menos aire por embolada estará aspirando el motor y por tanto la presión de compresión será menor, por lo que necesitaremos un encendido más adelantado debido a la menor velocidad de propagación de la llama y a la velocidad de la reacción de explosión. En caso de desaparecer la depresión, tendremos una mayor cantidad de aire por embolada, por lo que necesitaremos atrasar el encendido para compensar los aumentos de velocidad.

El vacío puede actuar sobre una o sobre dos cápsulas –una de avance (3) y otra de retardo (4)– ya que este sistema, aparte de la regulación de avance propiamente dicha, se ve perfeccionado en algunos casos con una **regulación en retardo** con el fin de mejorar los gases de escape.



- a. Eje del distribuidor
 b. Unidad de vacío
 x. Trayecto de regulación en avance hasta el tope A
 y. Trayecto de regulación en retardo hasta el tope B

↑ **Figura 1.26.** Avance por vacío con sistemas de regulación de avance y de retardo.

- **Funcionamiento en avance.** En este caso, la depresión se toma justo antes de la mariposa (conducto 5) de tal modo que no haya depresión si la mariposa está totalmente cerrada.

Si la mariposa está abierta y si disminuye la carga del motor, aumenta la depresión en la cápsula de avance, por lo que se produce un movimiento de la membrana de avance (6) hacia la derecha comprimiendo el muelle (7). Con dicha membrana se desplaza el brazo de avance (8), lo que supone un giro en el plato portarruptor (9) en sentido contrario al eje del distribuidor con lo cual se adelanta el punto de encendido.

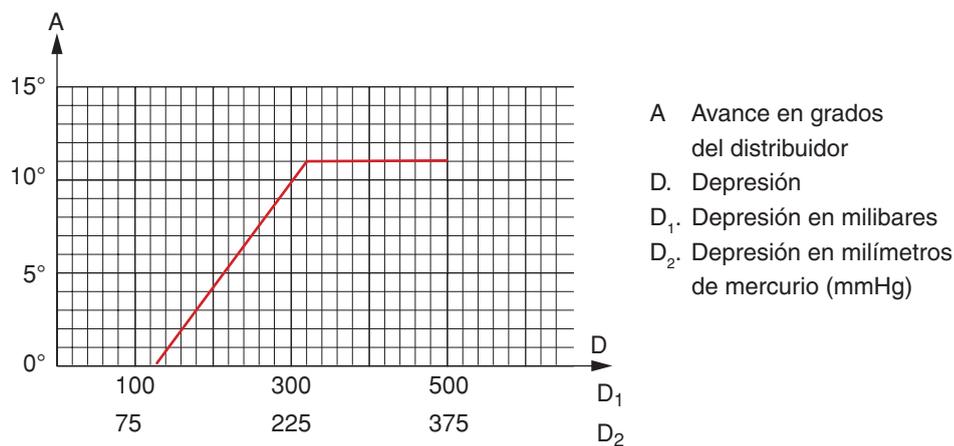
Cuando la mariposa está totalmente cerrada, el conducto (5) comunica la cápsula (3) con la presión atmosférica (no hay depresión), por lo que el dispositivo de avance pasa a una posición retardada independientemente del vacío de admisión. Esto se realiza para que, en la posición de ralentí, si el vacío es alto (baja carga del motor), al motor le corresponda un encendido más adelantado del que realmente tiene, provocando la consiguiente pérdida de potencia.

En la misma posición, si el vacío es bajo (carga del motor alta), el encendido que tiene el motor es más aproximado al que le corresponde, por lo que conseguimos un mayor rendimiento del mismo. Así se controla automáticamente el punto de encendido en función de la carga del motor, en régimen de ralentí, lo que provoca un ralentí más estable.

- **Funcionamiento en retardo.** La depresión se toma debajo de la mariposa (conducto 10) de tal modo que sólo lo haga en determinadas condiciones de funcionamiento del motor (ralentí, cuando se efectúan retenciones). Esta depresión actúa en la cápsula de retardo y hace que la membrana de retardo anular (11) se desplace, junto con el brazo de avance, hacia la izquierda comprimiendo el muelle (12). Así el plato portarruptor se desplaza en el sentido de giro del eje distribuidor con lo que se atrasa el punto de encendido.

El sistema de regulación en retardo es independiente del de avance. En caso de igualdad de vacío en ambas cámaras, hay una acción preponderante de la regulación de avance.

En la figura 1.27 se representa la curva de un avance por vacío.



↑ Figura 1.27. Curva de avance por vacío.

ACTIVIDADES RESUELTAS

En un motor de cuatro cilindros y cuatro tiempos que gira a 5.000 rpm, determina:

- El ángulo disponible.
- El número de ciclos que realiza por segundo.
- El tiempo que tarda en realizar un ciclo.

Nota: Entendemos por ciclo, en este caso, el tiempo que dispone el distribuidor para cada chispa (ángulo de cierre + ángulo de apertura).

Solución

- a) El ángulo disponible para un motor de cuatro cilindros será:

$$360/N = \frac{360}{4} = 90^\circ$$

- b) Si el motor gira a 5.000 rpm, el distribuidor girará a la mitad, o sea, $5.000/2 = 2.500$ rpm.

El número de chispas que habrán saltado en las bujías en esas 2.500 revoluciones del distribuidor, será:
 $2.500 \cdot 4 = 10.000$ chispas /minuto.

Lo que equivale a 166,66 chispas /segundo

- c) El tiempo que tarda en realizar un ciclo será:

$$1/166,66 = 0,00601 \text{ segundos} = 6,01 \text{ ms.}$$

Para un ángulo de cierre de $\alpha_c = 60^\circ$, determina en el ejemplo anterior el tiempo de carga de la bobina para cada cilindro.

Solución

$$\frac{60 \cdot 0,00601}{90} = 0,004 \text{ s}$$

2.5. Cables de alta tensión

Destinados a transmitir la alta tensión de la bobina al distribuidor y de este a las bujías o, en el caso de sistemas de encendido sin distribuidor, desde la bobina a las bujías (figura 1.28).

Están formados por un alma y por un aislante. El alma, de pequeña sección debido a la pequeña corriente que por ella circula, es de hilo de fibra textil artificial fabricada a base de celulosa (rayón) e impregnada en carbón. El aislante, por su parte, suele ser de plástico o goma vulcanizada con un grosor considerable para aislar del exterior la elevada tensión que soporta. Unos capuchones de cloruro de polivinilo protegen a los terminales de la entrada de humedad y de aire ozonizable.

El aislamiento debe cuidarse especialmente, ya que la formación de ozono, puede estropear la envoltura exterior y causar descargas eléctricas. El ozono puede crearse debido al **efecto corona** que consiste en la emisión de descargas eléctricas a través del aire y se produce en las proximidades de las líneas de alta tensión.

Estos cables deben reunir las siguientes características:

- Soportar altas tensiones (del orden de 30.000 V) sin perforarse.
- Ser insensibles a la humedad y a los hidrocarburos.
- Soportar altas temperaturas.
- Ser resistentes a las vibraciones.
- Tener una resistencia adecuada para eliminar los parásitos que afectan a los equipos electrónicos que vayan montados en el vehículo.

Con el objeto de que el sistema de alta tensión se mantenga simétrico con prestaciones iguales en todos los cilindros, todos los cables deben tener la misma longitud. Además deberán ser lo más cortos posibles para evitar que se doblen.

Es conveniente situar a los cables en forma de peine en vez de reunirlos en un solo haz, ya que a causa de las descargas intermitentes, si los cables están muy juntos pueden propagarse las descargas por inducción.

2.6. Bujías

Las bujías (figura 1.29) van montadas sobre la culata con sus electrodos dentro de la cámara de combustión del motor y su función es inflamar la mezcla aire-gasolina, que se encuentra sometida a presión en dicha cámara, mediante chispas eléctricas que saltan entre sus electrodos.

Dada la función que desempeña, es muy importante que su funcionamiento sea correcto para conseguir un rendimiento óptimo en el motor.

Construcción de una bujía

Como se aprecia en la figura 1.30, está formada por un electrodo central (1), compuesto generalmente por un núcleo de cobre con una aleación de níquel. Una gran cantidad de calor se disipa a través de este elemento, por lo que debe ser resistente al desgaste por quemadura. En casos de altas solicitaciones térmicas, se fabrican de plata o de platino o de aleaciones de este último. El núcleo sobresale



↑ Figura 1.28. Cables de alta tensión.



Rayón

El nombre de rayón ha sustituido a la primitiva denominación de seda artificial, a fin de eludir confusiones con la seda natural. Para su obtención se utiliza como materia prima desperdicios de algodón que, una vez lavados, nitrados y desecados, se disuelven en una mezcla de éter y alcohol y se hacen pasar a través de tubos capilares.

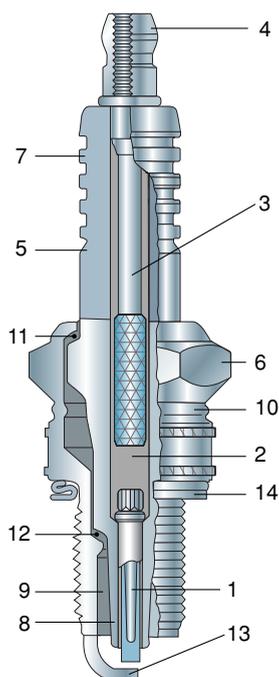


Ozono

Tres átomos de oxígeno forman una molécula de ozono.



↑ Figura 1.29. Bujía.



↑ Figura 1.30. Bujía.

por la parte inferior de la bujía y se une por su parte alta a través de vidrio fundido (2) (conductor de electricidad) a un perno de conexión de acero (3). Este perno termina en su parte superior con una tuerca de conexión (4) a la que se une el cable de alta tensión. Además de la función conductora, el vidrio realiza el anclaje mecánico de las piezas y garantiza la estanqueidad frente a los gases procedentes de la combustión.

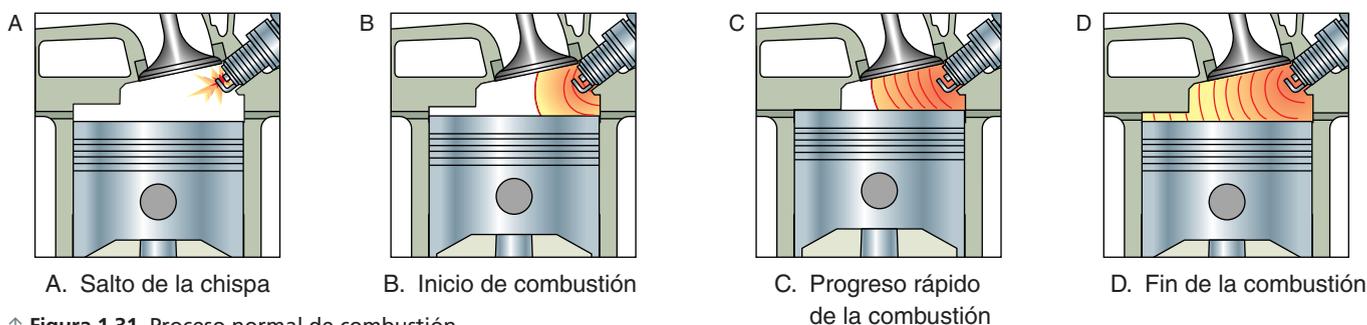
Un aislador (5) rodea al electrodo central y al perno de conexión; su función es incomunicar a los mismos con respecto al cuerpo (6). El aislador requiere unas características muy especiales, como son resistencia mecánica, dureza, alta rigidez dieléctrica y buena conductibilidad térmica. Se fabrica de óxido de aluminio (Al_2O_3) con aditivos de sustancias vídrias formando así un cuerpo cerámico. En su parte superior, lleva talladas unas nervaduras (7) que hacen de barreras a la corriente de fuga, mientras que por su parte inferior (8), llamada pie del aislador, envuelve al electrodo central con una determinada longitud y espesor en función de las cuales las bujías tendrán unas características u otras (en concreto, el grado térmico). Entre el cuerpo y el aislador se forma el espacio respiratorio (9).

