

3 | Sistemas de encendido

La función del sistema de encendido es inflamar la mezcla homogénea de aire combustible en el instante adecuado, en un motor de encendido provocado (MEP) la inflamación del combustible se produce en el interior del cilindro por medio de un arco eléctrico generado entre los electrodos de una bujía [1]. Para que un motor de encendido provocado funcione adecuadamente el salto de la chispa debe iniciarse antes de que el pistón llegue al PMS en fase de compresión, debido a que el proceso de inflamación de la mezcla aire-combustible en la cámara de combustión no es instantáneo. Este proceso presenta un retraso que impide que la máxima presión se consiga cuando el pistón se encuentre en el PMS. Además, la cantidad de energía requerida entre los electrodos de la bujía han obligado a mejorar los sistemas con el paso de los años, partiendo de sistemas de encendido convencionales activados por platinos, luego a encendidos electrónicos con distribuidor y poco a poco retirando los elementos mecánicos susceptibles a desgastes y desajustes, hasta encontrarse hoy en día con sistemas electrónicos comandados por una unidad de control [2].

Como se mencionó anteriormente, si la energía generada entre los electrodos de la bujía es insuficiente la mezcla no puede quemarse en su totalidad. Un factor importante en el estudio de los sistemas de encendido es el adelanto del punto de encendido, puesto que de este parámetro depende el par máximo del motor, las emisiones contaminantes y el consumo de combustible [3]. Para determinar el momento exacto en el que debe producirse el salto de la chispa se consideran variables como el número de revoluciones por minuto del motor, la carga y la temperatura. Como puede observarse en la Figura

3.1, una vez que el encendido de la mezcla aire-combustible ha sido producido por la bujía, tarda milisegundos para que se queme por completo, por lo cual este periodo de tiempo debe ser compensado con un adelanto en el salto de la chispa antes del PMS. Cuando la ignición se produce en el momento adecuado se generará un único frente de llama, seguido de un aumento progresivo en la presión capaz de generar una combustión completa. Por el contrario, si el salto de la chispa es demasiado amplio se producirá un fenómeno conocido como detonación, el cual provocará un aumento rápido de presión en la cámara de combustión seguido de la formación de múltiples frentes de llama. Posteriormente, la energía generada durante el proceso se disipará entre los diferentes frentes de llamas alojados el interior de la cámara de combustión impidiendo la formación de una combustión completa. Finalmente, si el salto de chispa se produce en un periodo de tiempo muy corto antes del PMS, los hidrocarburos no podrán ser quemados en su totalidad debido a la velocidad con la que ocurre el proceso.

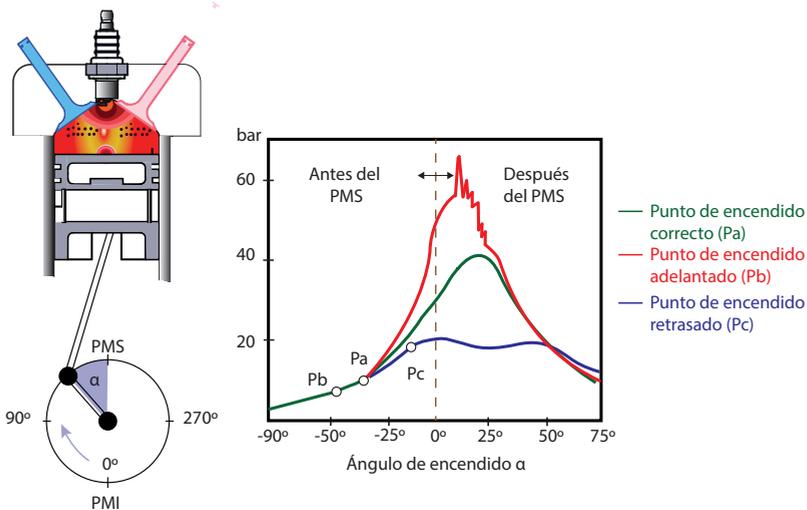


Figura 3.1. Influencia del ángulo de encendido en la combustión

En este capítulo se describen los sistemas de encendido más comunes en el medio, partiendo desde los sistemas activados mecánicamente

hasta llegar a los sistemas de activación y comando electrónico. Se realiza especial énfasis en el análisis de los fenómenos físicos de los sistemas, más que en la descripción de sus partes o elementos.

3.1. Sistema de encendido SZ

El sistema de encendido SZ, mejor conocido como encendido convencional por bobina, se puede visualizar en la Figura 3.2. Funciona por intermedio de contactos, lo que significa que la corriente generada por la bobina es conectada y desconectada mecánicamente por un ruptor ubicado en el interior del distribuidor [4]. A continuación, se describe el proceso de formación de corriente eléctrica en cada una de sus etapas.

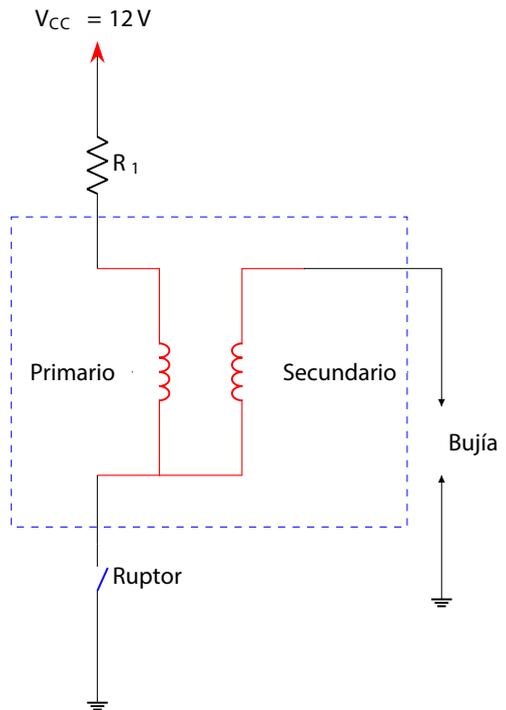


Figura 3.2. Circuito de encendido

3.1.1. Bobina

Es el elemento encargado de transformar la corriente de baja tensión de la batería y convertirla en corriente de alta tensión, necesaria para que se produzca la chispa entre los dos electrodos de la bujía [5]. La bobina está formada por un núcleo hecho de varias láminas de ferrita (hierro dulce), sobre el cual van acoplados dos arrollamientos conocidos como: primario y secundario.

- **Circuito primario:** es un bobinado de pocas espiras y alto calibre (si se compara con el secundario) en donde circula la corriente de la batería, por tanto, el campo magnético en el primario es proporcional a la intensidad de corriente.
- **Circuito secundario:** se trata de un bobinado compuesto por muchas espiras de calibre fino, en este bobinado se induce una fuerza electromotriz proporcional al campo magnético que es generado por el arrollamiento primario. Debido al número de espiras se produce una elevación considerable en el voltaje.

3.1.2. Circuito primario

En todo conductor que circule corriente eléctrica se induce una fuerza electromotriz proporcional al campo magnético, cuando se abren los contactos se induce flujo magnético al bobinado secundario y esta descarga corriente, produciendo el salto de la chispa en la bujía. La resistencia R_1 mostrada en la Figura 3.2 se coloca para proteger los contactos del ruptor, mientras el condensador intenta eliminar el fenómeno de autoinducción producido por los picos de voltaje del secundario sobre el primario.

El oscilograma presentado en la Figura 3.3 muestra el comportamiento del bobinado primario de un sistema de encendido compuesto por una inductancia de 3Ω y 16 mH. En la etapa A del gráfico, cuando el ruptor se encuentra en estado abierto, no existe circulación de corriente y el voltaje del circuito se establece en 12 V. Posteriormente en la etapa B, al producirse el cierre de los contactos del ruptor (platinos) el circuito se deriva a masa, lo que ocasiona un aumento en la corriente de

0 a 4 A en forma de diente de sierra. Posterior al cierre del ruptor mostrado en C, la corriente se interrumpe, el voltaje en el bobinado primario intenta establecerse en 12 V, pero debido a un fenómeno de autoinducción del bobinado secundario sobre el primario durante el proceso de generación de la chispa entre los electrodos de la bujía para la inflamación de la mezcla aire-combustible se desarrolla un pico de voltaje que puede alcanzar los 80 a 90 V.

