



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN**

Título: "DISEÑO DE DISPOSITIVOS PARA LA APERTURA Y CIERRE DE VÁLVULAS SIN ÁRBOL DE LEVAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA".

TESIS

Que para obtener el título de:

Ingeniero Mecánico Electricista

PRESENTA:

José Benjamín Guzmán Vergara.

ASESOR DE LA TESIS:

Ing. Marcos Belisario González Loria.

Cuautitlán Izcalli. 2008.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi Hijo;

*Por ser mi fuerza y mi
templanza. Por ser quien me enseñó a
valorar lo más importante en la vida
con su nacimiento, ocurrido durante
este tiempo, y que con su infancia
ilumina mi vida. Que el presente
trabajo sea un ejemplo a seguir y te
presente una perspectiva de vida de
constante superación.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Le agradezco primeramente por ser mi mejor amigo, mi fortaleza, por darme todo lo que tengo y no dejarme caer nunca.

A mis Padres y Hermano

Deseo agradecer profundamente a la casualidad que la vida me otorgó al haberme puesto en un hogar maravilloso al nacer, el cual recuerdo ahora de manera nostálgica. Sin el apoyo en todo sentido de mis padres y hermanos, el placer cotidiano de vivir sería simple monotonía. Es difícil imaginar cómo sería el andar cotidiano sin recordar su comprensión, su apoyo inmenso y su amor. Gracias a mis padres, el Sr. Guillermo Guzmán y la Sra. Susana Vergara, así como a mi hermano Guillermo por compartir y dedicar gran parte de sus vidas conmigo y por darme aliento para la ardua tarea de caminar hacia la perspectiva de un nuevo día; de verdad serán inolvidables.

A mi esposa

A mi amada compañera y amiga porque has sabido ser una amante esposa, comprensiva y dulce. Porque te has convertido con el paso de los años en una extensión de mi espíritu y porque me has ayudado a lo largo de mi vida matrimonial y profesional a superarme en cada paso que damos juntos. Que Dios te premie por la paciencia que tuviste durante mi carrera. En esperar siempre a que tuviese un hueco en el tiempo para estar juntos y compartir con nuestro hijo toda clase de esperanzas. Porque siempre fuiste mi ayuda, apoyo y fortaleza en cada momento de la vida y en la carrera. Pero sobre todo, porque viviste conmigo intensamente etapa a etapa de este trabajo. Y finalmente porque gozas conmigo como un solo ser, éste tan anhelado momento.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Sin lugar a duda este trabajo no pudo haberse realizado sin la formación que recibí durante mi carrera en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (U.N.A.M.). Gracias a todos los maestros que contribuyeron realmente en mi formación.

A mi asesor, Ing. Marcos Belisario González Loria y familia.

Quien gracias a su apoyo incondicional, se ha hecho posible el presente trabajo. Mi gratitud y amistad eterna con usted y su familia.

Gracias a la vida que tengo y a mis amigos que mas quiero, a los que ya no están, pero que siempre tendrán un espacio en mi corazón, donde se mantendrán vivos en mis recuerdos.

No tengo letras para seguir expresando el gran regocijo que me da poder terminar esta carrera en donde profesores y compañeros dejan parte de su vida, para dar vida a las ilusiones de niño y que hoy en día se hacen realidad. Solo sé que este camino es solo el comienzo de una gran historia de virtudes y realizaciones para mí y para mi familia.

Muchas gracias.

INDICE

CAPITULO 1.	_____	1
1.1	PRINCIPIO TEÓRICO DEL CICLO OTTO DE DOS Y CUATRO TIEMPOS Y ALGUNAS PARTES IMPORTANTES PARA SU FUNCIONAMIENTO. _____	2
1.1.1	El Ciclo Otto. _____	8
1.1.2	Motores Cíclicos Otto. _____	15
1.2	PROCESO IDEAL DEL MOTOR DE OTTO. _____	17
1.2.1	La mezcla real. _____	17
1.2.2	Proceso de compresión. _____	18
1.2.3	Proceso de combustión. _____	19
1.2.4	Proceso de expansión. _____	20
1.2.5	Gases del espacio muerto. _____	20
1.2.6	Proceso de admisión. _____	21
CAPITULO 2.	_____	23
2.1	PROCESO IDEAL DEL MOTOR DE OTTO. _____	24
2.2	ASIENTOS Y ARANDELAS DE VÁLVULAS. _____	26
2.3	GUIAS Y REFUERZOS DE LOS VÁSTAGOS DE VÁLVULA. _____	28
2.4	LEVAS Y EMPUJADORES. _____	29

2.5	DIAGRAMAS DE RECORRIDO DE VÁLVULA._____	33
2.6	RELACIONES ENTRE EL BALANCÍN, EXTREMO DE VÁLVULA Y GUÍA DE VÁLVULA._____	41
2.7	ÁRBOL DE LEVAS._____	44
2.8	SINCRONIZACIÓN DE LAS VÁLVULAS._____	45
2.9	PÉRDIDAS DE SINCRONIZACIÓN DE VÁLVULAS._____	48
2.10	FUERZA Y FLECHA DEL RESORTE DE VÁLVULAS._____	52
2.11	VIBRACIÓN DEL RESORTE DE VÁLVULA._____	54
2.12	MEJORA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR._____	58
2.12.1	GENERALIDADES._____	58
2.12.2	VELOCIDAD DEL MOTOR._____	60
2.12.3	RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO Y DE CARGA._____	61
2.12.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE COMPETICIÓN CON ASPIRACIÓN NORMAL._____	65
2.12.5	SOBREALIMENTACIÓN._____	67