El cuerpo fija la bujía a la culata. Es de acero niquelado con una zona roscada en la parte inferior para su acoplamiento a la culata y un fresado hexagonal en su parte superior para aplicar la llave de bujía. El aislador queda unido al cuerpo en una zona (10), llamada de contracción térmica, a la que se le aplica calentamiento inductivo a alta presión. Se interponen dos juntas (11 y 12) entre el cuerpo y el aislador, que hacen hermético el interior de la bujía al paso de los gases de la cámara de combustión.

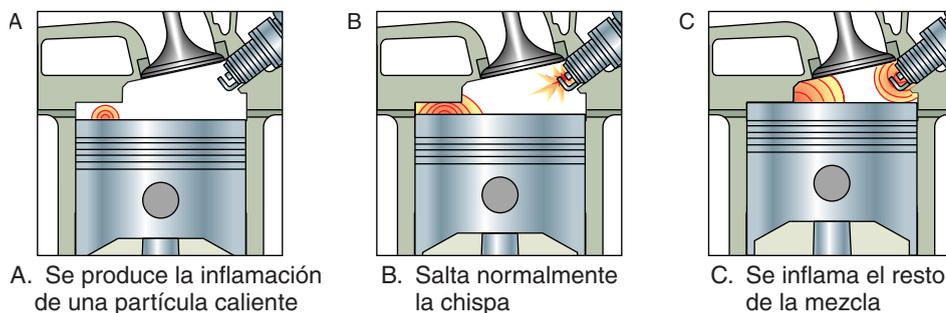
El electrodo de masa (13) está soldado al cuerpo y suele tener una sección rectangular. Al igual que el electrodo central, el electrodo de masa está sometido a altas temperaturas y a fuertes presiones, por lo que los materiales de fabricación suelen ser los mismos. La separación entre ambos electrodos constituye la denominada **distancia disruptiva** (distancia entre la que salta la chispa). Una junta arandela metálica (14), colocada entre la rosca y el asiento con la culata, forma una unión estanca de la bujía con la cámara de combustión.

Desarrollo de la combustión de la mezcla

Cuando se descarga la bobina de encendido, hay un aumento rápido de tensión entre los electrodos de la bujía hasta que se alcanza la tensión de encendido, momento en el que se produce la chispa con el fin de que se inicie la combustión. El proceso de combustión debe producirse avanzando en un frente continuo e uniforme (figura 1.31) cuando se cumplen una serie de condiciones como son: punto del encendido exacto, gasolina adecuada, proporción de la mezcla aire-gasolina correcta, buena distribución de dicha mezcla en la cámara de combustión, etc.



↑ Figura 1.31. Proceso normal de combustión.

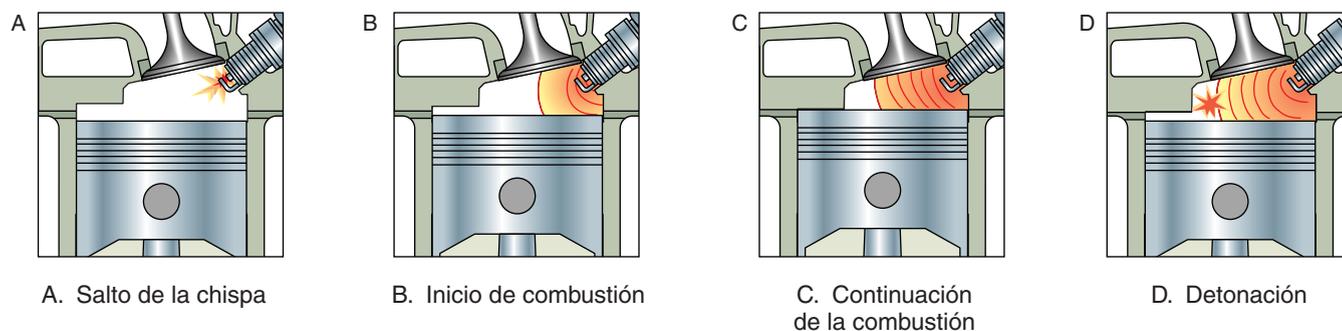


↑ Figura 1.32. Autoencendido.

Cuando salta la chispa y el proceso de la combustión no es el correcto, o incluso, cuando la combustión se produce por causas ajenas al salto de la chispa, aparecen algunos fenómenos que a continuación explicamos:

Con el **autoencendido** la combustión puede iniciarse por cualquier punto excesivamente caliente dentro de la cámara, como pueden ser en la válvula de escape, en puntas salientes de la junta de culata, en la punta del pie del aislador, bordes metálicos irregulares, depósitos de carbonilla, etc. El resultado es un frente de llama distinto al normal (figura 1.32) lo cual acarrea un aumento de temperatura y presión en la cámara de tal modo que eleva aún más la temperatura de los puntos calientes. Debido a esto, puede ocurrir que se alcance la presión máxima aun sin que llegue el pistón al PMS, con lo que habría un funcionamiento brusco del motor así como una pérdida de potencia. El autoencendido puede terminar por dañar a los órganos del motor, en especial al pistón (figura 1.33), las bujías (figura 1.34), los casquillos de la biela o las bielas propiamente dichas.

Otras veces, la combustión se inicia normalmente en la bujía y el frente de llama avanza en parte por la cámara de combustión mientras que el resto de la mezcla se incendia espontáneamente por alcanzar condiciones críticas de presión, temperatura y densidad. A este fenómeno se le llama **detonación** (figura 1.35). Este incendio espontáneo infunde una presión percutora a la cabeza del pistón que, en caso de ser muy intensa, puede causar daños al pistón (figura 1.36). La figura 1.37 nos muestra la curva de presión en el cilindro cuando hay compresión de los gases sin salto de chispa (1) y cuando hay combustión con detonación (2).



↑ Figura 1.35. Detonación.

La diferencia principal que hay entre la **detonación** y el **autoencendido** está en que en el primero la combustión se completa antes de tiempo mientras que en el segundo la velocidad de llama es más o menos normal. Es muy frecuente que a un autoencendido le siga la detonación y, por supuesto, una detonación continuada puede llevar al autoencendido.



↑ Figura 1.33. Daños ocasionados por autoencendido en un pistón.



↑ Figura 1.34. Daños ocasionados por autoencendido en una bujía.

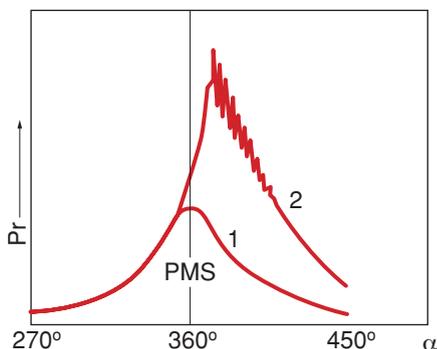


Autoencendido

Algún caso de autoencendido se puede detectar al ver que el motor no se detiene al desconectar el encendido.



↑ Figura 1.36. Daños ocasionados por detonación en un pistón.



↑ Figura 1.37. Curva de la presión en el cilindro.

- Pr. Presión en el interior del cilindro
- α. Ángulo de giro del cigüeñal
- 1. Presión obtenida por la compresión de los gases sin que salte la chispa
- 2. Combustión detonante

La detonación provoca una reducción del rendimiento, un calentamiento excesivo del motor y un ruido característico en el mismo (picado de biela) fácilmente perceptible.

Una relación de compresión elevada, mala refrigeración en el motor, gasolina inadecuada, avance excesivo del encendido, etc., son factores que contribuyen a que haya una detonación.

Temperatura de funcionamiento de una bujía y grado térmico

La temperatura que se alcanza en la cámara de combustión varía de unos motores a otros en función de la refrigeración, de la relación de compresión, etc. Sin embargo, la temperatura de funcionamiento de una bujía debe mantenerse por encima del límite de autolimpieza (500 °C) y por debajo del límite de inflamaciones prematuras (900 °C), independientemente del motor que se trate.

$$T_1 - T_2 = 500 \text{ a } 900 \text{ } ^\circ\text{C}$$

T_1 = Temperatura de la bujía en el interior de la cámara durante la combustión en °C.

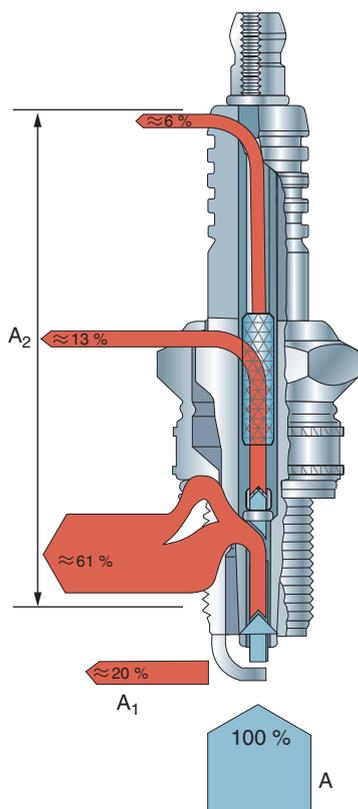
T_2 = Temperatura que evacua la bujía, en °C.

La bujía debe entregar al sistema de refrigeración, a través de la culata, la misma cantidad de calor que recibe en la combustión. La figura 1.38 nos da una visión del recorrido del calor en la bujía. Observamos que un 80% aproximadamente se evacua por conducción térmica, mientras que un 20% lo absorben los gases frescos de la admisión.

Si la temperatura debe ser la misma en todas las bujías y, sin embargo, la que se alcanza en las cámaras de combustión varía, evidentemente la capacidad de transmitir el calor al sistema de refrigeración difiere de unas bujías a otras. De ahí que se utilice el concepto de **grado térmico** de las bujías.

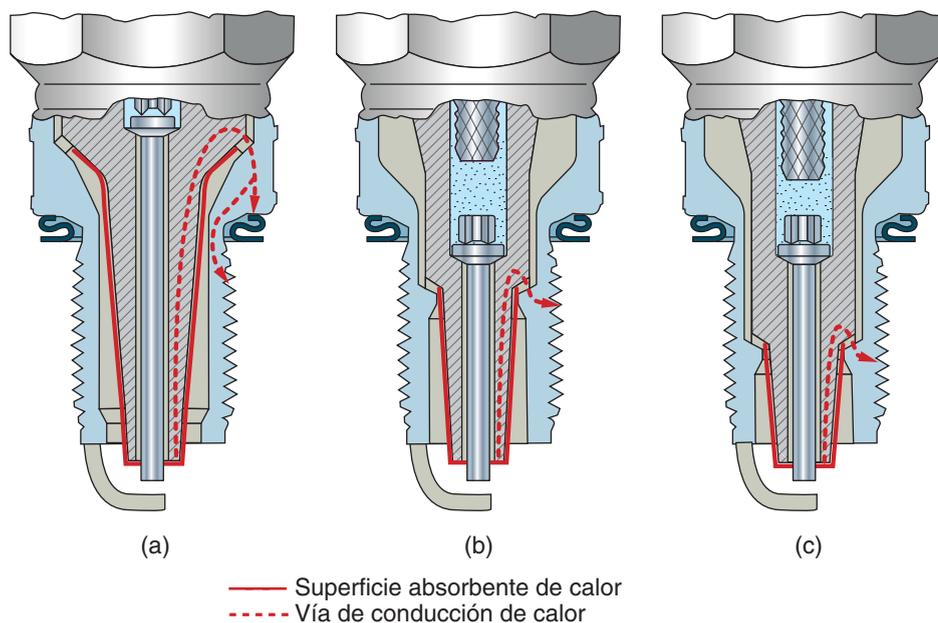
Las bujías se agrupan en tres categorías dependiendo de su facilidad de evacuación de calor:

- **Bujía caliente o bajo grado térmico** (figura 1.39a). El pie del aislador es largo por lo que la evacuación del calor se efectúa lentamente. Se usan en motores lentos de baja compresión o en aquellos que utilizan aceite en el combustible, en cuyas cámaras de combustión las temperaturas son bajas.