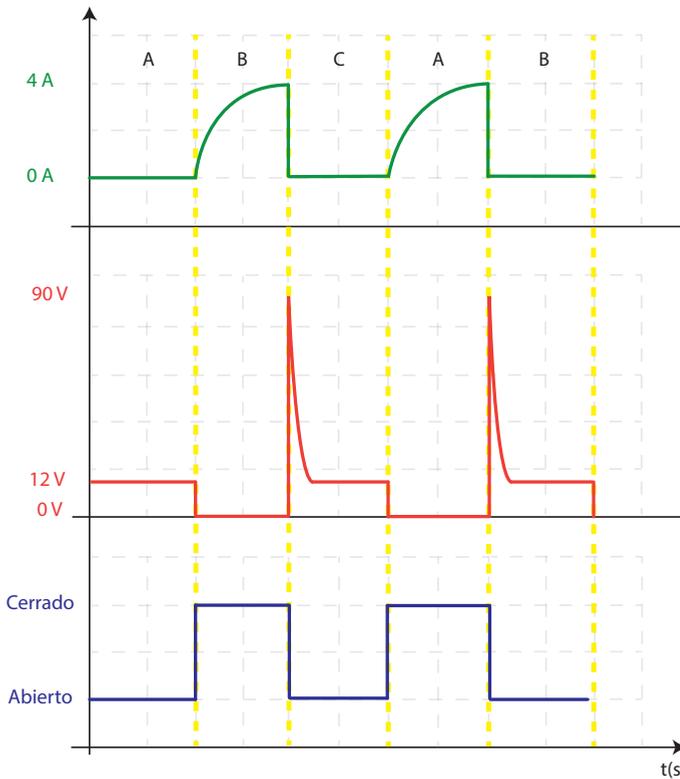


Figura 3.3. Oscilograma corriente voltaje y estado del ruptor en el circuito primario

Todo dispositivo que posee una inductancia genera una curva con un pico característico debido al cierre del contacto (ruptor), porque parte del campo magnético almacenado en el núcleo regresa al bobinado primario. La inductancia genera una curva y por ello requiere de un

tiempo adecuado de carga (periodo *dwell*) para obtener un valor de 4 A como se puede verificar en la Figura 3.4.

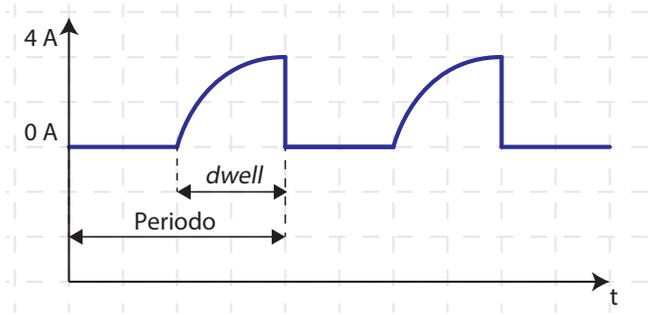


Figura 3.4. Oscilograma del periodo *dwell*

Como se observa en la Figura 3.5, el tiempo útil de trabajo es específico para cada bobina, si el periodo *dwell* es corto no se alcanza la corriente óptima requerida y si es excedido se incurre en un desperdicio energético.

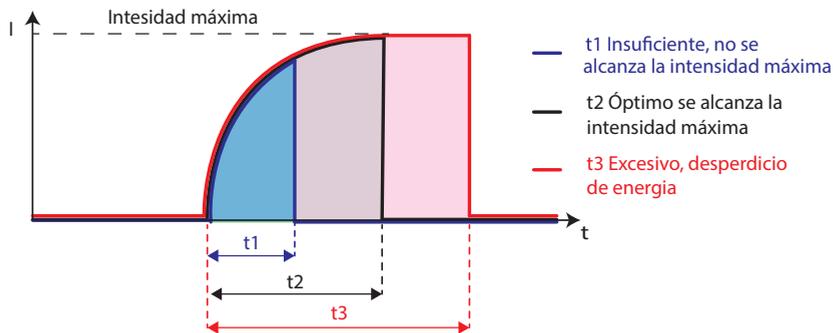


Figura 3.5. Oscilograma de intensidad acorde al tiempo de apertura del ruptor

En la Figura 3.6 se observa que un capacitor puede ser colocado en paralelo al ruptor para evitar que se produzca un arco eléctrico entre los contactos cada vez que el mecanismo realice una apertura o un cierre.

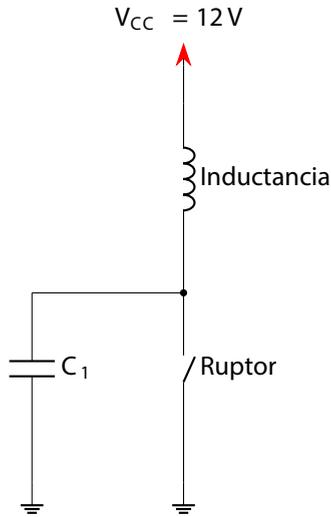


Figura 3.6. Ubicación del condensador en el circuito de encendido

Según se puede visualizar en la Figura 3.7, la variación del valor de la capacitancia es directamente proporcional con el valor del voltaje pico, con un condensador de $0.18 \mu F$ (ver Figura 3.7a) se produce una distorsión del voltaje evitando que se cierre por completo. Para un valor de capacitancia de $0.45 \mu F$ (ver Figura 3.7b) se produce un voltaje pico muy bajo y para una capacitancia de $0.22 \mu F$ se obtiene voltaje pico adecuado sin la presencia de distorsiones de voltaje, obteniéndose un oscilograma ideal (ver Figura 3.7c).

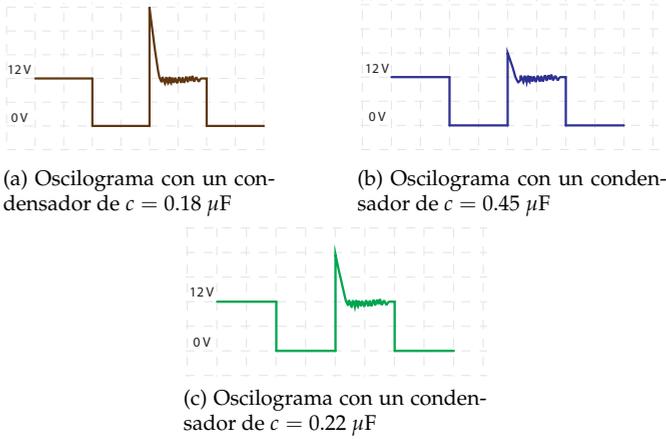


Figura 3.7. Oscilograma del voltaje acorde a diferentes condensadores

El periodo *dwell* se mide en porcentaje y garantiza un tiempo de apertura adecuado, representa la relación entre el tiempo de apertura y cierre del contacto. Este periodo *dwell* se mantiene constante y regula el trabajo en un valor de $48\% \pm 2\%$, aun si el número de revoluciones aumenta como se ve en la Figura 3.8.