CAPITULO 3.	72
3.1 GENERALIDADES DE ELECTROMAGNETISMO.	73
3.1.1 Ley de Faraday de la inducción electromagnética.	73
3.1.2 Factores que afectan la fuerza de la fem inducida.	75
3.1.3 Sentido de la relación inducida (Regla de Fleming).	79
3.1.4 Ley de Lenz.	82
3.1.5 Propiedades magnéticas de los materiales.	85
3.1.6 Magnetización y desmagnetización.	87
3.1.7 Histéresis y saturación.	90
3.1.8 Retención y fuerza coercitiva.	93
3.1.9 Materiales ferromagnéticos.	94
3.2 SENSORES Y TRANSDUCTORES.	98
3.2.1 Generalidades.	98
3.2.2 Terminología de funcionamiento.	99
3.2.2.1 Rango y Margen.	100
3.2.2.2 Error.	100
3.2.2.3 Exactitud.	100

3.2.2.4	Sensibilidad.	101
3.2.2.5	Error por Histéresis.	101
3.2.2.6	Error por no-linealidad.	102
3.2.2.7	Repetibilidad / Reproducibilidad.	104
3.2.2.8	Estabilidad.	104
3.2.2.9	Banda / Tiempo muerto.	105
3.2.2.10	Resolución.	105
3.2.2.11	Impedancia de salida.	105
3.2.3	Características deseables de los sensores.	106
3.2.3.1	Exactitud.	106
3.2.3.2	Precisión.	106
3.2.3.3	Rango de Funcionamiento.	106
3.2.3.4	Velocidad de respuesta.	107
3.2.3.5	Calibración.	107
3.2.3.6	Fiabilidad.	107

3.2.3.7 Costo y facilidad de funcionamiento. _____

107

3.3	SENSORES TÁCTILES. _____	108
3.3.1	Sensores de contacto. _____	108
3.3.2	Sensores de Fuerza. _____	109
3.4	SENSORES DE PROXIMIDAD Y ALCANCE. _____	110
3.4.1	Sensores de Luz. _____	111
3.4.1.1	Nociones de Optoelectrónica. _____	112
3.4.1.2	Fotosemiconductores de captación. _____	113
3.4.1.3	Fotoemisores. _____	121
3.4.2	Sensores Infrarrojos. _____	127
3.4.3	Sensores Ultrasónicos. _____	129
3.4.4	Sensores Inductivos. _____	134
3.4.5	Sensor de Efecto Hall. _____	136
3.4.6	Sensores Capacitivos. _____	139
3.4.7	Sensores Diversos, _____	141
3.5	CODIFICADORES ANGULARES DE POSICIÓN (ENCODERS). _____	141

3.5.1	Codificadores ópticos._____	141
3.5.2	Codificadores o encoders Incrementales._____	142
3.5.3	Codificadores o encoders Absolutos._____	146
3.5.4	El tacogenerador. _____	149
3.6	SELECCIÓN DE SENSORES._____	151
3.7	ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES._____	153
3.7.1	Interconexiones con un microprocesador._____	156
3.7.2	Procesos del acondicionamiento de señales._____	157
3.7.3	EL E.P.R.O.M._____	158
3.7.4	EL U.C.E._____	159
3.7.4.1	Arquitectura de la U.C.E._____	160
3.7.4.2	Conformador de impulsos._____	161
3.7.4.3	Convertidor Analógico Digital._____	161
3.7.4.4	Microprocesador._____	162
	CAPÍTULO 4_____	164

4.1	PROCESO DE DISEÑO. _____	165
4.2	DISEÑO DE ELECTROVÁLVULAS CON FORMA DE CILINDRO_	170
4.2.1	Características. _____	170
4.2.2	Ventajas. _____	186
4.2.3	Posibles desventajas. _____	186
4.3	DISEÑO DE ELECTROVÁLVULAS CON SOLENOIDES INTEGRADOS. _____	187
4.3.1	Características. _____	187
4.3.2	Ventajas. _____	192
4.3.3	Posibles desventajas. _____	193
4.4	DISEÑO DE ELECTROVÁLVULAS CON SOLENOIDE EN LA PARTE SUPERIOR. _____	193

4.4.1	Características._____	193
4.4.2	Ventajas._____	195
4.4.3	Posibles desventajas. _____	196
4.5	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA._____	196
4.6	VENTAJAS INHERENTES A TODOS LOS SISTEMAS EVALUADOS._____	203
4.7	ENSAMBLE DE MOTOR MONOCILINDRICO DE MOTOCICLETA BMW-R69S CON POSIBLE APLICACIÓN DE DISPOSITIVO._____	206
	CONCLUSIONES._____	215
	GLOSARIO. _____	218
	BIBLIOGRAFÍA._____	227

OBJETIVOS DE LA TESIS.