- A. Absorción de calor de la cámara de combustión
- A₁. Calor cedido a los gases frescos de la admisión
- A₂. Calor cedido a la culata a través del cuerpo metálico de la bujía

↑ Figura 1.38. Vías de derivación del calor en la bujía de encendido.



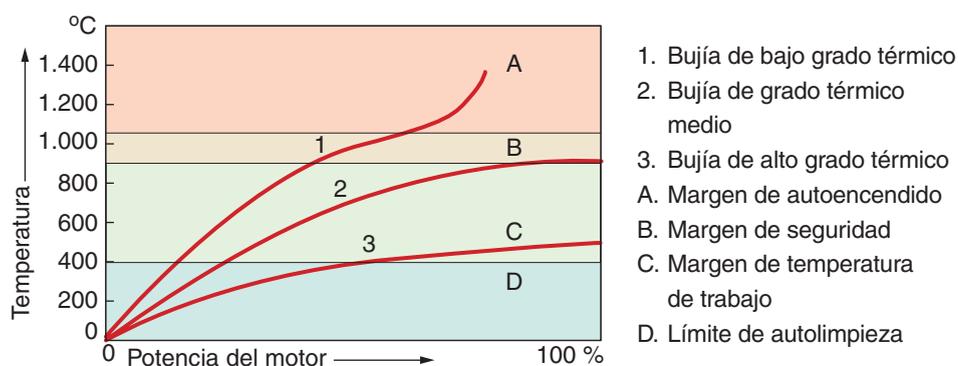
↑ **Figura 1.39.** Grado térmico de la bujía.

- **Bujía de grado térmico medio** (figura 1.39b). El pie del aislador es más corto que en la bujía anterior, por tanto la facilidad para evacuar el calor es mayor. Se utiliza en motores cuya relación de compresión es media.
- **Bujía fría o alto grado térmico** (figura 1.39c). El pie del aislador es muy corto y transmite rápidamente el calor al sistema de refrigeración. La utilizan aquellos motores de elevada compresión y altas revoluciones.

La figura 1.40 nos muestra las curvas de temperatura en bujías con diversos grados térmicos, montadas en un mismo motor y actuando este a plena carga.

Es muy importante que en la sustitución de las bujías de un vehículo, seleccionar la bujía correcta para cada aplicación. Por tanto, es recomendable seguir escrupulosamente las indicaciones del fabricante de la bujía, para asegurarse que cumple las especificaciones establecidas por el constructor del vehículo.

Para determinar el grado térmico, no sólo se tiene en cuenta la temperatura de la cámara de combustión sino también la probabilidad de inflamación, la cual se deduce mediante corriente de iones.



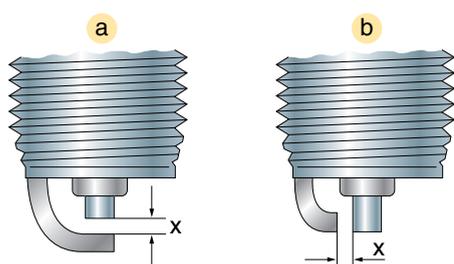
↑ **Figura 1.40.** Curvas de temperatura en bujías con diversos índices de grado térmico.

Distancia entre electrodos, tensión de encendido y tipos de electrodos

La distancia entre los electrodos de una bujía (figura 1.41) influye, entre otros factores¹, en la tensión de encendido. Una separación demasiado pequeña implica una tensión baja. Esto puede acarrear problemas debido a una transmisión insuficiente de energía a la mezcla con la consiguiente dificultad para inflamarla.

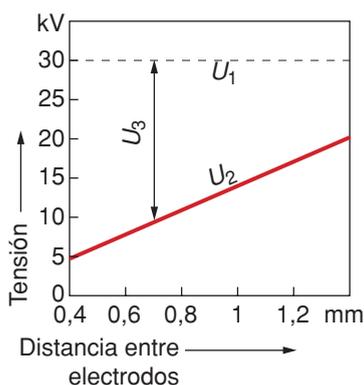
Por el contrario, una separación demasiado grande conlleva una elevada tensión de encendido, lo cual supone una reducción de la reserva de tensión, con el peligro de que haya más fallos en el encendido.

El valor de separación exacto lo determina el fabricante del motor. Normalmente oscila entre 0,7 y 1,1 mm. La figura 1.42 nos muestra un gráfico donde se aprecia la relación entre dicha separación y la tensión de encendido.



x. Separación de electrodos
a. En electrodo central
b. En electrodo lateral

↑ **Figura 1.41.** Distancia entre electrodos.

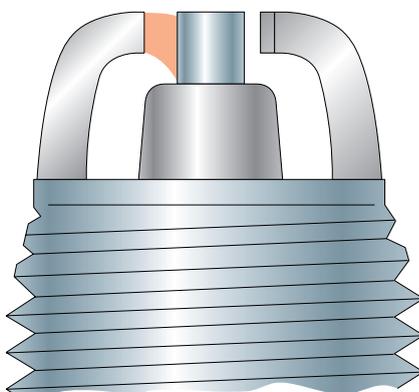


U_1 . Tensión de encendido disponible
 U_2 . Tensión de encendido necesaria
 U_3 . Reserva de tensión de encendido (disminuye al desgastarse los electrodos)

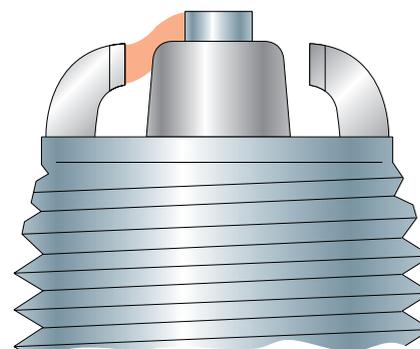
↑ **Figura 1.42.** Relación entre la tensión de encendido y la separación de electrodos.

La longitud de chispa queda determinada también por la disposición de los electrodos. Distinguimos dos tipos:

- **Longitud de chispa al aire** (figura 1.43). Los dos electrodos de masa están enfrentados al central. La chispa hace un recorrido directo entre el electrodo central y el de masa.
- **Longitud de chispa deslizante** (figura 1.44). Aquí los electrodos de masa están colocados lateralmente a la cerámica. La chispa se desliza desde el electrodo central por encima de la punta del pie del aislador y luego salta por una hendidura del vidrio al electrodo de masa. Es muy utilizada actualmente por su efecto positivo sobre la inflamación de la mezcla.



↑ **Figura 1.43.** Longitud de chispa al aire.



↑ **Figura 1.44.** Longitud de chispa deslizante.

¹ Otros factores son la forma del electrodo, la temperatura y el material del mismo, la composición de la mezcla, etc.

Con objeto de prolongar la duración de las bujías, se utilizan bujías con un mayor número de electrodos de masa (figuras 1.43, 1.44 y 1.45). La chispa salta siempre desde el electrodo central al electrodo de masa más próximo. Si la distancia aumenta, la chispa salta sobre el siguiente electrodo de masa que esté más cerca. Así se mantiene una separación entre los electrodos más homogénea y durante más tiempo.

Resistencia antiparasitaria

Algunas bujías están dotadas en su interior de una resistencia antiparasitaria con la finalidad de eliminar posibles interferencias eléctricas.

Identificación de las bujías

Las características de las bujías vienen grabadas mediante un código (cada fabricante utiliza el suyo propio) en el cuerpo o en el aislador de la misma.

Cada número o letra que interviene en ese código tiene un significado con respecto a las características de la bujía (en cuanto a grado térmico, separación de los electrodos, tamaño de rosca, etc.).

Existen tablas de equivalencias entre las distintas marcas de bujía y los modelos de vehículo a que están destinadas.

Análisis de las bujías según sus condiciones de trabajo

El aspecto que presentan los aisladores y los electrodos de las bujías permite conocer el funcionamiento de las mismas, al igual que el del motor.

A continuación se muestran distintos estados de bujías.

a. Normal (figura 1.46)

Pie del aislador de color blanco grisáceo o gris amarillento hasta pardo corzo. El motor está en orden y el grado térmico es correcto.

b. Cubierta de hollín (figura 1.47)

El hollín de color negro mate cubre el pie del aislador, electrodos y cuerpo de la bujía.

- **Motivos:** ajuste incorrecto de la mezcla (rica), filtro de aire sucio, conducción a bajo número de revoluciones, bujía demasiado fría.
- **Repercusión:** dificultades para arrancar en frío y fallos en el encendido.
- **Actuación:** ajustar la mezcla y revisar el filtro de aire. Si persiste el defecto, utilizar bujías más calientes.

c. Engrasada (figura 1.48)

El pie del aislador, cuerpo y electrodos están cubiertos de hollín aceitoso brillante o carbonilla aceitosa.

- **Motivos:** demasiado aceite en la cámara de combustión; segmentos, cilindros y guías de válvulas muy desgastados. Si se trata de motores de dos tiempos, excesivo aceite en la mezcla.
- **Repercusión:** fallos en el encendido y dificultades al arrancar.
- **Actuación:** repasar el motor, utilizar la mezcla correcta (si es en dos tiempos) y montar bujías nuevas.



↑ Figura 1.45. Bujía con varios electrodos de masa.



↑ Figura 1.46. Bujía normal.



↑ Figura 1.47. Bujía cubierta de hollín.



↑ Figura 1.48. Bujía engrasada.



↑ **Figura 1.49.** Bujía con depósito de plomo.



↑ **Figura 1.50.** Bujía con ceniza.



↑ **Figura 1.51.** Bujía con electrodo central fundido y electrodo de masa dañado.



↑ **Figura 1.52.** Bujía con electrodos soldados por fusión.

d. Depósito de plomo (figura 1.49)

Una vitrificación pardo-amarillenta (puede llegar a alcanzar un color verde) aparece en el pie del aislador.

- **Motivos:** uso de aditivos de plomo en el combustible.
- **Repercusión:** fallos en el encendido, ya que la capa se vuelve conductora cuando el motor funciona con cargas elevadas.
- **Actuación:** bujías nuevas.

e. Formación de ceniza (figura 1.50)

Una capa de ceniza se deposita sobre el pie del aislador en el espacio de ventilación y sobre el electrodo de masa.

- **Motivos:** los aditivos del aceite pueden ser los causantes de dicha ceniza.
- **Repercusión:** puede producir autoencendidos con pérdida de potencia y daños en el motor.
- **Actuación:** reparar el motor, usar bujías nuevas y otra clase de aceite.

f. Electrodo central fundido y electrodo de masa dañado (figura 1.51)

- **Motivos:** punto del encendido demasiado avanzado, residuos de combustible en la cámara, válvulas defectuosas, mala calidad del combustible, distribuidor deteriorado.
- **Repercusión:** fallos en el encendido, pérdida de potencia (daños en el motor).
- **Actuación:** revisar el motor, el encendido y la preparación de la mezcla y poner bujías nuevas.

g. Electrodos soldados por fusión (figura 1.52)

Poros esponjosos en los electrodos. Hay incrustación de materiales ajenos a la bujía.

- **Motivos:** punto del encendido demasiado avanzado, residuos de combustión en la cámara, válvulas defectuosas, distribuidor deteriorado, mala calidad del combustible.
- **Repercusión:** antes del fallo total (daños en el motor) se produce pérdida de potencia.
- **Actuación:** revisar el motor, el encendido y la mezcla y poner bujías nuevas.

h. Rotura del pie del aislador (figura 1.53)

- **Motivos:** deterioro mecánico (golpe, caída...), depósitos entre el electrodo central y el pie del aislador (en casos extremos), servicio excesivamente prolongado.
- **Repercusión:** fallos en el encendido, ya que la chispa salta en puntos indebidos.
- **Actuación:** revisar el motor y montar bujías nuevas.

i. Considerable desgaste en los electrodos (figura 1.54)

Hay una corrosión intensa.