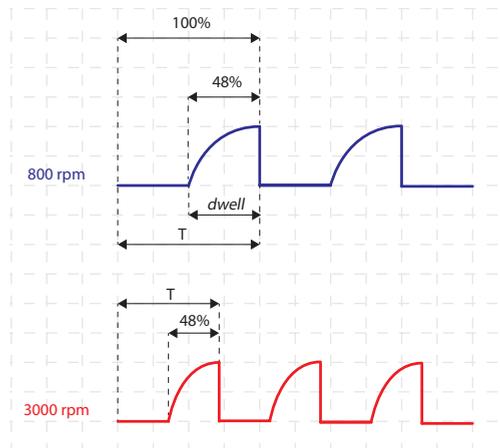


Figura 3.8. Oscilograma tiempo variable-*dwell* constante

3.1.3. Circuito secundario

El circuito secundario está conformado por el devanado de alta tensión de la bobina, los cables y las bujías, cuando la corriente eléctrica circula por el arrollamiento del circuito primario se induce un campo magnético. Este campo es transferido al circuito secundario el cual está formado por un cable de menor calibre pero con mayor número de espiras. De esta forma, se logra una elevación de voltaje y una disminución de intensidad como se representa esquemáticamente en la Figura 3.9.

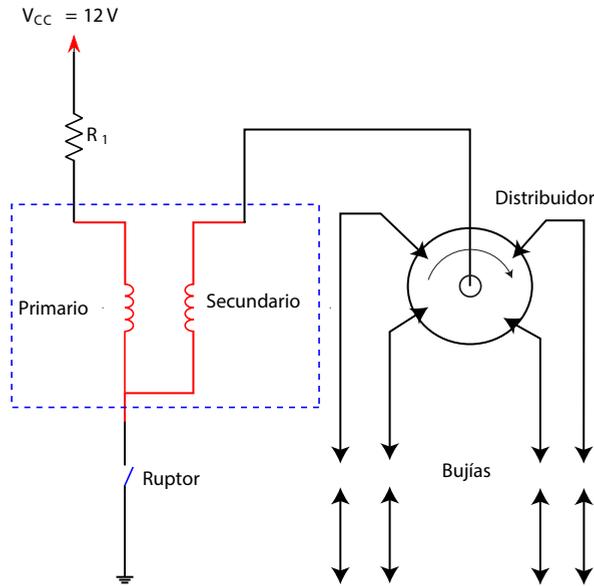


Figura 3.9. Ubicación del circuito secundario en el sistema de encendido

Para que se produzca la chispa entre los electrodos de la bujía, es necesario que el raptor permanezca cerrado durante un período denominado tiempo de carga (*dwell*). Durante este tiempo, se genera un campo magnético en la bobina primaria. Cuando el raptor se abre, el colapso repentino de este campo magnético induce una corriente de alta tensión en el bobinado secundario. Este incremento de voltaje genera un pico de voltaje de encendido, suficiente para superar la resistencia al paso de electrones en el espacio entre los electrodos de la bujía. Una vez que

se alcanza este voltaje, se produce la chispa, provocando la ignición de la mezcla de aire y combustible en el cilindro. Finalmente, el sistema experimenta un proceso de amortiguamiento hasta que la corriente se estabiliza, preparando el ciclo para la siguiente chispa como se muestra en la Figura 3.10.

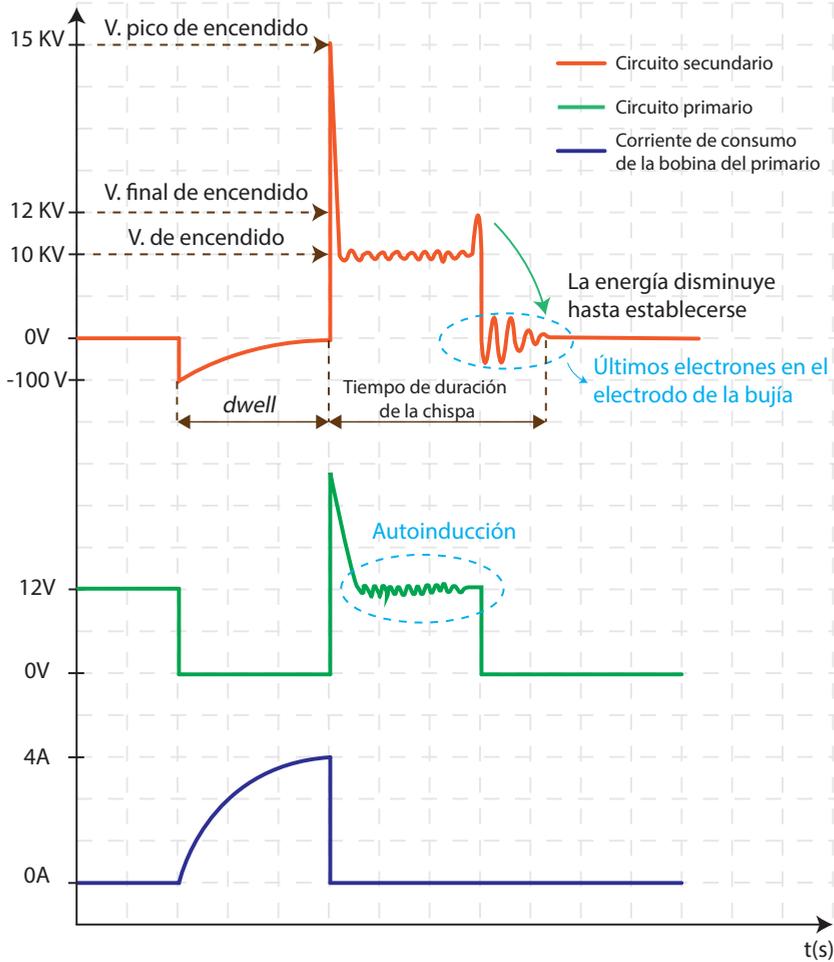


Figura 3.10. Oscilograma del sistema de encendido del circuito secundario

Generación del arco eléctrico entre los electrodos de la bujía.

- La bobina es el dispositivo usado para causar la elevación de voltaje de los 12 V disponibles en la batería hasta una tensión de aproximadamente 15 kV en el devanado secundario de la bobina. Este voltaje elevado es necesario para producir el salto de electrones desde el electrodo central hacia el electrodo de masa de la bujía.
- El voltaje que genera la chispa para el encendido de la mezcla es producido por la acumulación de electrones en el electrodo central de la bujía, la cual ocurre cuando se cierra el contacto en el distribuidor. Esto genera un valor pico de voltaje suficiente para ionizar el aire (ver Figura 3.11). Posteriormente, ocurre un descenso en la tensión conocido como voltaje de encendido momento en el cual se inicia el proceso de combustión en la cámara.
- En el circuito primario y secundario el periodo *dwell* permanece constante.
- La resistencia representa la oposición al salto de la chispa que se produce entre los dos electrodos (es decir, al paso de electrones). Una mezcla pobre presenta mayor resistencia al salto de la chispa debido a que el aire muestra mayor resistencia, mientras una mezcla rica facilita la ionización del aire, lo que contribuye a una combustión más eficiente.



(a)
Acumulación de electrones en el electrodo central de la bujía

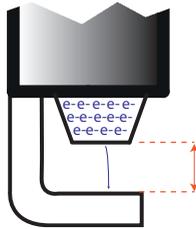


(b)
Flujo de electrones

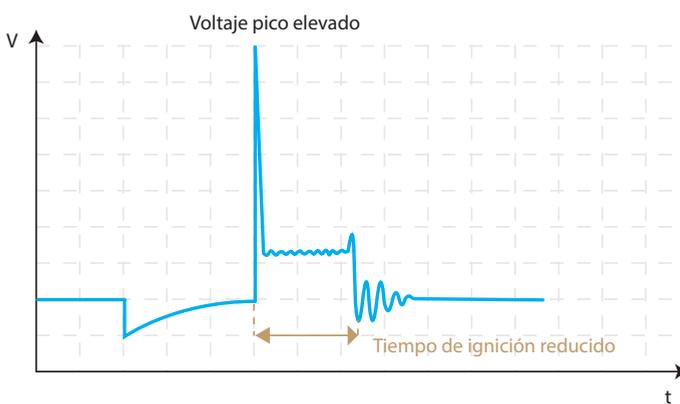
Figura 3.11. Proceso de ignición de una bujía

Influencia de la distancia de separación entre los electrodos para el salto de la chispa

Con una mayor separación entre los electrodos de la bujía, el voltaje pico aumenta, lo que disminuye el voltaje de encendido y reduce la duración de la chispa (ver Figura 3.12), esto puede provocar una combustión incompleta.