- Diseñar dispositivos que puedan servir de manera alternativa para el movimiento de apertura y cierre de válvulas en motores de combustión interna, en base a la investigación realizada.
- Realizar análisis sobre los posibles mecanismos definiendo sus propiedades.
- Hacer una sugerencia de la mejor opción del mecanismo tomando en cuenta las características del mismo, que sea el que más se adapte a las necesidades de un motor, así como las ventajas que representa dicha elección.
- Que por su carácter multidisciplinario, la información recopilada sirva como apoyo y referencia a las próximas generaciones de estudiantes de ingeniería.

INTRODUCCIÓN

Desde que se tienen registros de las actividades del hombre se ha encontrado en ellos la necesidad de realizar sus labores tratando de mejorar siempre las condiciones de las mismas, simplificando el desarrollo mediante inventos y artefactos que han ido en constante evolución debido a las necesidades y el estudio de los mismos, pero sobre todo por la necesidad de facilitarse la vida. Así encontramos que un simple tronco de madera se convierte en palanca, que hoy en día tiene infinidad de aplicaciones. En mecánica por ejemplo, esta palanca se utilizó en motores de combustión interna para darles movimiento a las válvulas de escape y admisión (los llamados balancines), pero la misma evolución de la que hacemos mención ha desplazado a esta palanca en el motor, reemplazándola por empujadores hidráulicos que se conocen más comúnmente como buzos hidráulicos, mismos que pretendo sustituir junto con el árbol de levas por un aditamento diferente para que las válvulas de escape y admisión sean provistas de movimiento mediante un dispositivo innovador.

Para lograr el objetivo, será necesario abordar diferentes temas, y analizar las distintas opciones que se tienen contempladas.

CAPITULO I

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA QUE UTILIZAN EL CICLO OTTO.



1.1 PRINCIPIO TEÓRICO DEL CICLO OTTO DE DOS Y CUATRO TIEMPOS Y ALGUNAS PARTES IMPORTANTES PARA SU FUNCIONAMIENTO.

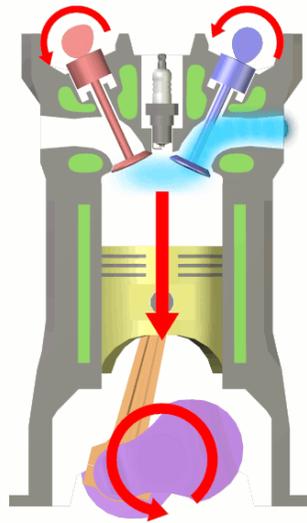
En este primer capítulo se estudiarán los principios de funcionamiento del motor de combustión interna para conocer bajo qué condiciones trabaja el sistema que se pretende mejorar, así como los procesos que se llevan a cabo. Antes de considerar los ciclos ideales de la máquina de combustión interna se describirá la máquina y a continuación se harán las idealizaciones necesarias para el análisis del ciclo. Para comprender cómo funciona se considerará el motor reciprocante de cuatro tiempos, que es el más común.

Principios del funcionamiento de un motor de combustión interna (m.c.i.) de cuatro tiempos.

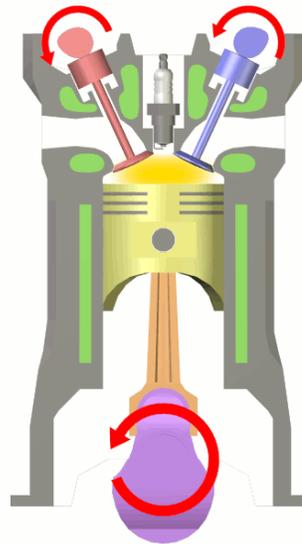
1. Admisión: Considere el pistón en la parte superior de su carrera conocida como punto muerto superior (p.m.s.). A medida que el pistón comienza a bajar, crea un vacío parcial en el cilindro. En este momento la válvula de admisión se abre y una mezcla de aire y gasolina evaporada es conducida hacia el cilindro desde el múltiple de admisión pasando por la válvula de admisión abierta. (figura 1.1a).
2. Compresión: cuando el pistón alcanza el extremo de su carrera hacia abajo, se dice que está en el punto muerto inferior (p.m.i.). En este punto se cierra la válvula de admisión y permanece así a medida que sube el pistón. Como la mezcla de combustible y aire está por completo confinada

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA
QUE UTILIZAN EL CICLO OTTO.

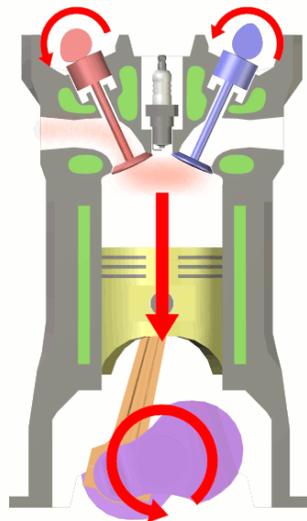
dentro del cilindro, se comprime a medida que el pistón sube. Tanto la válvula de admisión como la de escape permanecen cerradas figura (1.1b).