- **Motivos:** aditivos agresivos en el combustible y en el aceite.
- **Repercusión:** fallos en el encendido (sobre todo al acelerar), dificultad para el arranque.
- **Actuación:** bujías nuevas.

j. Excesivo desgaste por quemadura en los electrodos (figura 1.55)

La bujía presenta un aspecto normal pero con desgaste.

- **Motivos:** las bujías han estado en servicio demasiado tiempo.
- **Repercusión:** fallos en el encendido (sobre todo al acelerar), dificultad para el arranque.
- **Actuación:** bujías nuevas.

Antes de describir los encendidos transistorizados y electrónicos diremos que el encendido electromecánico convencional tiene muchas limitaciones. Estas son algunas de ellas:

- Desgaste de las partes mecánicas (muelles, pesos centrífugos, eje del distribuidor, fibra del ruptor, etc.).
- Formación de arcos eléctricos que aparecen a bajo número de revoluciones cuando los contactos abren lentamente, con la consiguiente craterización en los mismos que dificulta el paso de la corriente.
- Posible rebote de contactos a muy altas revoluciones, con lo que disminuye la energía de encendido.
- La corriente del primario queda limitada entre 4 o 5 A, ya que con el ruptor no es posible cortar elevadas corrientes por la rapidez con que se queman sus contactos.
- Las bobinas estándar, empleadas en estos sistemas, necesitan más tiempo para alcanzar la corriente de saturación debido a la alta resistencia del primario (3 a 4 Ω). De esta forma, a altas revoluciones la energía proporcionada por la misma disminuye.



↑ Figura 1.53. Bujía con rotura del pie del aislador.



↑ Figura 1.54. Bujía con desgaste de electrodos.



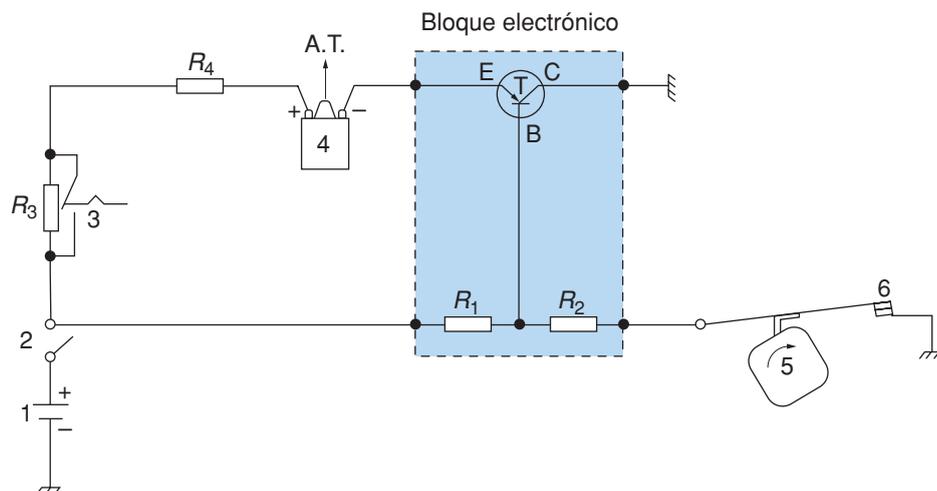
↑ Figura 1.55. Bujía con desgaste por quemadura de electrodos.

ACTIVIDADES PROPUESTAS

1. Un motor alcanza una temperatura de 2.300 °C en el interior de sus cilindros. Determinar la temperatura que tendrá que evacuar la bujía, para poder trabajar a su temperatura de autolimpieza (600 °C).

3. Encendido transistorizado comandado por contactos

Incorpora un bloque electrónico formado básicamente por un transistor de potencia cuya función es cortar la corriente del primario.



- | | | |
|--|-------------------------|---------------|
| 1. Batería | 4. Bobina | T. Transistor |
| R_1 y R_2 . Resistencias en puente divisor | A.T. Alta tensión | E. Emisor |
| 2. Interruptor de encendido | 5. Leva | B. Base |
| R_3 y R_4 . Resistencias adicionales | 6. Contactos del ruptor | C. Colector |
| 3. Conmutador para elevación de arranque | | |

↑ **Figura 1.56.** Esquema de un sistema de encendido transistorizado comandado por contactos.



Transistor

La mínima tensión que debe haber entre emisor y base para que el tramo emisor-colector se vuelva conductor ha de ser 0,7 V.

En un montaje Darlington la mínima tensión entre emisor y base del par Darlington debe ser 1,4 V.

Cuando los contactos del ruptor están cerrados se establece una diferencia de potencial entre los puntos E y B de más de 0,7 V debido al divisor de tensión que forman las resistencias R_1 y R_2 . Así tenemos una pequeña corriente (aproximadamente 0,4 A) (corriente piloto) que circula desde el interruptor principal hacia el emisor, a través del arrollamiento primario de la bobina, y la base del transistor. Esta corriente hace que fluya otra de mayor intensidad (entre 10 y 15 A) (corriente primaria) por dicho arrollamiento debido a que el transistor se hace conductor entre los puntos E y C.

Cuando se abren los contactos del ruptor, no hay diferencia de potencial entre la base y el emisor. Como consecuencia, el transistor se bloquea e interrumpe el paso de corriente por la bobina.

Las resistencias adicionales montadas en serie R_3 y R_4 , (esta puede estar integrada en el amplificador), limitan la corriente primaria en la bobina para evitar sobrecargas térmicas. La resistencia R_3 se puentea automáticamente en el momento de arranque con el fin de obtener una corriente primaria apropiada aunque haya caída de tensión en la batería.

Apreciamos cómo, en este sistema de encendido, el ruptor se encarga únicamente de controlar la corriente de base del transistor. Así el efecto de autoinducción de la bobina no influye en los contactos del ruptor, por lo que no es necesario un condensador para protegerlos.

Por lo que respecta a los dispositivos de avance, son los mismos que en un encendido convencional, por lo que evitamos explicarlos de nuevo.

Algunas ventajas de este sistema de encendido son:

- Mayor duración de los contactos del ruptor debido a la pequeña corriente que llega a los mismos.
- Posibilidad de utilizar una bobina de mayor rendimiento con baja resistencia de primario, ya que el uso del transistor permite aumentar la corriente primaria. Esto repercute de modo directo en la tensión inducida en el secundario, que será más elevada.
- Los contactos no están sometidos a la tensión de primario (sólo reciben 12 V) por lo que desaparece el arco de tensión entre ellos y por tanto el desgaste debido a este.

Entre los inconvenientes, al igual que en el encendido convencional, están:

- Variación del ángulo de cierre por desgaste de la fibra del ruptor y por rebote de contactos en altas revoluciones con los consiguientes fallos en el encendido.
- Limitaciones propias de la mecánica del sistema: fatiga del resorte, envejecimiento de los contactos, etc.

La figura 1.57 nos muestra la bobina, el bloque electrónico y las dos resistencias adicionales de este sistema de encendido.

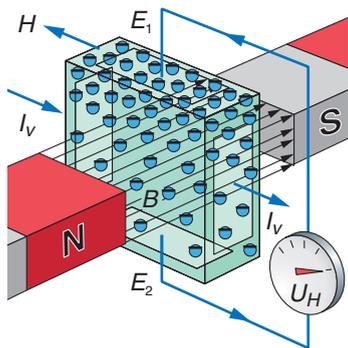


1. Bobina
2. Bloque electrónico
- 3 y 4. Resistencias adicionales

↑ **Figura 1.57.** Distintos componentes de un encendido transistorizado comandado por contactos.

4. Encendido transistorizado con generador de impulsos por efecto Hall

4.1. Funcionamiento



↑ Figura 1.58. Efecto Hall.

En este sistema de encendido, el ruptor es sustituido por un generador de impulsos que basa su funcionamiento en un efecto físico que se presenta en algunos semiconductores, el llamado efecto Hall que explicamos a continuación (figura 1.58).

Si un semiconductor (capa Hall H) de antimoniuro de indio, arseniuro de indio u otro similar se expone a la acción de un campo magnético (B) de tal forma que las líneas de fuerza actúen perpendicularmente al semiconductor, y al mismo tiempo se le aplica una corriente (I_v) entre sus extremos, se genera una tensión (U_H) entre los electrodos (E_1 y E_2) dispuestos entre sus caras opuestas. Esto es debido a que los electrones se desplazan en sentido transversal a la dirección de la corriente y del campo magnético.

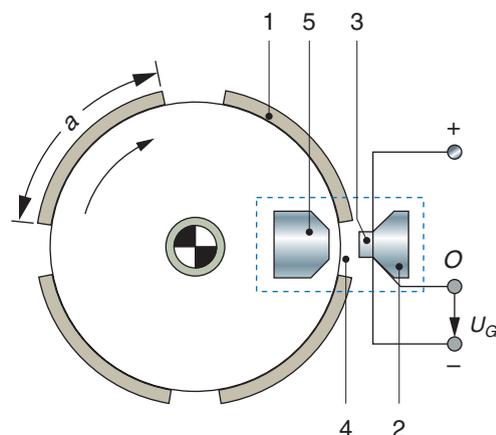
Si la intensidad de corriente (I_v) no varía, la tensión (U_H) aumentará al mismo tiempo que aumenta la intensidad del campo magnético.

Explicamos el funcionamiento del generador de impulsos propiamente dicho mediante la figura 1.59.

Está ubicado en el distribuidor y se compone básicamente de una parte fija (barrera magnética) y de una parte giratoria (pantalla magnética).

La barrera magnética está formada por un imán permanente con piezas conductoras del campo magnético y un interruptor electrónico (circuito integrado Hall) el cual incorpora la capa Hall y un amplificador de conmutación, entre otros componentes electrónicos.

Un sensor Hall siempre tiene tres conexiones, dos para la alimentación (+ y -) y una para la señal (O). La tensión de alimentación suele ser de 12 V. Esta alimentación se necesita porque el circuito integrado Hall es un sistema electrónico independiente y como tal requiere alimentación.



1. Pantalla magnética de anchura (a)
 2. Pieza conductora
 3. Circuito integrado Hall
 4. Entrehierro
 5. Imán y pieza conductora
- U_G . Voltaje emitido por el sensor Hall-integrado

↑ Figura 1.59. Generador de efecto Hall.

El eje del distribuidor va unido a las pantallas (el número de ellas es igual al de cilindros) que dirigen el campo magnético hacia la capa Hall cuando se colocan delante del imán, provocando así una tensión positiva en la salida del conjunto sensor Hall-integrado (figura 1.60). Esta tensión será utilizada para la excitación del bloque electrónico que se encargará de la puesta a masa del primario de la bobina. En el momento en que la pantalla abandona el entrehierro, el campo magnético deja de afectar a la capa Hall provocando que el conjunto sensor Hall-integrado deje de emitir voltaje, con lo cual la excitación del bloque electrónico desaparece y con ello se interrumpe el primario para dar lugar a la chispa en la bujía.

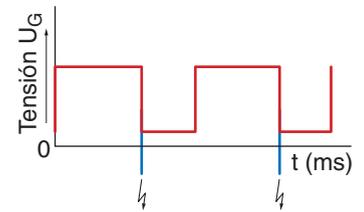
El ángulo de cierre viene determinado pues por la anchura de la pantalla magnética (a), por lo que permanece constante siempre y, como la anchura es idéntica para cada una de las pantallas, dicho ángulo es de igual magnitud para cada uno de los cilindros del motor.

Nos acercamos un poco más al funcionamiento del bloque electrónico a través de la figura 1.61.