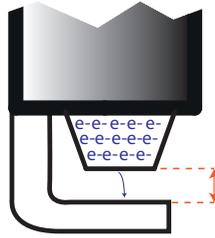
(a) Mayor distancia para el salto de la chispa



(b) Oscilograma del voltaje con una distancia mayor para el salto de la chispa

Figura 3.12. Distancia mayor para el salto de la chispa

Por el contrario, si la distancia de separación disminuye, el voltaje pico es menor y el tiempo de encendido se incrementa como se puede observar en la Figura 3.13.



(a) Menor distancia para el salto de la chispa



(b) Oscilograma del voltaje con una distancia menor para el salto de la chispa

Figura 3.13. Distancia menor para el salto de la chispa

Influencia del dosado de la mezcla en el oscilograma secundario

El electrón necesita energía para desplazarse puesto que debe abrirse paso entre las partículas de combustible y ser capaz de ionizar el oxígeno en el interior del cilindro. Además, la presión existente en la cámara de combustión genera una oposición al salto de la chispa. Una mezcla rica favorece una combustión más eficiente. Un esquema del proceso se muestra en la Figura 3.14

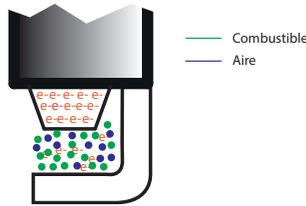
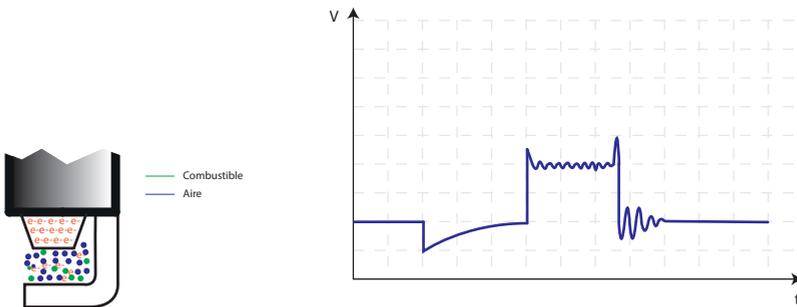


Figura 3.14. Electrón entre las partículas de combustible y aire

El oscilograma generado varía con el tipo de mezcla (pobre, rica, estequiométrica e ideal) como se estudiará a continuación.

Mezcla pobre

No hay voltaje pico porque la resistencia es muy baja en el interior de la cámara de combustión, las oscilaciones generan desorden molecular, y producen un aumento en la temperatura sin la generación de trabajo como se visualiza en la Figura 3.15.



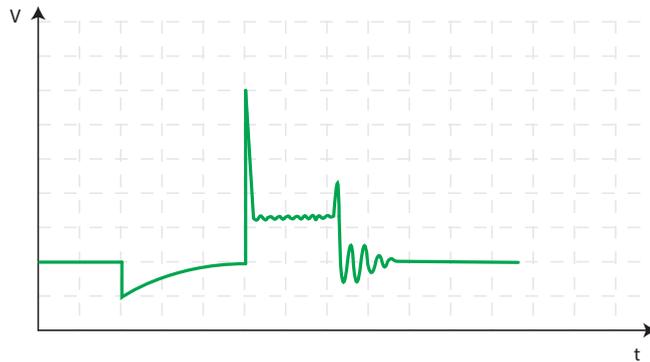
(a) Electrón saltando en una mezcla pobre

(b) Oscilograma del voltaje en con una mezcla pobre

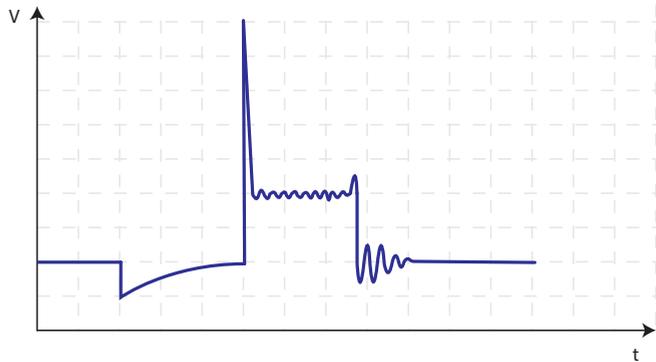
Figura 3.15. Comportamiento durante mezcla pobre

Mezcla estequiométrica y rica.

Como se observa en la Figura 3.16, la mezcla rica produce un pico más alto en comparación con la mezcla estequiométrica debido a que en la cámara de combustión se presenta una mayor oposición al salto de la chispa. Esto da lugar a un mayor voltaje de encendido y favorece una combustión por deflagración.



(a) Oscilograma del voltaje con una mezcla estequiométrica



(b) Oscilograma del voltaje en con una mezcla rica

Figura 3.16. Diferencia entre oscilogramas de mezcla estequiométrica y rica

3.1.4. Adelanto al encendido

En los motores de encendido provocado se genera un avance al encendido para que el salto de la chispa se produzca antes de que el pistón alcance el PMS, consiguiéndose una combustión completa y progresiva. Este adelanto puede obtenerse mediante dos tipos de mecanismo:

- **Adelanto por vacío:** en condiciones de ralentí se tiene una menor presión de vacío en el colector de admisión, por lo que se desplaza ligeramente la membrana dándose un reducido adelanto al encendido, mientras que a elevadas rpm la presión de vacío se incrementa desplazándose en mayor grado la membrana de avance (ver Figura 3.17).
- **Adelanto centrífugo:** depende del régimen de giro del motor, mientras mayor sean las rpm el adelanto debe ser más amplio para compensar la rapidez con la que se realiza el proceso de combustión. Esta acción se consigue mediante masas rotativas ubicadas en el distribuidor o la utilización de mapas cartográficos.

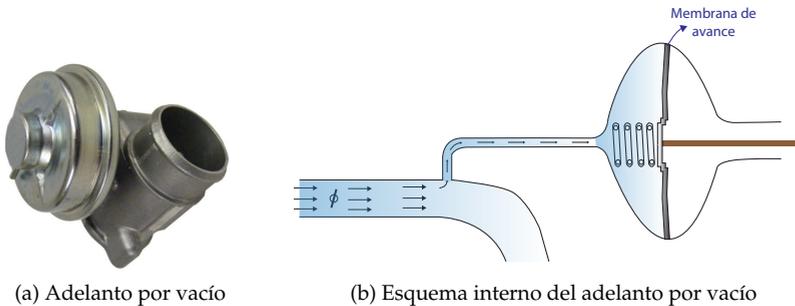
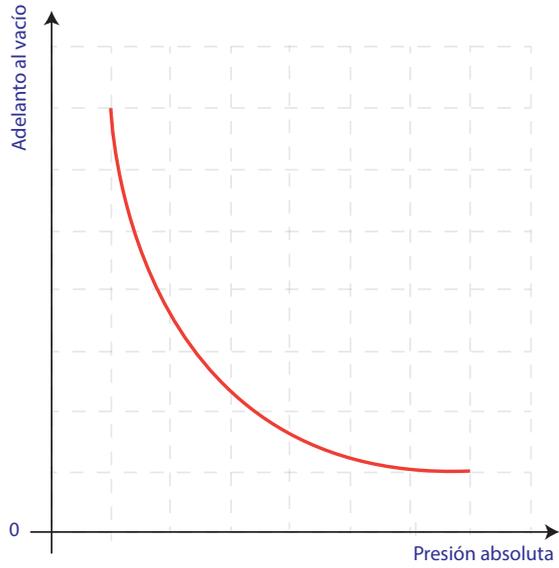
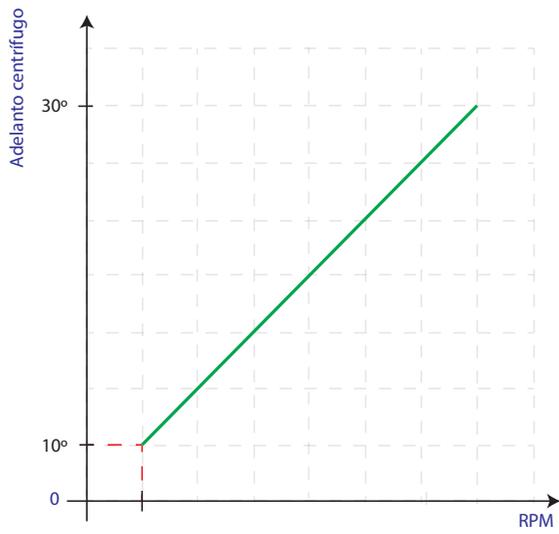