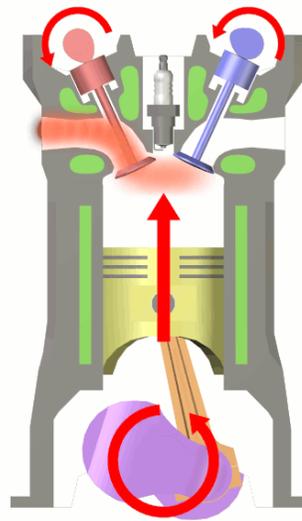
(a) Admisión



(b) Compresión



(c) Potencia



(d) Escape

Figura 1.1 Ciclo ideal del motor Otto de cuatro tiempos

3. **Potencia (combustión):** idealmente, cuando el pistón alcanza de nuevo el punto muerto superior y la mezcla de aire y combustible está a su máxima compresión, una chispa eléctrica prende la mezcla de aire y combustible, provocando la combustión. La gran presión creada por la combustión hace que el pistón sea llevado hacia abajo. Este movimiento del pistón hacia abajo es la carrera de potencia del ciclo. En las máquinas reales la ignición puede ocurrir antes, durante o incluso después del punto muerto superior. Asimismo, tanto la válvula de admisión como la de escape permanecen cerradas durante la carrera de potencia (figura 1.1c).
4. **Escape:** al final de la carrera de potencia los gases se han expandido por completo y entonces se abre la válvula de escape. El movimiento ascendente del pistón origina que los gases producidos durante la combustión salgan del cilindro por la válvula de escape abierta hacia el múltiple de escape. En el punto muerto superior la válvula de escape se cierra y el ciclo recomienza nuevamente (figura 1.1d).

El ciclo de cuatro tiempos descrito produce una carrera de potencia para cada pistón por cada dos revoluciones de la flecha principal o cigüeñal, el cual puede apreciarse en la figura 1.2. La misma secuencia de eventos puede completarse en una revolución del cigüeñal para dar una carrera de potencia por revolución, que es el caso del m.c.i. de dos tiempos. La secuencia de eventos de este tipo de motor se muestra en la figura 1.3 y sus componentes son:

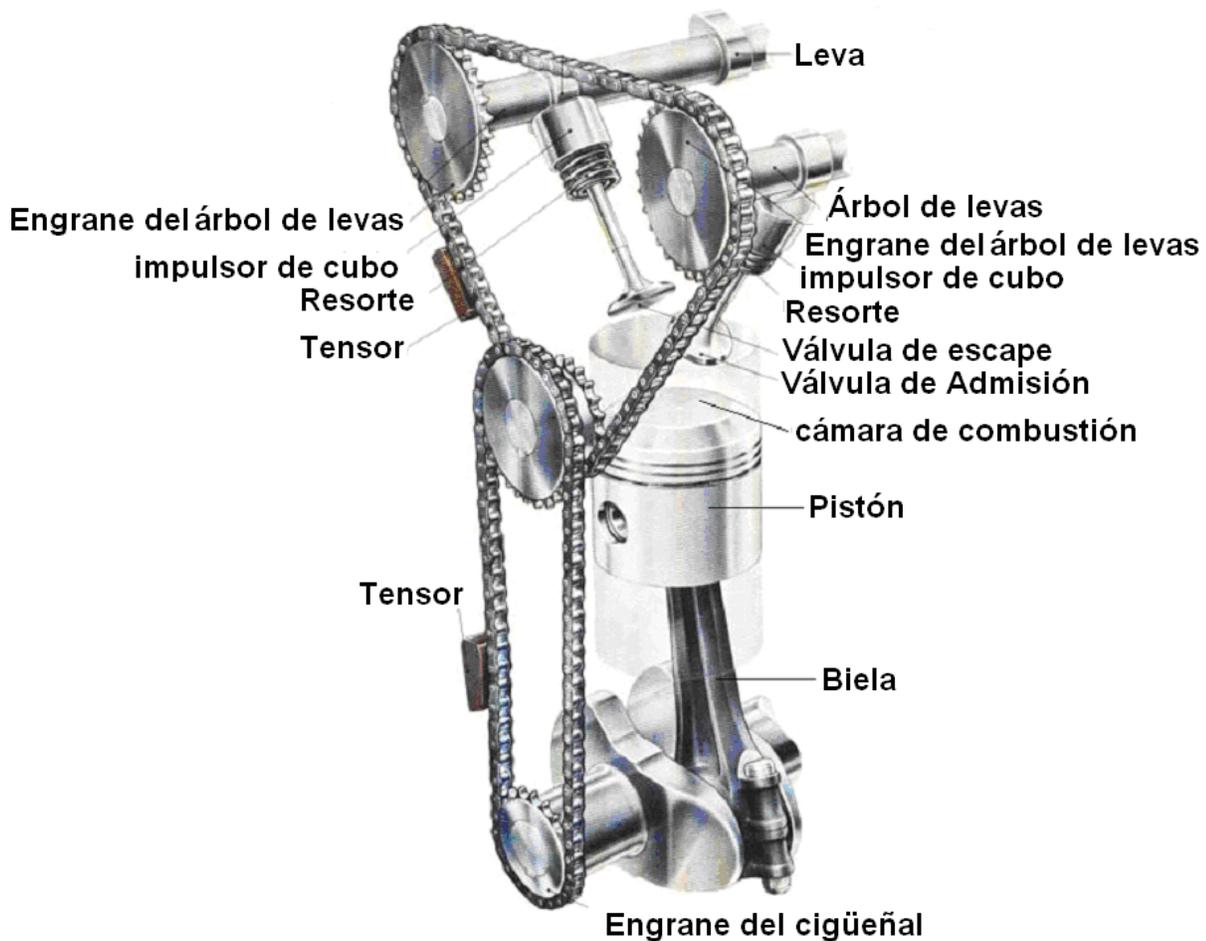


Figura 1.2 Funcionamiento de las válvulas en relación con los demás componentes con los que se sincronizan.