Como se comentó anteriormente, la interrupción del circuito primario se realiza a través de dicho bloque. Cuando el generador Hall emite señal, esta llega a la base del transistor de excitación (3b) donde es amplificada y enviada a la etapa de salida Darlington (3c) para que conecte el primario de la bobina. En el momento de ausencia de señal, el transistor 3b deja de excitarse por lo que el *Darlington* 3c interrumpe dicho circuito primario.

El bloque 3a es un estabilizador de tensión para evitar que los puntos de desconexión-conexión del circuito integrado Hall varíen con la tensión del circuito de carga del vehículo.

La función de modular y amplificar (hasta cierta amplitud) los impulsos la realiza el circuito integrado Hall.

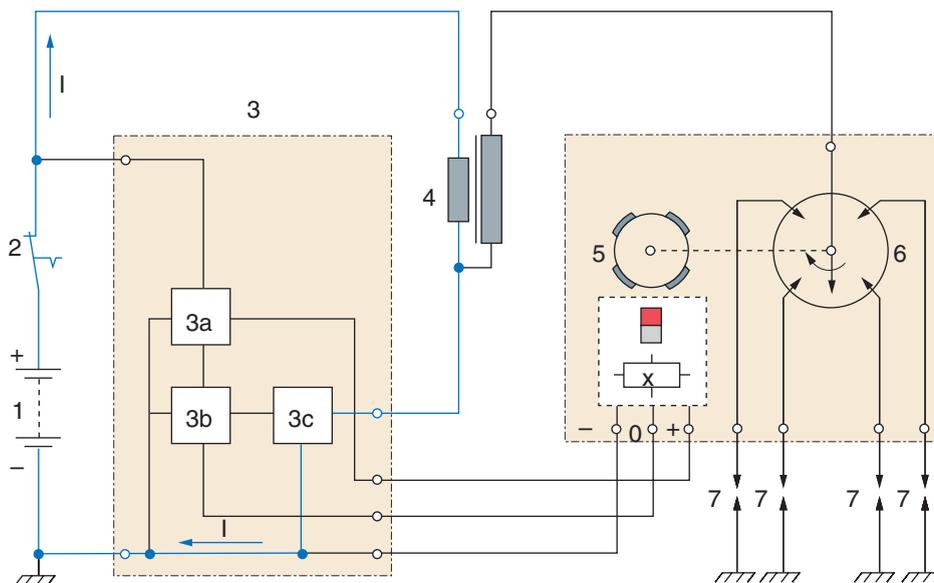


↑ Figura 1.60. Tensión de salida del sensor Hall-integrado.



Sensor Hall-integrado

En algunos modelos se puede dar algún caso en el que con la pantalla delante del imán, la tensión de salida del sensor Hall-integrado sea 0 y con el hueco delante del imán la tensión sea positiva.



↑ Figura 1.61. Conexión del bloque electrónico del encendido de efecto Hall.

1. Batería
2. Interruptor de encendido
3. Bloque electrónico
4. Bobina
5. Generador Hall
6. Distribuidor
7. Bujías

4.2. Características constructivas

La forma constructiva del distribuidor es la que se observa en la figura 1.62.

La barrera magnética va montada sobre la placa portadora, la cual puede girar un cierto ángulo por el efecto de la cápsula de depresión. El circuito integrado Hall se asienta sobre un soporte de cerámica y, junto con una de las piezas conductoras, está recubierto de una capa de plástico fundido para evitar la humedad y el ensuciamiento. La pipa y las pantallas, que forman una sola pieza, reciben movimiento del eje del distribuidor.

Con el giro de este, las pantallas se desplazan en el entrehierro para realizar la función correspondiente. Por último, apreciamos el cable trifilar que conecta el generador de impulsos.

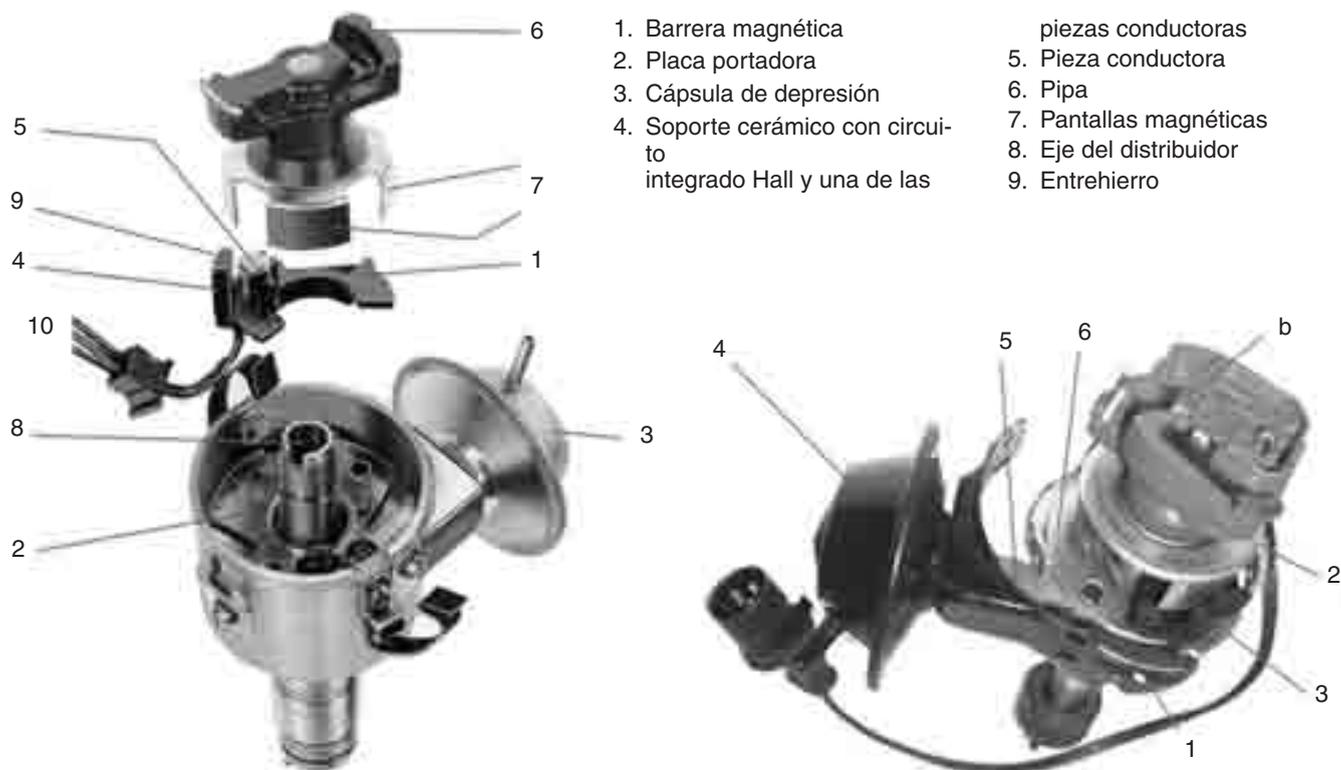
4.3. Variación del punto del encendido

Al igual que en los encendidos convencionales, el sistema de avance sigue siendo mecánico, mediante dispositivos centrífugos y por vacío (figura 1.63).

Durante el **avance centrífugo**, la acción de los pesos centrífugos (1) desplaza a la pipa (2), y con ella, las pantallas magnéticas (3), con respecto al eje de giro del distribuidor y en el mismo sentido que este.

En cambio, en el **avance por vacío** el pulmón (4) hace que el vástago (5) desplace a la placa portadora (6) en sentido contrario al de giro del eje del distribuidor. Por supuesto, en ambos casos el encendido resulta adelantado.

En la misma figura se puede apreciar que la pipa incorpora un limitador de giro (b). Hay que señalar que los limitadores de giro sólo se montan en algunos modelos.



↑ Figura 1.62. Distribuidor de encendido con generador Hall.

↑ Figura 1.63. Ubicación de los dispositivos centrífugos y por vacío en un distribuidor de encendido con generador Hall.

5. Encendido transistorizado con generador de impulsos por inducción

5.1. Funcionamiento

En este caso, existe un generador de impulsos eléctricos obtenidos por **inducción electromagnética** cuando hay variación de flujo magnético en el interior de una bobina.

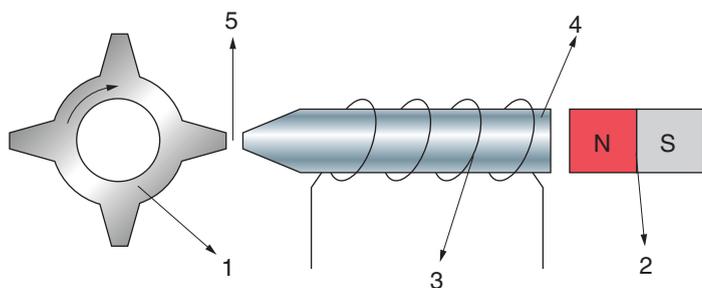
El generador, que como en el sistema anterior se encuentra ubicado en el distribuidor, está formado (figura 1.64) por un rotor (1) de acero dulce magnético unido al eje del distribuidor con tantos dientes como cilindros tiene el motor. El estátor o unidad magnética la conforman un imán permanente (2) y una bobina (3) arrollada sobre un núcleo magnético (4).

La señal generada por este sensor es la que muestra la figura 1.65, la cual describimos a continuación.

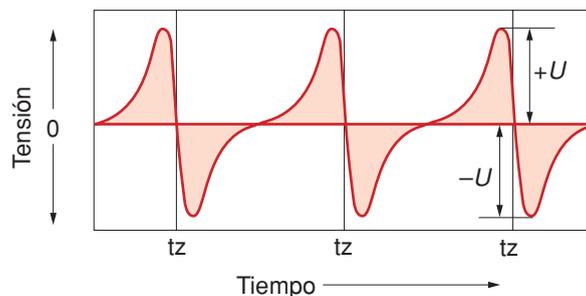
A medida que un diente del rotor se va acercando al núcleo, reduce el entrehierro (5) (figura 1.64) y asegura un mejor paso del flujo magnético en la bobina por lo que la intensidad de flujo en esta última aumenta. Esta variación de intensidad del flujo magnético hace aparecer en la bobina una tensión de sentido positivo. Justamente antes de enfrentarse los dientes, la tensión alcanza su valor máximo positivo (+U), ya que es en ese momento cuando el entrehierro disminuye con mayor rapidez.

Cuando el diente empieza a alejarse, el flujo magnético decrece, por lo que la tensión inducida en la bobina pasa a valores negativos hasta alcanzar su valor mínimo (-U).

Cuando los dientes están perfectamente alineados, la tensión inducida cae a cero, ya que es en ese instante cuando la tensión pasa de positivo a negativo. En ese momento tiene lugar el encendido (punto tz), pues se hace coincidir con la posición adecuada del pistón para que se produzca el salto de la chispa.



↑ **Figura 1.64.** Generador de impulsos por inducción (esquema fundamental).



↑ **Figura 1.65.** Transcurso temporal de la tensión alterna producida por el generador de impulsos por inducción.

La frecuencia generada en esta señal alterna corresponde al número de chispas por minuto:

$$f = z \cdot \frac{n}{2}$$

f = frecuencia (rpm)
 z = número de cilindros
 n = velocidad de rotación del motor (rpm)

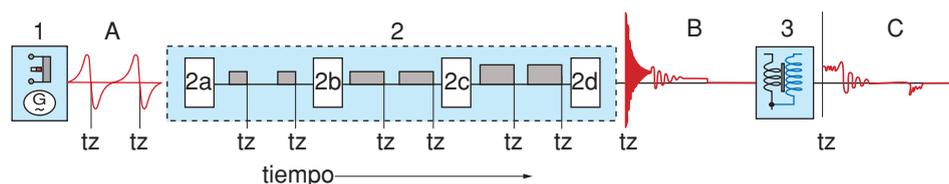


↑ **Figura 1.66.** Generador de impulsos según el principio de inducción.