Figura 3.17. Válvula de vacío

El avance por vacío está relacionado con la presión absoluta que produce el motor como se puede verificar en la Figura 3.18.



(a) Oscilograma del adelanto por vacío



(b) Oscilograma del adelanto centrífugo

Figura 3.18. Oscilograma del adelanto al encendido

La carga es la oposición que presenta el motor a girar.

$$P_{man} = f(n) + T \quad (3.1)$$

Donde:

- P_{man} : es la presión media efectiva del motor, que representa la oposición que presenta el motor a girar.
- $f(n)$: es una función que depende de la velocidad del motor .
- T : es una constante que representa la carga total del motor.

Al tener una alta carga del motor el adelanto al encendido se disminuye para evitar el auto encendido de la mezcla especialmente en carreteras con elevadas pendientes como se esquematiza en la Figura 3.19.

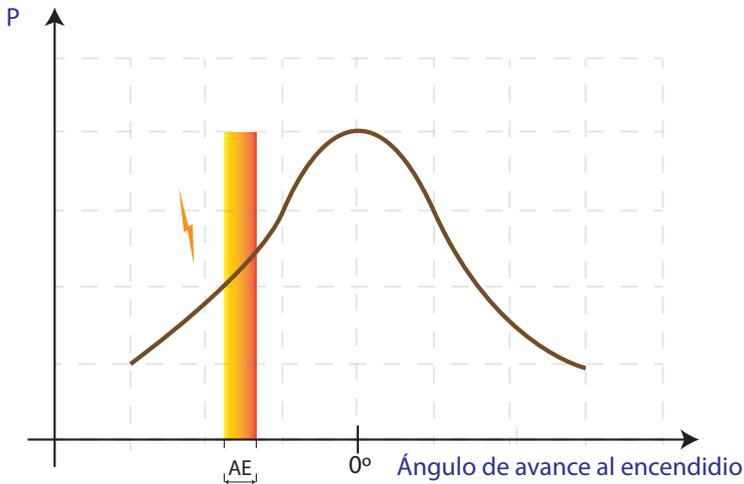


Figura 3.19. Diagrama de presión frente al adelanto al encendido

Desventajas del sistema SZ (platinos)

- Trabaja a bajas intensidades (corriente limitada).
- Desgaste de los contactos.
- Rebote de contactos (a altas revoluciones el platino oscila involuntariamente).
- Porcentaje de *dwell* constante.
- Utiliza adelantos al encendido mecánicos.
- Distribución mecánica de la chispa.
- Requiere operaciones reiteradas de mantenimiento.

3.1.5. Bujías

Las bujías son el elemento encargado de producir la chispa eléctrica, necesaria para iniciar el proceso de combustión por deflagración en el interior de la cámara. La corriente eléctrica es suministrada por la bobina del circuito secundario. Al elegir una bujía para el motor, se debe verificar el tipo específico que requiere, ya que el uso de una bujía no resistiva en un sistema diseñado para este tipo de componente puede provocar un desgaste acelerado del componente y un aumento en el consumo de combustible. La Figura 3.20 presenta un esquema representativo de las partes básicas de una bujía.

En la Tabla 3.1 se describe la designación de bujías habituales en el medio ecuatoriano. Los tipos de bujías resistivas son usadas en vehículos actuales para reducir interferencias electromagnéticas, mientras las bujías no resistivas se usan en sistemas con encendido convencional.

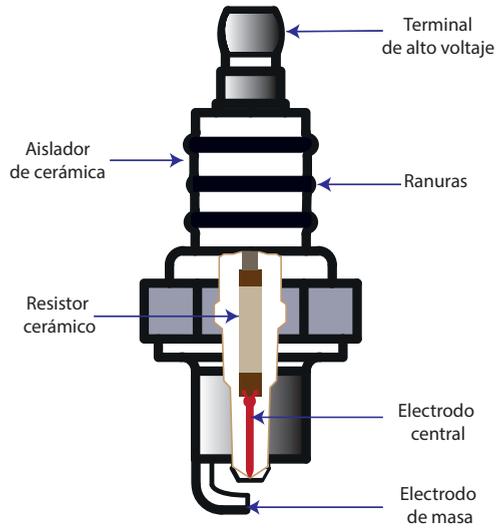


Figura 3.20. Composición interna de una bujía

Tabla 3.1. Codificación de bujías resistivas y no resistivas para autos comerciales en Ecuador

Marca	Resistiva	No Resistiva	Codificación y Explicación	Aplicación Común
NGK	BKR6E-11, BPR5ES	BP5ES, BP6ES	Ejemplo: BKR6E-11 B: Diámetro de rosca 14 mm K: Tipo de asiento cónico R: Resistiva 6: Grado térmico (más alto = más fría) E: Longitud de la rosca 19 mm 11: Separación de electrodos (1.1 mm)	Chevrolet Aveo, Hyundai Accent, Toyota Corolla
Bosch	WR8DC+, FR7DC	W8DC, F7DC	Ejemplo: WR8DC+ W: Diámetro de rosca 14 mm R: Resistiva 8: Grado térmico (más alto = más fría) D: Tipo de electrodo de cobre C: Con resistencia de 5kΩ + : Mejor rendimiento y duración	Kia Rio, Nissan Sentra, Volkswagen Gol
Champion	RC12YC, RN9YC	N9YC, L82C	Ejemplo: RC12YC R: Resistiva C: Material del electrodo de cobre 12: Grado térmico (más alto = más caliente) Y: Electrodo de masa extendido C: Tipo de rosca estándar	Ford Fiesta, Mazda 3, Renault Duster

3.2. Sistema comandado por transistores

En el sistema de encendido convencional, la vida útil de los contactos se encuentra limitada debido al desgaste provocado por el arco eléctrico generado durante su operación. Para la mejora del rendimiento del sistema, se incorpora un transistor entre la bobina y los contactos del distribuidor. Este transistor permite incrementar la corriente en el circuito primario, mejorando la calidad de la chispa al aumentar el voltaje de encendido y prolongar la duración de la descarga del arco eléctrico entre los electrodos de la bujía. Los contactos del sistema solo controlan una corriente reducida que actúa sobre la base del transistor, el cual es responsable de interrumpir la corriente principal del primario. Para proteger al transistor de posibles corrientes parásitas que puedan dañarlo, se instala un diodo en antiparalelo como elemento de protección (ver Figura 3.21).