1. Admisión de aire: con los puertos de transferencia y de escape abiertos, el aire de la caja del cigüeñal llena al cilindro.
2. Compresión: con todos los orificios cerrados, el pistón al elevarse comprime el aire y crea una succión en la caja del cigüeñal. Comienza la admisión.

3. Expansión: la mezcla se expande durante la combustión forzando al pistón hacia abajo. El aire fluye hacia la caja del cigüeñal para que el pistón lo comprima mientras desciende.
4. Escape: al descender, el pistón deja al descubierto el puerto de escape. Se origina un aumento de presión en la caja del cigüeñal, suficiente para forzar al aire hacia el cilindro.

La característica distintiva del motor de dos tiempos es que cada carrera hacia fuera del pistón es una carrera que produce potencia. Cabe mencionar que para una salida dada, se requiere una capacidad de aire definido, por lo que el motor de dos tiempos debe tener una entrada de aire por unidad de tiempo al menos igual a la que tendría un motor equivalente de cuatro tiempos.

El bloque del cilindro es por lo regular una pieza fundida, maquinada con precisión para alojar los cilindros, los pistones y las bielas. Todos los demás elementos están soportados por el bloque (o bloques) del cilindro o están atornillados a este. En la parte superior del bloque se encuentra la cabeza del cilindro para evitar que se fundan las partes metálicas, debe proveerse un enfriamiento. Este puede conseguirse por medio de aire o agua.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA
QUE UTILIZAN EL CICLO OTTO.