La representación real del generador de impulsos la observamos en la figura 1.66.

La figura 1.67 muestra el proceso completo de la transformación de los impulsos de este sistema de encendido. El sensor inductivo genera la señal alterna al girar el distribuidor, donde los puntos t_z corresponden al salto de chispa. La tensión de pico generada por este sensor ($+U$, $-U$, figura 1.65) varía en función de la velocidad de rotación del motor, alcanzando valores entre 1 y 20 V. El sensor es capaz de generar voltajes realmente altos siempre que no se le pidan intensidades superiores a 10 miliamperios, por lo que es necesario amplificar la señal para su posterior utilización. De ello se encarga el bloque amplificador (2a), que transforma la señal alterna en una onda cuadrada. A continuación pasa al mando de cierre (2b), donde se aumenta su anchura o tiempo de activación en función del número de revoluciones, de modo que adopte una duración de cierre determinado.

Una vez establecido el ángulo de cierre, la señal es aplicada al amplificador (2c), donde se aumenta al valor necesario para controlar el transistor de potencia (2d), el cual conecta y desconecta la corriente primaria de la bobina al compás de los impulsos. Cada supresión de la corriente primaria genera un disparo de chispa en la bujía en el punto t_z .



- | | |
|--------------------------|---------------------------|
| 1. Generador de impulsos | B. Oscilograma primario |
| A. Señal del generador | 3. Bobina de encendido |
| 2. Bloque electrónico | C. Oscilograma secundario |

↑ **Figura 1.67.** Desarrollo de los impulsos de encendido transistorizado con generador por inducción.

El bloque electrónico de estos sistemas suele ir montado sobre el cuerpo del distribuidor. En cambio, en el encendido Hall, suele ser frecuente que la instalación de los bloques electrónicos se efectúe sobre radiadores de aluminio en zonas bien ventiladas del motor. En la figura 1.68 apreciamos un bloque electrónico típico.

5.2. Variación del punto de encendido

Al igual que en los encendidos convencionales, el sistema de avance sigue siendo mecánico; es decir, mediante dispositivos centrífugos y por vacío (figura 1.69).

En este sistema, a efectos del regulador, se sustituye el ruptor por el estátor y la leva por el rotor.

El **avance centrífugo**, formado por los contrapesos (1), desplaza al árbol hueco (2), al rotor (3) y a la pipa (4) con respecto al árbol del distribuidor (5) en el sentido de rotación. Así, los dientes de la rueda generadora de impulsos llegan a pasar antes por delante de los dientes del estátor (6), por lo que el encendido resulta avanzado.

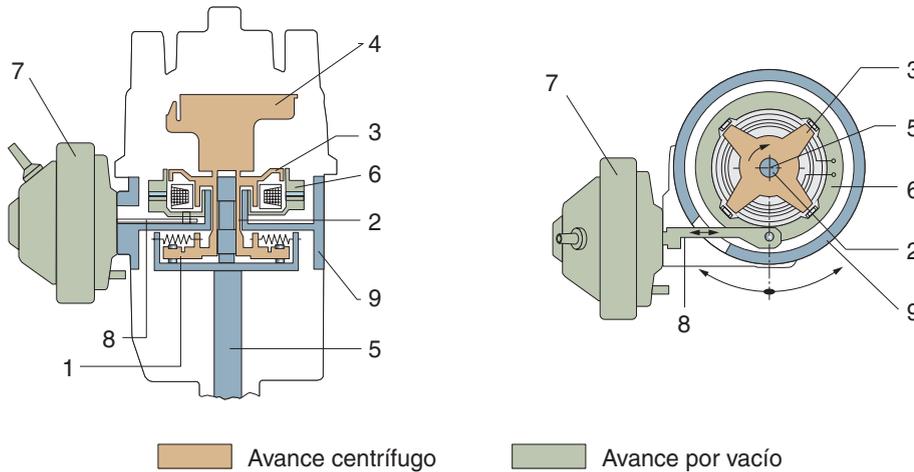


↑ **Figura 1.68.** Bloque electrónico.



Regulación del ángulo de cierre

La regulación del ángulo de cierre se explicará en el sistema de encendido siguiente.

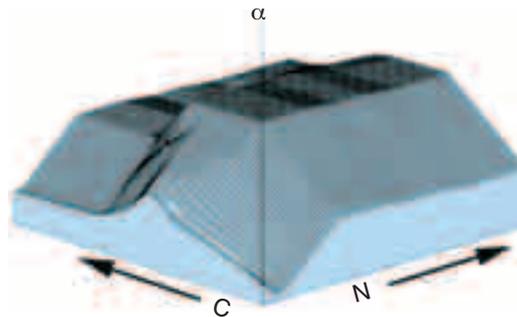


↑ **Figura 1.69.** Esquema de la acción combinada de los avances centrífugo y por vacío, con mando del encendido por generador de impulsos por inducción.

Cuando funciona el mecanismo de **avance por vacío** (7), la varilla de tracción (8) hace girar al estator con sus bobinas con relación a la placa portadora (9). El sentido de giro es contrario al giro del árbol del distribuidor, por lo que también avanza el encendido.

Por último, señalaremos, a través de la figura 1.70, un campo característico del ángulo de encendido de los sistemas de encendido con regulación mecánica.

N. Número de revoluciones del motor
C. Carga
 α . Ángulo de encendido



↑ **Figura 1.70.** Mapa tridimensional de los sistemas de encendido con regulación mecánica.

6. Ventajas de los encendidos transistorizados sin contactos

Algunas de las ventajas que ofrecen este tipo de encendidos son las siguientes:

- Desaparición del desgaste mecánico del sistema (leva, ruptor...), lo que conlleva a una mayor duración del sistema de encendido, así como desaparición del ajuste del mismo por desgaste (conocido por puesta a punto).
- La desaparición del rebote del ruptor provoca la posibilidad de realizar cortes de encendido más rápidos que permiten chispas más intensas y momentos de encendido más precisos. Al desaparecer el rebote a altas revoluciones, tenemos la posibilidad de tener chispas más efectivas a esas revoluciones.

Encendido Hall y encendido inductivo

Tanto este sistema como el anterior pueden ir provistos de resistencias en serie para la limitación de la corriente primaria. Una de ellas, al igual que el transistorizado con contactos, se puentea en el momento de arranque.

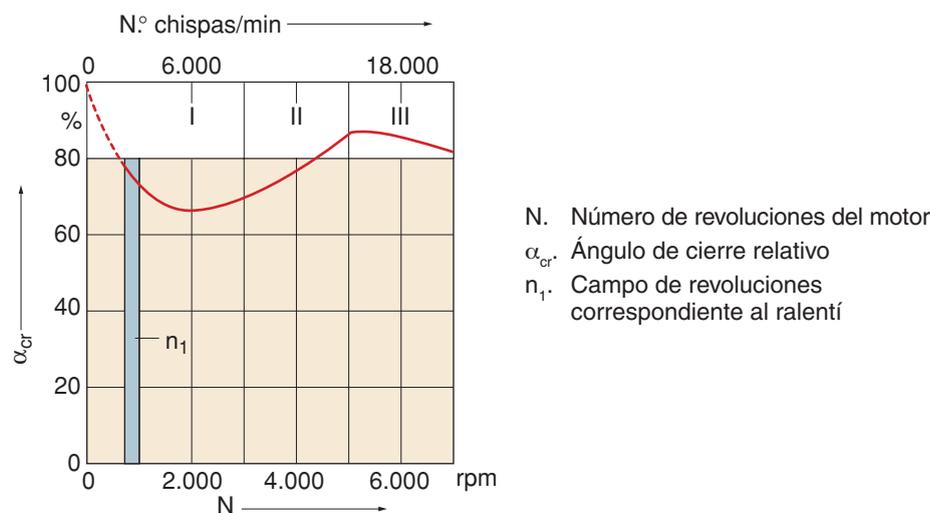
7. Encendidos transistorizados con regulación electrónica del ángulo de cierre, limitación de la corriente primaria y corte de la corriente de reposo

7.1. Generalidades

Estos sistemas consisten básicamente en los encendidos inductivos y Hall mejorados con la única diferencia con respecto a los explicados anteriormente del funcionamiento interno del módulo. En estos encendidos, el ángulo de cierre no es fijo y la cantidad de corriente que pasa por la bobina está limitada para que dicha corriente no varíe en función de la tensión de la batería y de la temperatura de los componentes del sistema de encendido. Todo esto, sin que ello afecte al momento de encendido.

El tiempo necesario para cargar una bobina de modo que produzca una chispa efectiva sólo depende de las características de la bobina, del circuito de excitación, de la tensión de batería y de las revoluciones. Estos módulos de encendido realizarán las siguientes modificaciones para lograr la correcta carga de la bobina, sin que exista un exceso de tiempo de carga de la misma que provocaría un sobrecalentamiento y un desgaste prematuro de los componentes del circuito de encendido.

7.2. Variación del ángulo de cierre con respecto al número de revoluciones

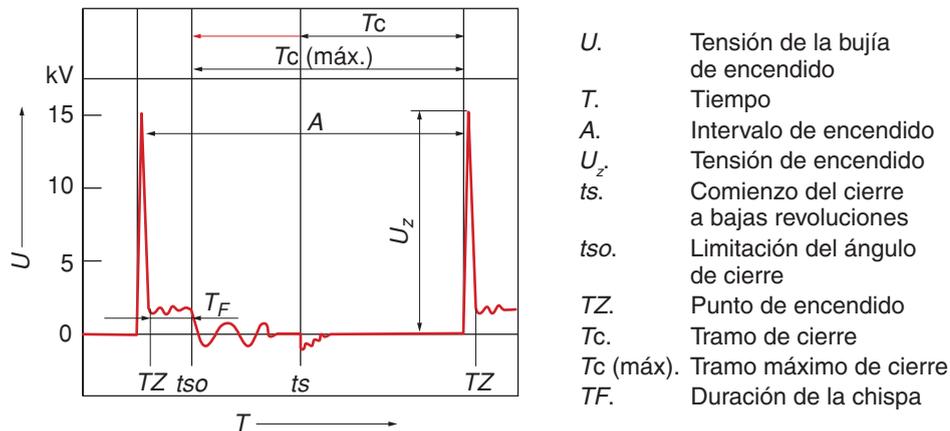


↑ **Figura 1.71.** Ángulo de cierre relativo en función del número de revoluciones del motor para motores de seis cilindros.

El tiempo de carga óptimo de la bobina a partir de un número determinado de revoluciones es fijo, de tal modo que el ángulo de cierre debe aumentar a medida que aumentan las revoluciones (sección II de la figura 1.71). Por otra parte, para

velocidades bajas de motor es conveniente aumentar la potencia de encendido para una correcta inflamación de la mezcla, para lo cual tendremos que aumentar el tiempo de carga de la bobina y, por tanto, el ángulo de cierre (sección I de la figura 1.71).

En algún sistema existe una limitación del ángulo de cierre para que este no se produzca antes de que termine la chispa cuando el motor gira a altas revoluciones (punto *tso* de la figura 1.72) por lo cual, una vez alcanzado ese punto, el tiempo de cierre disminuye a medida que aumentan las revoluciones, disminuyendo también el ángulo de cierre (sección III de la figura 1.71).



↑ **Figura 1.72.** Mando del ángulo de cierre relativo mediante la elección del comienzo del cierre, en función del número de revoluciones.

7.3. Variación del ángulo de cierre en función de la tensión de la batería

Como es sabido, la tensión del circuito de carga oscila entre los 9 V disponibles en el momento de arranque y los 14,5 V de regulación del alternador; por lo cual la tensión de carga de la bobina oscila entre esos valores. Para compensar las condiciones de bajo voltaje, el sistema debe aumentar el ángulo de cierre.