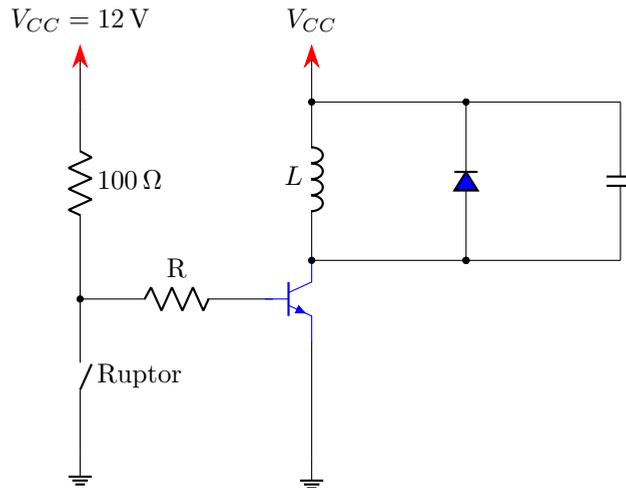


Figura 3.21. Circuito de un sistema de encendido transistorizado con un transistor

Usar un transistor alarga la vida del ruptor porque circula una corriente inferior entre sus contactos, pero esta configuración ocasiona que la chispa salte en otro instante de tiempo, como se ve en la Figura

3.22. En el diagrama, se observa que la corriente presenta picos de hasta 4 amperios correspondientes al salto de la chispa, que se desfasa 180 grados. Para solucionar este desfase, se coloca un segundo transistor, garantizando un control sobre el encendido. La curva roja representa el estado del ruptor, indicando los ciclos de apertura y cierre que permiten el flujo de corriente y el encendido del motor.

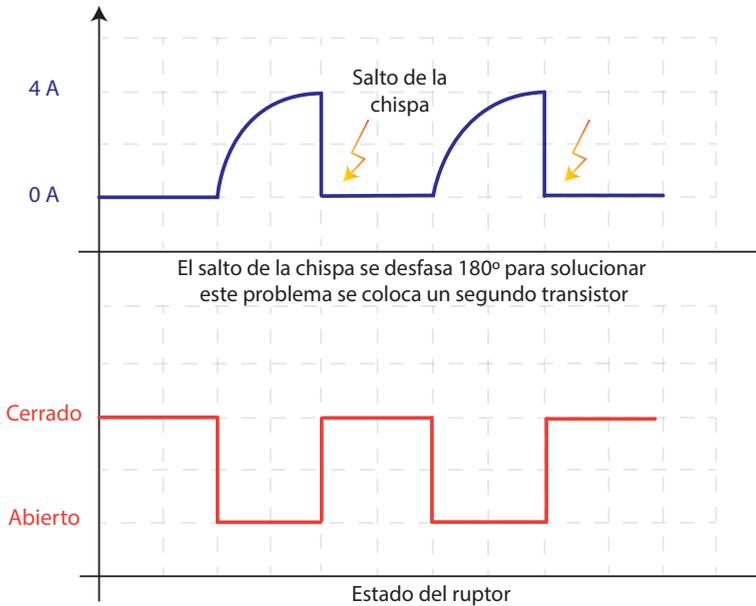


Figura 3.22. Diagrama de la corriente en el encendido con un transistor

Sistema de encendido con dos transistores

En la Figura 3.23 se puede observar un circuito con dos transistores, el primer transistor funciona como amplificador de la señal inicial proveniente del cierre del platino, el segundo transistor de potencia maneja corrientes más altas y permite que el proceso de conmutación sea más rápido. El diodo es usado para proteger el circuito de los picos de voltaje inducidos por la bobina y el condensador suaviza las fluctuaciones de voltaje.

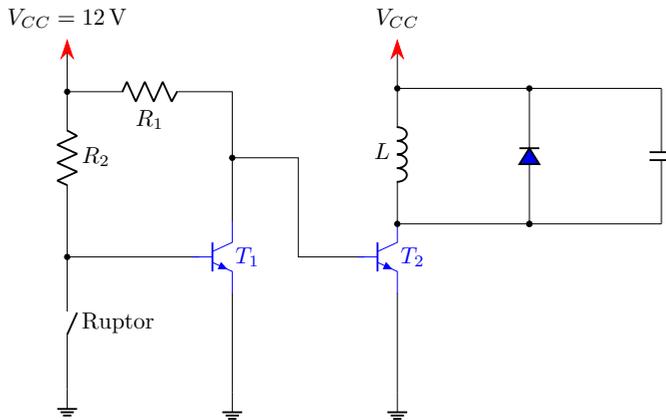


Figura 3.23. Circuito de un sistema de encendido transistorizado con dos transistores

Ventajas

- Menor consumo de combustible.
- Mayor intensidad en el primario, por ende más energía para encendido.
- Mejor chispa.

En la Figura 3.24 se presenta un esquema de activación del circuito con dos transistores en donde se visualiza que al cerrarse el ruptor del platino se cierra el primer transistor permitiendo la activación del segundo, en la curva de amperaje se identifica la carga de la bobina para la posterior generación de la corriente de inducción.

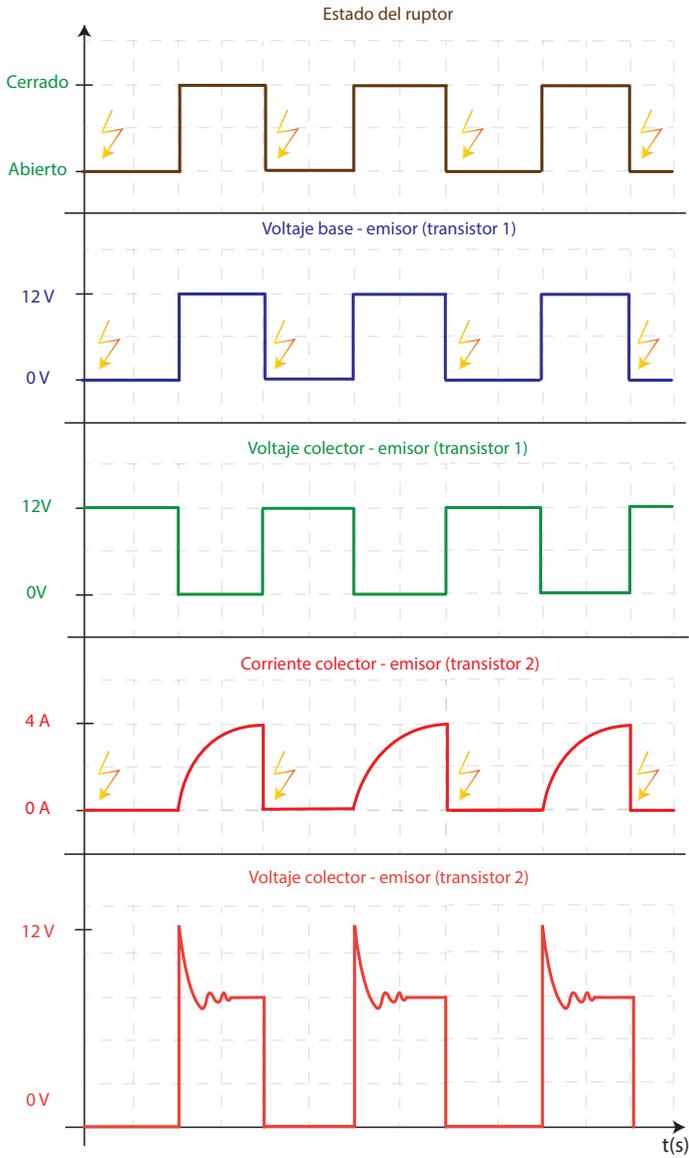


Figura 3.24. Diagrama de la corriente en el encendido TSZ con dos transistores

3.2.1. Módulo de encendido

El módulo de encendido cumple la función de actuar como un interruptor de contacto hacia la bobina, es el encargado de alimentar el devanado primario regulando el tiempo y la intensidad de la corriente a través de un circuito transistorizado interno. Este circuito genera la señal que permite que la chispa ocurra en el momento exacto (ver Figura 3.25).