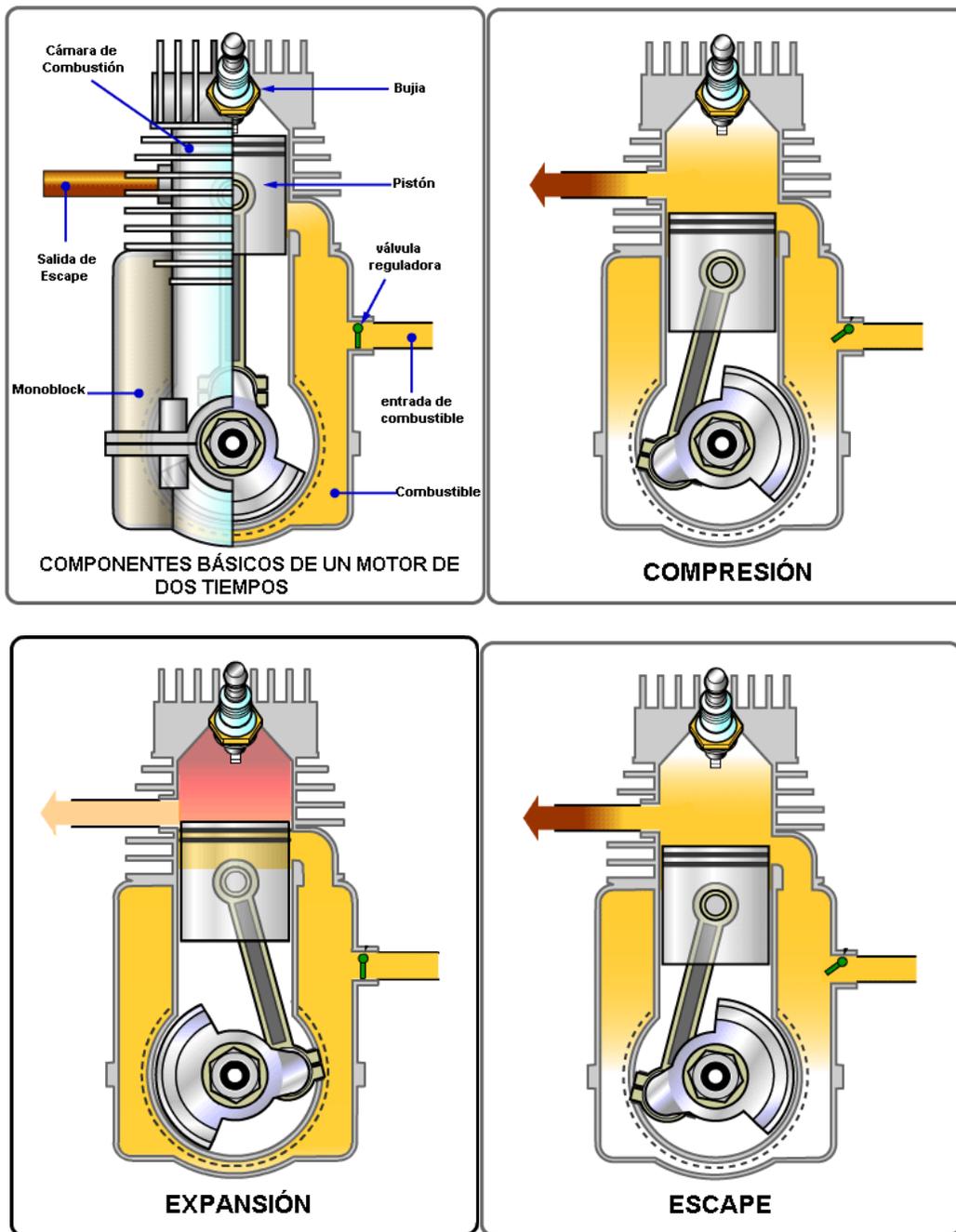


Figura 1.3 Motor de combustión interna de 2 tiempos

El enfriamiento por agua es el método más común, y el agua debe circular dentro del bloque y las cabezas. De esta manera se deben dejar una serie de aberturas correspondientes en los bloques y cabezas para que circule el agua. Las válvulas en el motor de combustión interna están sujetas a las condiciones más severas de entre todos los elementos del motor. Operando con una frecuencia de 2000 veces por minuto, tienen que ser herméticas aún cuando están sujetas a la presión y temperatura directa de la combustión que se lleva a cabo dentro de los cilindros. Asimismo, deben operar en el momento preciso del ciclo sin rebotar ni traquetear. El movimiento en las válvulas se realiza por medio del árbol de levas, que es operado por el cigüeñal.

Como el motor de cuatro tiempos produce una carrera de potencia por pistón por cada dos revoluciones del cigüeñal, el árbol de levas está embragado para que gire una revolución por cada dos revoluciones del cigüeñal. La forma de la leva debe diseñarse con precisión para que abra en forma exacta las válvulas de admisión y escape, las mantenga abiertas durante el tiempo necesario y las cierre de acuerdo con las necesidades del ciclo. Existen muchos arreglos diferentes de los cilindros y la forma en que pueden agruparse.

1.1.1 ***El Ciclo Otto.***

La introducción del combustible en un motor de combustión interna da lugar a una masa variable en el ciclo. Asimismo, al final del ciclo, la carga completa se descarga y se introduce una nueva carga para que sufra un nuevo ciclo idéntico al primero. Durante los procesos reales, se intercambia calor y trabajo y en cada porción del ciclo. La masa, los calores específicos y el estado

del fluido de trabajo son todos variables. Bajo estas circunstancias, el análisis de un ciclo se hace difícil.

El ciclo Otto que es el prototipo ideal de la mayor parte de los motores de combustión interna usados en forma extensiva, es aquel en el que se supone que el proceso de combustión tiene lugar instantáneamente en el punto muerto superior para producir una combustión a volumen constante del combustible.

Para simplificar el análisis se han propuesto algunos ciclos idealizados como prototipos de los ciclos de los motores reales. En éste análisis de cada uno de los ciclos se hacen las siguientes suposiciones:

1. Cada proceso se lleva a cabo de manera reversible. Se ignoran la fricción, las diferencias de presión, la turbulencia y otros factores semejantes.
2. El fluido de trabajo es un gas ideal, y todas las relaciones derivadas con anterioridad para los gases ideales son aplicables.
3. La energía necesaria se agrega o se extrae para conseguir los cambios de estado deseados.
4. El fluido de trabajo es un gas con calores específicos constantes.

Es evidente de las suposiciones anteriores (y de sus consecuencias) que el análisis de un ciclo de un motor basado en éstas es bastante artificial. Sin embargo, pueden obtenerse ciertas generalizaciones a partir de este análisis, llamado análisis de aire estándar, que puede ser de gran utilidad.

A pesar del número de carreras que se requieren para completarla, como está concebido, se compone de cuatro procesos separados distintos. Como se muestra en los diagramas de temperatura-entropía y presión-volumen (T-S y p-V) en la figura 1.4 el ciclo Otto consiste en una compresión isoentrópica posterior a la inducción de gas, seguido de una adición de calor reversible a volumen constante, luego una expansión isoentrópica a partir de la que se extrae trabajo y por último de una pérdida de calor reversible a volumen constante. A continuación el ciclo se repite. Se observará que cada paso es una idealización de los sucesos que se han descrito previamente para el motor de combustión interna. Asimismo nótese que cada parte del ciclo es un proceso sin flujo.

Con referencia en la figura 1.4, se tiene que la ecuación de la energía para un proceso sin flujo para la recepción del calor (paso 3 a 4) es:

$$q_{ent} = c_v(T_4 - T_3) \frac{Btu}{lb}. \quad (1.1)$$

Donde;

q_{ent} = Calor entrante.

C_v = Constante Calorífica.

T_4 = Temperatura del paso 4.

T_3 = Temperatura del paso 3.