7.4. Limitación de corriente

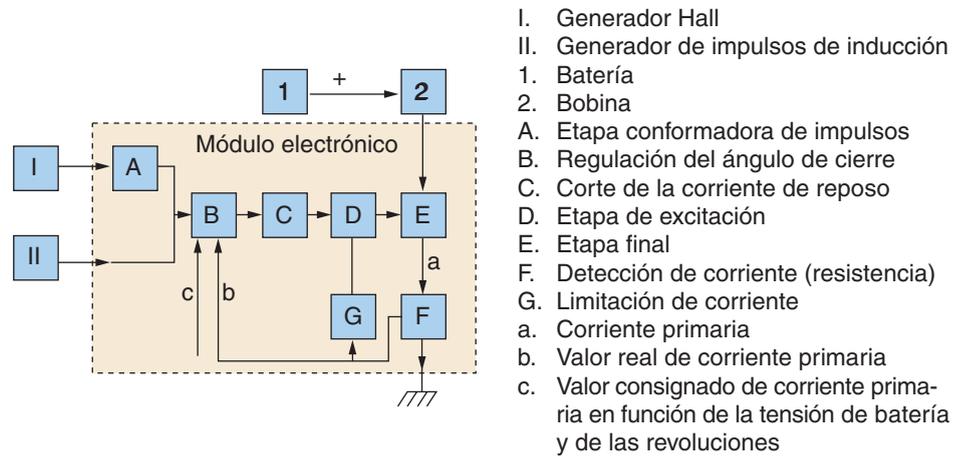
El sistema, a través de la variación del ángulo de cierre, nos proporciona el tiempo suficiente para cargar la bobina de encendido de manera efectiva, proporcionando siempre un exceso de carga a modo de margen de seguridad. Para evitar que este exceso de carga provoque un sobrecalentamiento de los distintos componentes del sistema de encendido, estos sistemas incorporan un limitador de corriente.

7.5. Desconexión del encendido a motor parado

Otra función del módulo electrónico es la de impedir que circule la corriente primaria con el encendido conectado y el motor parado, por lo que se evita un calentamiento excesivo de la bobina en estas condiciones.

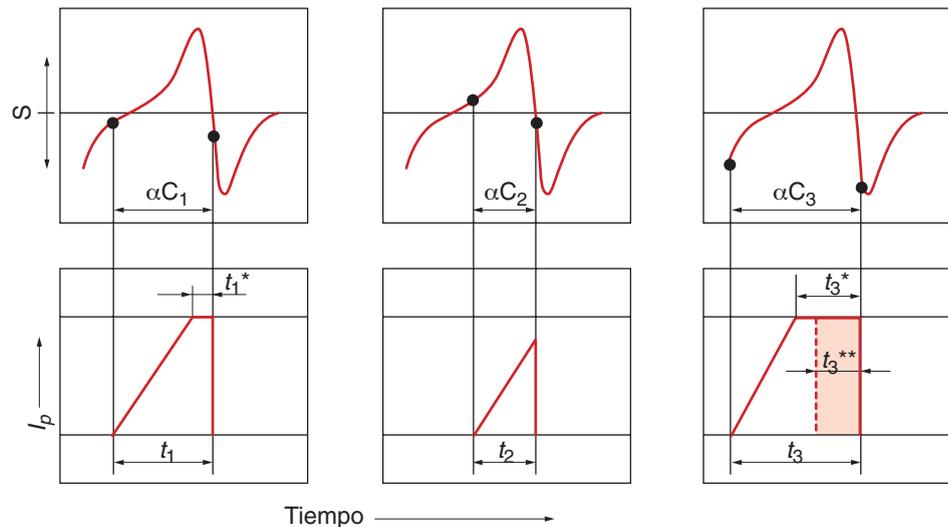
7.6. Funcionamiento

Para ver el funcionamiento de lo explicado anteriormente nos apoyamos en las figuras 1.73, 1.74 y 1.75.



↑ **Figura 1.73.** Esquema básico de funcionamiento del módulo electrónico con generador de impulsos inductivo o con generador Hall.

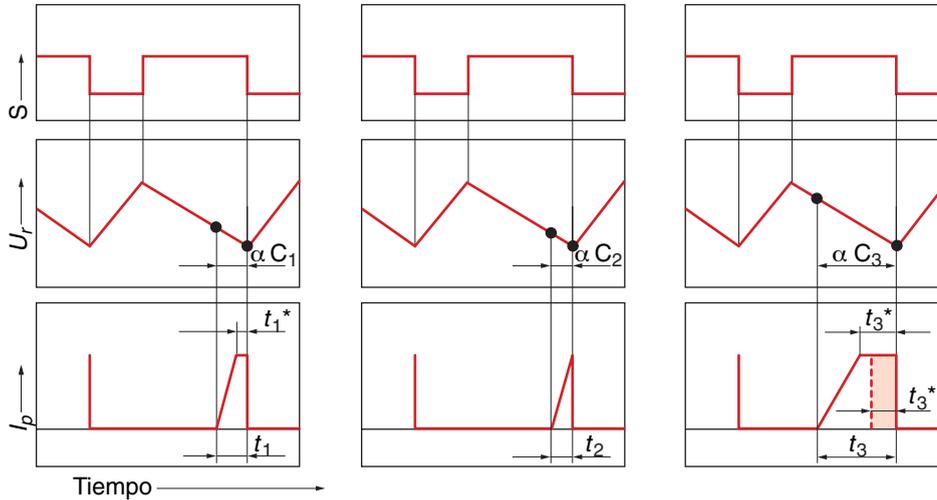
En los **encendidos inductivos** se consigue ángulo de cierre (figura 1.74) desplazando el nivel del disparador en el módulo electrónico. Apreciamos cómo, sobre la curva de la tensión del generador de impulsos, se desplazan los puntos de disparo hacia su zona negativa cuando el ángulo de cierre es demasiado pequeño; mientras que si el ángulo es demasiado grande el proceso se desarrolla de una forma inversa.



- S. Señal del generador de impulsos de inducción
- I_p . Corriente primaria
- αC_1 . Ángulo de cierre correcto
- αC_2 . Ángulo de cierre insuficiente
- αC_3 . Ángulo de cierre excesivo
- t_1, t_2 y t_3 . Tiempo guía para la etapa final
- t_1^* . Tiempo de limitación de corriente correcto
- t_3^* . Tiempo de limitación de corriente excesivo

↑ **Figura 1.74.** Variación del ángulo de cierre por desplazamiento del nivel del disparador en caso de generador de impulsos por inducción.

En los encendidos con generador Hall, al no haber señal analógica como en el caso anterior, se dispone de una etapa conformadora de impulsos que transforma la señal rectangular del generador Hall en una tensión de rampa triangular (figura 1.75). Los niveles del disparador se desplazan sobre la tensión de esa rampa cuando hay variación del ángulo de cierre. Por tanto, en este encendido el ajuste del ángulo de cierre, aparte de estar determinado por la anchura de la pantalla del tambor, puede ajustarse obviamente en el propio módulo electrónico.



- | | | | |
|--------------|---|----------------------|--|
| S. | Señal del generador Hall | t_1, t_2 y t_3 . | Tiempo guía para la etapa final |
| U_r | Tensión de rampa (etapa de formación de impulsos) | t_1^* | Tiempo de limitación de corriente adecuado |
| I_p | Corriente primaria | t_3^* | Tiempo de limitación de corriente excesivo |
| αC_1 | Ángulo de cierre correcto | t_3^{**} | Tiempo de cierre a eliminar |
| αC_2 | Ángulo de cierre insuficiente | | |
| αC_3 | Ángulo de cierre excesivo | | |

↑ **Figura 1.75.** Variación del ángulo de cierre por desplazamiento del nivel del disparador en caso de generador Hall.

A continuación vemos cómo es el proceso de limitación de la corriente primaria (figura 1.73).

El voltaje en la resistencia detectora de corriente es proporcional a la intensidad en el primario; por tanto, cuando se alcanza un determinado nivel de corriente también se alcanza un voltaje proporcional a esta. Al obtener el voltaje correspondiente a la intensidad de primario prefijada por el fabricante, el transistor de conmutación del primario comienza a aumentar su resistencia, limitando así la corriente en dicho arrollamiento.

Por último, mencionar que la etapa excitadora corresponde a la de los encendidos transistorizados conocidos.

ACTIVIDADES PROPUESTAS

- Inspeccionar un encendido de efecto Hall y otro inductivo en dos vehículos y anotar las diferencias que existen entre ellos.

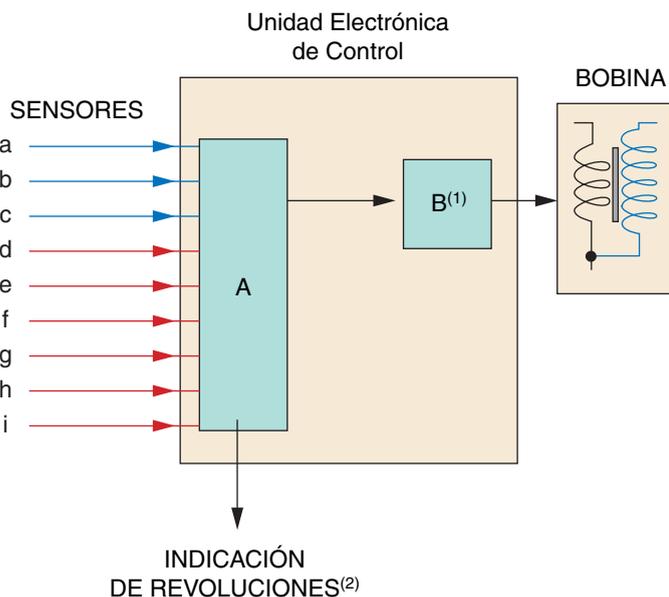


Unidades Electrónicas de Control

En modelos antiguos podemos encontrar Unidades Electrónicas de Control que solamente se encargan de la gestión del encendido.

8. Encendidos programados

En estos sistemas, la bobina está controlada y activada por una Unidad Electrónica de Control que ajusta su tiempo de carga, así como el momento preciso de encendido en función de una serie de datos que definen las condiciones de funcionamiento del motor tomadas a través de una serie de sensores (figura 1.76).



- | | |
|------------------------------------|----------------------------|
| A. Unidad de proceso de la señal | d. Temperatura del motor |
| B. Amplificador final de encendido | e. Temperatura del aire |
| → Señales imprescindibles | f. Indicación de octanaje |
| → Señales secundarias | g. Sensor de picado |
| a. Posición del motor | h. Posición de la mariposa |
| b. Revoluciones | i. Tensión de la batería |
| c. Carga del motor | |

⁽¹⁾ Puede ser externo a la centralita.

⁽²⁾ Para otros sistemas que lo necesitan (cuadro de instrumentos, sistemas de inyección, etc.). Suele ser una señal de onda cuadrada con frecuencia proporcional a la señal de giro del motor.

↑ **Figura 1.76.** Esquema base de los encendidos programados.

Estos sensores dan la misma información que los utilizados para los sistemas de inyección electrónica de gasolina. Por ello, los vehículos que instalaban inyección electrónica y encendido programado independientes se veían en la obligación de duplicar una parte de los sensores y establecer relaciones entre los dos sistemas.

Como en la actualidad todos los modelos de automóviles a gasolina montan sistemas de inyección electrónicos y los avances en la electrónica permiten que un único microcontrolador sea capaz de realizar todas las funciones necesarias para el control de la inyección, encendido y otras funciones adicionales, dichos sistemas de inyección incorporan ya el control de encendido.

Tanto los sensores como el funcionamiento de estos encendidos serán explicados en la unidad didáctica número 4.