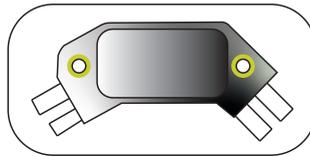


Figura 3.25. Módulo de encendido

Cálculo de un módulo de encendido

Ejemplo 3.1. Para la gráfica mostrada en la Figura 3.26 calcular la intensidad del colector I_c y resistencia de la base R_B .

Datos:

- Tensión de alimentación: $V_{cc} = 12 \text{ V}$
- Resistencia de carga: $R_c = 8 \Omega$
- Ganancia de corriente del transistor: $HFE = 80$
- Tensión de encendido de la unión base-emisor: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$
- Tensión de control de la base: $V_{BB} = 5 \text{ V}$

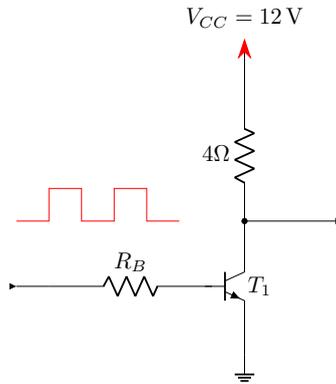


Figura 3.26. Circuito del módulo de encendido

Fórmulas:

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_{cc}} \quad (3.2)$$

$$I_b = \frac{I_c}{HFE} \quad (3.3)$$

$$I_b = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (3.4)$$

$$(3.5)$$

Resolución

$$I_c = \frac{12 \text{ A}}{4} = 3 \text{ A} \quad (3.6)$$

$$I_b = \frac{3 \text{ A}}{80 \Omega} = 0.0375 \text{ A} \quad (3.7)$$

$$R_b = \frac{5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{0.037 \text{ A}} = 114.67 \Omega \quad (3.8)$$

$$(3.9)$$

En varias aplicaciones automotrices se recomienda reducir R_B para garantizar que el transistor entre en saturación con seguridad. Un criterio usado es dividir la resistencia calculada entre un factor de 2.

$$R_B = \frac{114.67 \Omega}{2} = 57.33 \Omega \approx 58 \Omega \quad (3.10)$$

3.2.2. Encendido con generador de impulsos de efecto Hall

El sistema de encendido con generador de impulsos de efecto Hall reemplaza el mecanismo de ruptor tradicional por un sensor electrónico encargado de abrir y cerrar el circuito primario de la bobina de encendido. Al no depender de piezas mecánicas en movimiento, este sistema evita el desgaste y mantiene una sincronización precisa en la generación de la chispa.

El circuito integrado Hall tiene tres terminales: uno de alimentación (+), que entrega 12 V o 5 V, dependiendo del modelo; otro a masa (-); y un tercero, que es el de señal (0). Cuando la pantalla del tambor obturador, fabricada de un material diamagnético, se interpone entre el semiconductor Hall y el imán, dispersa las líneas de fuerza, de modo que el campo magnético no afecta al sensor Hall. Como resultado, la tensión entre el terminal de señal y masa es cero ($V = 0$), y no se genera señal de salida.

Por el contrario, cuando la pantalla deja libre el entrehierro, el campo magnético actúa sobre el sensor, generando una diferencia de potencial denominada tensión Hall (U_h). Esta tensión produce una señal de salida que varía entre U_h y 0 en función de la posición del tambor obturador, generando una señal cuadrada utilizada para el control del encendido. Una representación del funcionamiento de este sistema de encendido se puede ver en la Figura 3.27.

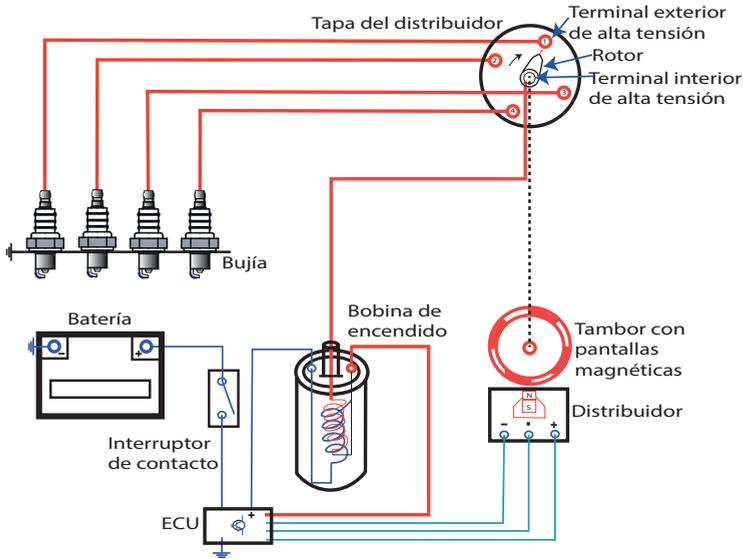


Figura 3.27. Sistema de encendido Hall

Como resultado, la etapa de potencia del módulo electrónico permite la circulación de corriente a través del devanado primario de la bobina, de forma similar al encendido convencional, cuando los contactos del ruptor se cierran, con un ángulo de cierre determinado por el ancho de la pantalla del tambor del obturador. Cuando la pantalla se aleja del entrehierro, el campo magnético actúa generando una diferencia de potencial entre los terminales de señal y masa, conocida como tensión Hall. En ese instante, el circuito Hall se activa y el módulo electrónico interrumpe el paso de corriente en el devanado primario, provocando la generación de la chispa de encendido. En un generador de efecto Hall, al aumentar la velocidad de giro, la frecuencia de la señal también se incrementa, mientras que la tensión se mantiene constante [6]. Un esquema de funcionamiento del sistema se puede observar en la Figura 3.28.

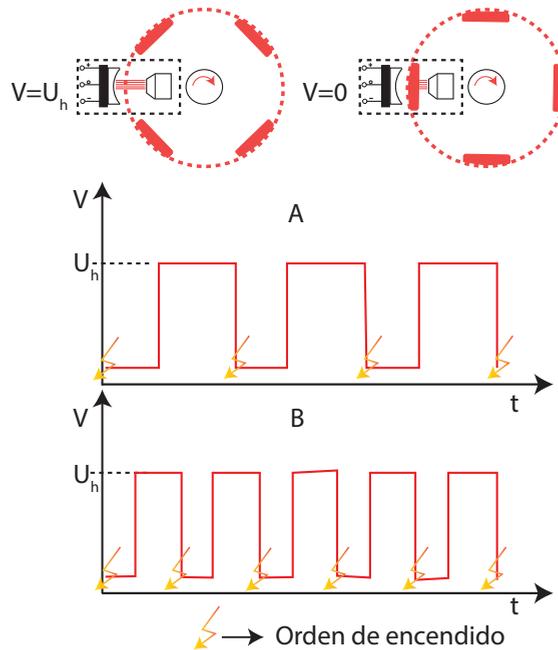


Figura 3.28. Principio de funcionamiento del sensor Hall

3.2.3. Sistema de encendido con generador de impulsos inductivos

Este sistema de encendido es muy similar al anterior, con la diferencia de que el generador Hall es reemplazado por un generador de impulsos por inducción. El generador de impulsos funciona como se muestra en la Figura 3.29. Un rotor (1), fabricado en material ferromagnético, gira arrastrado por el eje de mando del distribuidor y posee tantos salientes como cilindros tenga el motor. Un estator está compuesto por un imán permanente (2) y una bobina (3) enrollada alrededor de un núcleo metálico.