En forma análoga, el calor desechado durante la expansión reversible a volumen constante (paso 4 a 3) es:

$$q_v = C_v(T_4 - T_3) \frac{Btu}{lb} \quad (1.2)$$

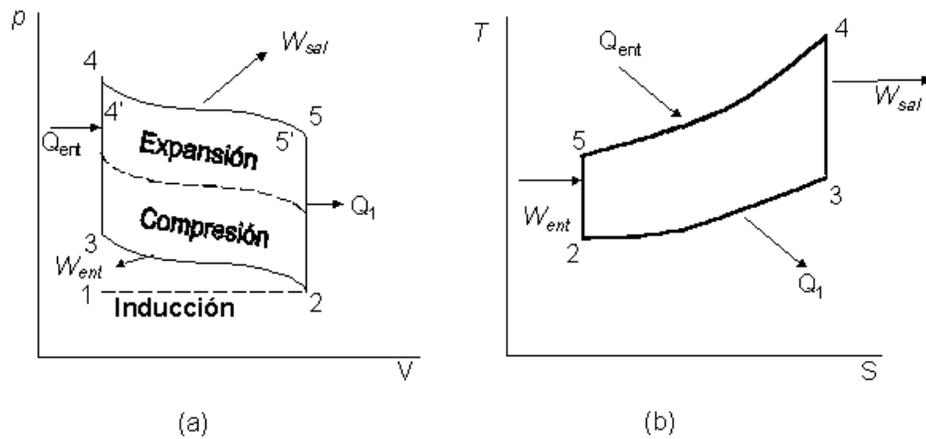


Figura 1.4 Diagramas p-V y T-S del ciclo Otto

El trabajo neto en unidades térmicas disponible a partir del ciclo es la diferencia entre:

$$W = (q_{ent} - q_r) \frac{Btu}{lb}. \quad (1.3)$$

W = Trabajo neto.

q_{ent} = Calor entrante ó añadido al sistema

q_r = Calor perdido.

La eficiencia del ciclo (η_{Otto}) es

$$\eta_{Otto} = \frac{W}{q_{ent}} = \frac{q_{ent} - q_r}{q_{ent}} = 1 - \frac{q_r}{q_{ent}}. \quad (1.4a)$$

y

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{c_v(T_5 - T_2)}{c_v(T_4 - T_3)} = 1 - \frac{(T_5 - T_2)}{(T_4 - T_3)} \quad (1.4b)$$

De la figura 1.4 se observa que los límites volumétricos de las partes de expansión y compresión del ciclo son iguales. Dadas las ecuaciones:

$$\frac{T_4}{T_5} = \frac{T_3}{T_2} \quad \text{ó} \quad \frac{T_2}{T_5} = \frac{T_3}{T_4} \quad (1.5)$$

Restando de la unidad a ambos miembros de la ecuación (1.5):

$$1 - \frac{T_2}{T_5} = 1 - \frac{T_3}{T_4} \quad \text{ó} \quad \frac{T_5 - T_2}{T_5} = \frac{T_4 - T_3}{T_4} \quad (1.6)$$

Sustituyendo la ecuación (1.6) en la ecuación (1.4b),

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{T_5}{T_4} = 1 - \frac{T_2}{T_3} = 1 - \left[\frac{v_3}{v_2} \right]^{(k-1)} \quad (1.7)$$

Donde;

V_2 = Volumen del paso 2.

V_3 = Volumen del paso 3.

Donde se ha usado la ecuación de la trayectoria para la compresión isoentrópica con el fin de relacionar las temperaturas y los volúmenes.

En este momento se introducirá un término llamado relación de compresión, r_c que se define como

$$r_c = \frac{v_2}{v_3} \quad (1.8)$$

Nótese que la relación de compresión definida de esta manera es la relación de dos volúmenes, no de dos presiones, como comúnmente se cree.

Usando esta definición de relación de compresión, se tiene la eficiencia del ciclo de Otto como:

$$\eta_{Otto} = 1 - \left[\frac{1}{r_c} \right]^{(k-1)} \quad (1.9)$$

Donde;

η_{Otto} = Eficiencia del ciclo Otto.

r_c = Relación de compresión.

k = constante volumétrica = 1.4

Se hace hincapié en que el término relación de compresión no es la relación de la presión pico a la de la entrada; es la relación del volumen antes de la compresión entre el volumen después de la compresión.

En la figura 1.5 se representa en forma gráfica la ecuación (1.9) para $k=1.4$. Es evidente que un incremento en la relación de compresión conduce a un incremento en la eficiencia del ciclo. Sin embargo, se observará que la eficiencia aumenta a un ritmo decreciente, y que un incremento en la relación de compresión de 10 a 15 conduce a un aumento en la eficiencia de sólo 6%. Hasta mediados de la década de los sesenta, la relación de compresión de los motores automotrices se incrementaba por lo general en un esfuerzo por obtener más potencia de salida en un motor dado. No era extraño tener motores con relación de compresión de más de 10, que requerían combustibles con un alto contenido de plomo para evitar la preignición y la detonación de la mezcla de aire-combustible en las etapas de compresión e ignición del ciclo. Las consideraciones ecologistas, con el fin de reducir los contaminantes de estos motores, han conducido al desarrollo de motores con relaciones de compresión menores. El uso de controladores de contaminantes, la inyección de combustible

y los motores turbocargados han permitido a los motores modernos lograr altas salidas de potencia mientras que todavía son aceptables desde el punto de vista de la conservación ambiental.

Volviendo al ciclo Otto de aire estándar, debe destacarse otro aspecto importante. La eficiencia del ciclo Otto de aire estándar está determinada solo por la razón de v_2 a v_3 , de este modo, la operación del ciclo entre los límites de 2', 3', 4' y 5'. El suministro de calor, la salida de trabajo y el calor desechado serán diferentes para cada ciclo, pero la eficiencia será la misma.