ACTIVIDADES FINALES

AMPLIACIÓN

- 1. ¿Cuáles son los accesorios de encendido comunes a todos los cilindros?
- 2. ¿Por qué es necesario avanzar el encendido con el aumento de revoluciones?
- 3. ¿En cuál de estos dos casos está el encendido más avanzado? Explica el motivo.
 - a) Acelerador totalmente pisado.
 - b) Acelerador parcialmente pisado.
- 4. Explica la constitución de una bobina de encendido así como su funcionamiento.
- 5. ¿Se puede aumentar el voltaje de una corriente continua con un transformador?
- 6. ¿A qué se llama grado térmico en una bujía?
- 7. Interpreta una codificación de una bujía a través de un manual técnico de bujías.
- 8. Explica en qué consisten la detonación y el autoencendido.
- 9. ¿Qué efecto puede tener sobre el motor una bujía excesivamente fría?
- 10. ¿Qué es el efecto Hall?
- 11. ¿Cómo diferencias a simple vista un encendido con generador de impulsos por inducción de otro cuyo generador de impulsos está basado en el efecto Hall?
- 12. Dibuja un esquema simplificado de los dos encendidos anteriormente citados y explica su funcionamiento.
- 13. ¿Con qué objeto se utiliza la limitación de corriente en algunos sistemas de encendido?
- 14. Cita las ventajas de los encendidos transistorizados frente a los convencionales.

PARA PRACTICAR

HERRAMIENTAS

- Destornillador plano

MATERIAL

- 3 motores distintos

Identificación de encendidos no programados sobre el motor

OBJETIVO

- Saber identificar un encendido electromecánico convencional, un encendido transistorizado con generador de impulsos por efecto Hall y un encendido transistorizado con generador de impulsos por inducción.

PRECAUCIONES

- Procurar que los motores estén fríos.



↑ Figura 1.77.

DESARROLLO

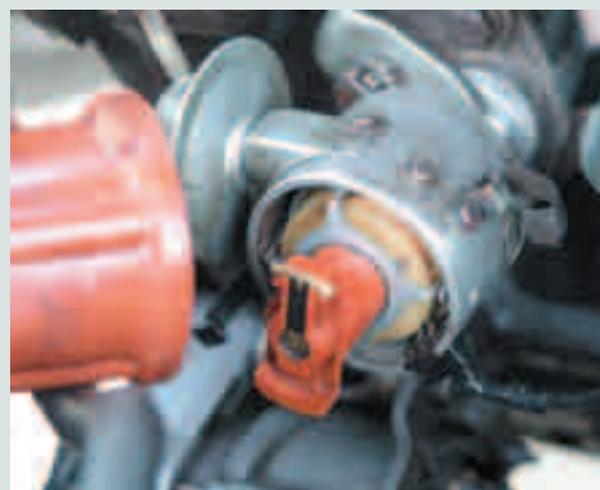
En la figura 1.77 se aprecia un encendido electromecánico convencional, se puede comprobar por el condensador. En caso de duda se abre la tapa del distribuidor para ver el ruptor.

En la figura 1.78 se muestra un encendido de efecto Hall. Se puede comprobar si al levantar la tapa del distribuidor se aprecian las pantallas magnéticas.

En la figura 1.79 aparece un encendido inductivo. Se puede comprobar por el generador de impulsos que lo caracteriza.



↑ Figura 1.78.



↑ Figura 1.79.

PARA PRACTICAR

Bujías: análisis de la punta de encendido e instalación correcta

OBJETIVO

- Conocer la gran importancia que tiene la apariencia de la punta de encendido de una bujía.
- Saber respetar las indicaciones suministradas por el constructor del vehículo para seleccionar la bujía adecuada y para apretarla correctamente al motor.

PRECAUCIONES

- Utilizar una llave de bujías y una llave dinamométrica adecuadas y en buen estado.
- Procurar que los motores estén fríos.

DESARROLLO

1. Extrae la bujía (figura 1.80).
2. Observa la punta del encendido de la bujía (figura 1.81). Recuerda que la apariencia de la punta de encendido de una bujía no sólo nos indicará si la bujía es adecuada o no para aquella aplicación, sino que también será un testigo para conocer el estado de funcionamiento del motor.
3. Mira en el manual técnico la bujía adecuada para el motor.
4. Aprieta la bujía con los dedos hasta que la empaquetadura (tuerca hexagonal en la parte superior del cuerpo metálico) toque la culata (figura 1.82).
5. Aprieta definitivamente la bujía con la llave dinamométrica. Un apriete excesivo puede producir la rotura del casquillo metálico, mientras que un apriete insuficiente ocasiona sobrecalentamiento de la bujía (figura 1.83).

HERRAMIENTAS

- Llave dinamométrica
- Llave de bujías

MATERIAL

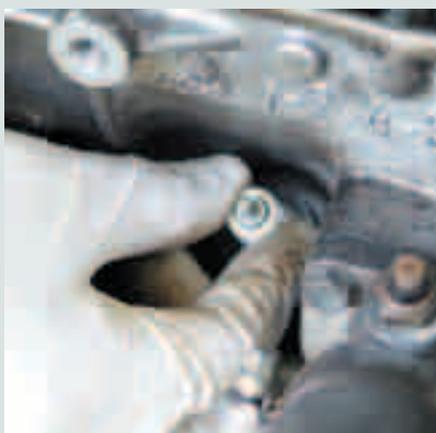
- Un motor
- Documentación técnica o manuales de fabricantes



↑ Figura 1.80.



↑ Figura 1.81.



↑ Figura 1.82.

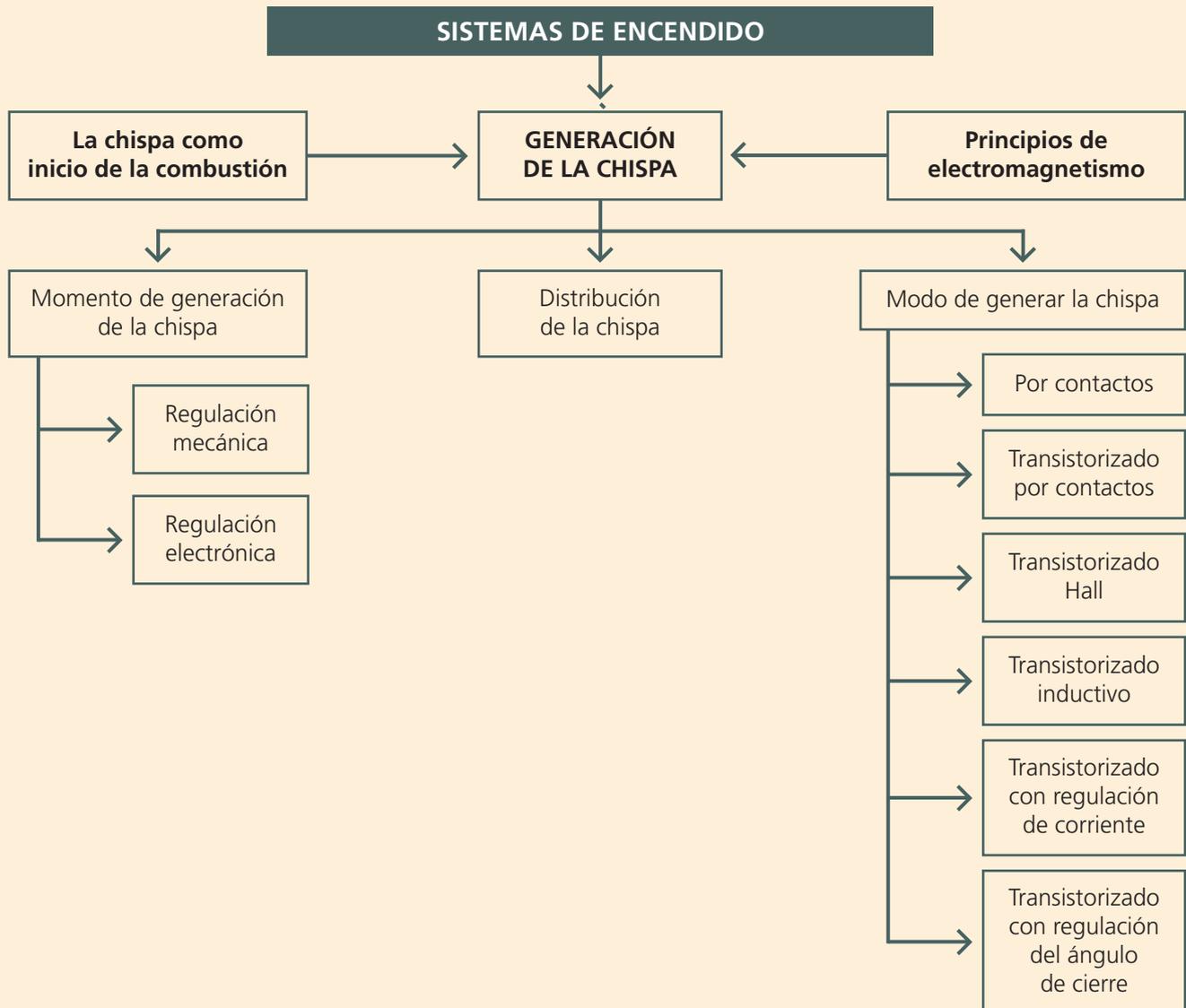


↑ Figura 1.83.

EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

- 1** Las líneas de fuerza de un imán se consideran por convención que:
- a) Salen del polo Norte al polo Sur.
 - b) Salen del polo Sur al polo Norte.
 - c) No hay líneas de fuerza en un imán.
 - d) Depende del imán.
- 2** ¿Qué nos dice la Ley de Lenz?
- a) El sentido de una corriente inducida es siempre tal que el flujo magnético que crea se opone a la causa que origina la corriente inducida.
 - b) La intensidad de corriente es inversamente proporcional a la resistencia.
 - c) La resistencia de un hilo es directamente proporcional a su longitud y a su resistencia específica.
 - d) El sentido de una corriente inducida es siempre tal que el flujo magnético que crea se suma a la causa que origina la corriente inducida.
- 3** El condensador sirve para:
- a) Evitar que se caliente el arrollamiento secundario de la bobina.
 - b) Que el circuito de encendido tenga mayor resistencia.
 - c) Evitar los picos de la extra-tensión de ruptura.
 - d) Variar el punto de encendido.
- 4** La temperatura de auto-limpieza de las bujías es de:
- a) 300 °C
 - b) 500 °C
 - c) 250 °C
 - d) Entre 800 y 950 °C
- 5** ¿Con qué objeto se montan varios electrodos de masa en algunas bujías?
- a) Para evitar los autoencendidos.
 - b) Para disipar mejor el calor.
 - c) Para conseguir una chispa más densa.
 - d) Para prolongar la duración de la bujía.
- 6** La capacidad de un condensador se mide en:
- a) Voltios.
 - b) Faradios.
 - c) Amperios.
 - d) Teslas.
- 7** En un montaje Darlington la mínima tensión entre emisor y base del par Darlington para que el tramo emisor-colector se vuelva conductor debe ser:
- a) 5 V
 - b) 0,7 V
 - c) 1,4 V
 - d) Varía según el tipo de transistor
- 8** El circuito integrado Hall de un sistema de encendido Hall, ¿necesita alimentación eléctrica?
- a) Siempre.
 - b) Nunca.
 - c) En los modelos modernos sí.
 - d) En los modelos modernos no.
- 9** En un encendido inductivo, la tensión entregada por el generador alcanza su valor máximo en el momento en que...
- a) El rotor gira a su velocidad mínima.
 - b) Salta la chispa en la bujía.
 - c) Los dientes del rotor y los del núcleo magnético están a punto de enfrentarse.
 - d) Los dientes del rotor y los del núcleo magnético están perfectamente alineados.

EN RESUMEN



AMPLÍA CON...

- Manual de la técnica del Automóvil (Bosch).
- Revista técnica Autovolt.
- Revista técnica Electrocar.
- Revista técnica del Automóvil.
- Evolucion (Fiat).
- Bujías de encendido (Bosch).

- Sistemas de encendido (Bosch).
- Electrónica aplicada al motor (Bosch).

- www.berton.es
- www.km77.com
- www.texa.it
- www.valeo.com