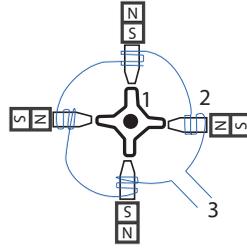


Figura 3.29. Generador de impulsos inductivo de un motor de cuatro tiempos

En la Figura 3.30, en la sección A, cuando un saliente del rotor se aproxima al estator, el entrehierro disminuye, lo que incrementa el flujo magnético, e induce una tensión positiva en la bobina. Al final del recorrido del flanco ascendente del rotor, se alcanza el valor máximo de tensión positiva. El extremo del saliente del rotor tiene una forma tal que, durante su giro, evita que el entrehierro varíe con el estator, como se muestra en la sección B. Por lo tanto, no hay variación en el flujo magnético y la tensión inducida desaparece hasta llegar a cero. Al observar la sección C, cuando el flanco descendente del diente del rotor comienza a alejarse del estator, el entrehierro aumenta, disminuyendo bruscamente el flujo magnético. Esto produce una tensión inducida negativa en la bobina, que alcanza su valor máximo negativo cuando termina el recorrido de este flanco. Posteriormente, en la sección D, debido a que el cuerpo central del rotor es circular, el entrehierro no varía [2]. Al no haber variación en el flujo magnético, la tensión inducida regresa hasta llegar a cero. Tras este punto, el ciclo se repite.

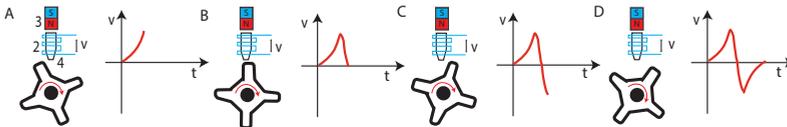


Figura 3.30. Principio de funcionamiento del sistema de encendido con sistema inductivo

3.2.4. Encendido electrónico DIS

El sistema DIS (Distribuidorless Ignition System) no implementa un distribuidor en el sistema de encendido, lo que reduce el desgaste al eliminar componentes mecánicos. Los extremos del arrollamiento secundario son conectados a cada bujía de manera directa (encendido secuencial). En algunos casos cada bobina activa dos bujías (encendido semi-secuencial), configurándose como un sistema de chispa perdida. En este tipo de encendido la chispa salta en dos cilindros a la vez debido a la disposición de los pistones al trabajar en parejas como se ve en la Figura 3.31.

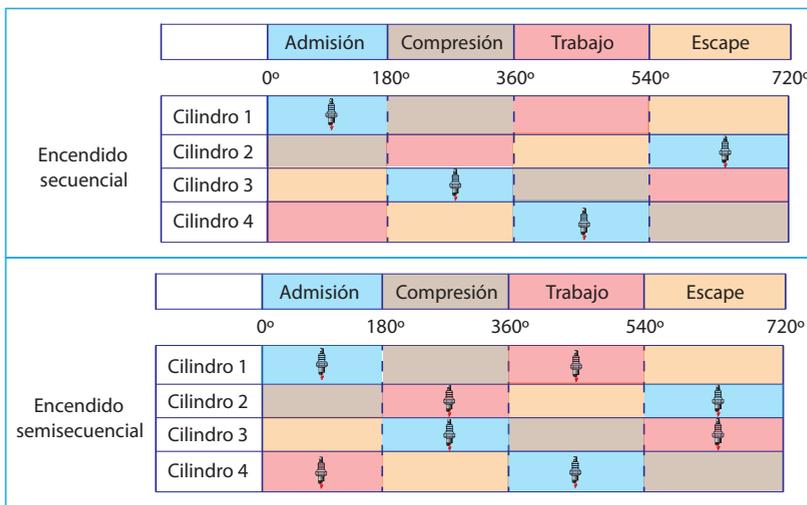


Figura 3.31. Configuración del orden de encendido

La primera chispa se denomina chispa principal y ocurre durante la fase de compresión, por lo que presenta un alto voltaje, necesario para superar la presión elevada en la cámara de combustión. Por otro lado, la chispa perdida se produce en el cilindro que está en la fase de escape, donde la presión es baja. Esta chispa requiere menos energía, no provoca combustión y no afecta negativamente el funcionamiento del motor, ya que la mezcla presente es escasa y la temperatura es

reducida. El módulo de encendido se encarga de controlar el orden de activación de las bobinas.

3.2.5. Encendido electrónico EDIS

Este sistema permite la eliminación total de elementos mecánicos, el funcionamiento del sistema de encendido consiste en que la unidad de control, mediante datos predefinidos de información como carga, revoluciones y otras condiciones de funcionamiento del motor, activa las bobinas de encendido colocadas directamente sobre las bujías evitando caídas de tensión.

Cartografía de encendido

La unidad de control electrónica (ECU) mediante información de diversos parámetros o variables del motor como el adelanto al encendido (α_e), carga del motor (%) y régimen de giro (η), se encarga de realizar ajustes a su funcionamiento a partir de un mapa base. El objetivo es lograr que la mezcla de aire-combustible se quemara de manera eficiente, evitando el autoencendido (pistoneo), reduciendo las emisiones contaminantes y mejorando las prestaciones del motor. En el mapa de encendido se representan gráficamente las variables a ser controladas de un motor de combustión interna. Estas variables permiten una corrección del avance al encendido de manera eficiente en función de la demanda requerida, la ECU calcula y realiza las correcciones de las variables nombradas anteriormente. En la Figura 3.32 se puede observar la representación de un mapa de encendido.

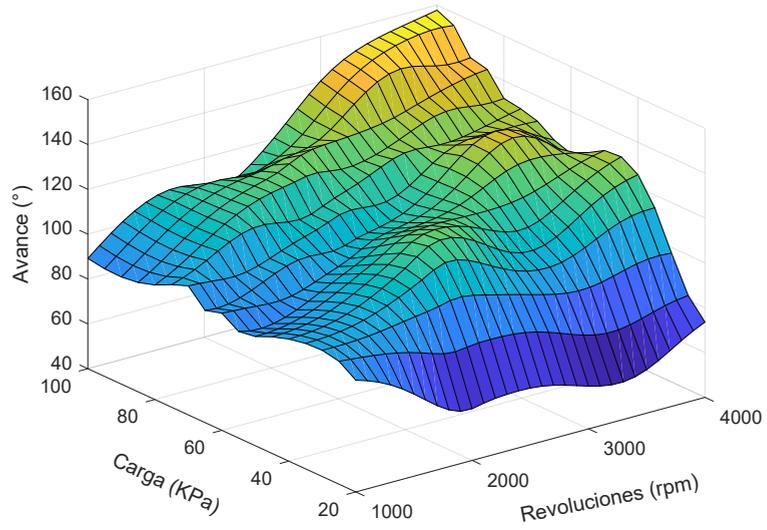


Figura 3.32. Mapa de encendido

Bibliografía

- [1] *Manual técnica del automóvil*, Robert Bosch, Alemania, 2005.
- [2] Pardiñas J., y Feijó R., *Sistemas Auxiliares del motor*, Editex, 2018.
- [3] Rakesh K. M., *Reciprocating Engine Combustion Diagnostics*, Springer International Publishing, 2019
- [4] Darrigrandi Marqués, *Sistemas de encendido*, Reverte, 2000.
- [5] Sánchez, E. *Sistemas auxiliares del motor*, Macmillan Iberia, S.A., 2009. ProQuest Ebook Central. Recuperado de: <https://bit.ly/4jILDwh>
- [6] Cramer M. y Hoffmann J., *Performance Fuel Injection Systems HP1557: How to Design, Build, Modify, and Tune EFI and ECU Systems. Covers Components, Sensors, Fuel and Ignition Requirements, Tuning the Stock ECU, Piggyback and Standalone Systems*, Penguin Publishing Group, 2010.
- [7] MIATATURBO, Need good Ignition map for turbo setup, 2019, 25 de junio. Recuperado de: <https://bit.ly/4i1SZEP>.