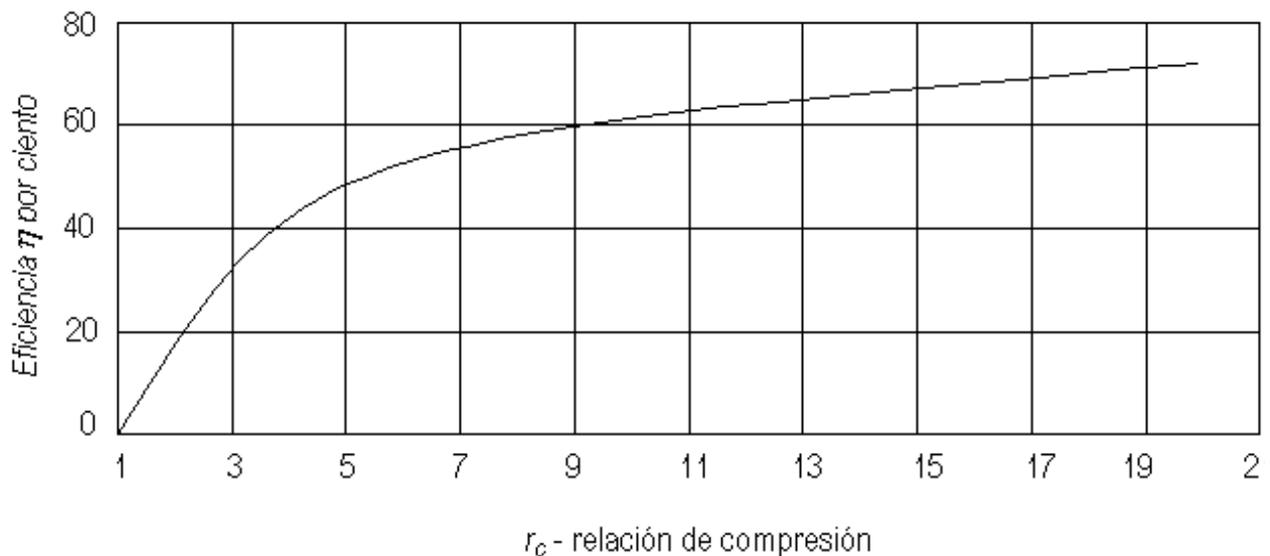


Figura 1.5 Diagrama Eficiencia (η) - Relación de Compresión (r_c).

No obstante, un ciclo de Carnot que tenga como temperatura máxima la temperatura superior del ciclo Otto y como temperatura mínima la temperatura

menor del mismo ciclo siempre tendrá una eficiencia térmica mayor que la de este último ciclo.

Esto puede determinarse a partir de la figura 1.4 de la siguiente forma: A medida que se agrega calor al ciclo Otto, su mayor temperatura T , se incrementa, pero la eficiencia permanece constante si v_2/v_3 es constante. La eficiencia del ciclo Carnot aumenta a medida que aumenta la temperatura pico del ciclo. Observemos que, idealmente (sin caídas de presión, etcétera), la carrera de aspiración 1-2, y la carrera de expulsión, 2-1 (figura 1.4), se anula entre sí, por así decirlo. El trabajo positivo bajo 1-2, es igual al negativo bajo 2-1.

Este ciclo se puede emplear para aproximarse al funcionamiento de un motor de combustión interna encendido por chispa. Este ciclo, mostrado en el diagrama Temperatura(T) - Entropía (S) y presión (p) - Volumen (V) (figura 1.4), está constituido por los siguientes procesos reversibles:

1. Proceso de compresión isentrópica (proceso 2 a 3).
2. Calentamiento instantáneo de la sustancia (combustión) a volumen constante (proceso 3 a 4).
3. Expansión isentrópica (proceso 4 a 5).
4. Expulsión instantánea de calor a volumen constante (proceso 5 a 2).

1.1.2 **Motores Cíclicos Otto.**

La eficiencia de los motores Otto se ve limitada por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la fricción y la refrigeración. En general la eficiencia de un motor de este tipo depende del grado de compresión, la proporción entre los volúmenes máximo y mínimo de la cámara de combustión. Esta proporción suele ser de 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto

modernos. Pueden utilizarse proporciones mayores, como de 14 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles antichoque de alto octanaje. La eficiencia media de un buen motor Otto es de un 25 a 30% (o sea que sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica).

Las condiciones del ciclo Otto fueron:

1. Volumen máximo de cilindro con mínima superficie expuesta, con el fin de reducir la transmisión de calor.
2. Presión máxima posible al comenzar el tiempo de expansión o útil.
3. Velocidad del émbolo máxima para limitar la transmisión del calor.
4. Máxima expansión posible.

En un motor real se realiza solamente un ciclo mecánico debido a que los gases son evacuados al exterior, suponiendo que el ciclo es termodinámico puede idearse un ciclo cerrado en el cuál el aire se calienta y se enfría por transmisión de energía en vez de hacerlo por combustión y cambio de aire.

En la figura 1.6 aparece un ciclo de esta clase en el cuál el trabajo realizado se representa sobre el plano pV, y la energía suministrada y devuelta, sobre el plano TS. Suponiendo en la figura 1.6 que en el cilindro siempre hay la misma cantidad de aire (m_a). Entonces, los tiempos de aspiración y de expulsión (0 a 1 y 1 a 0) no es preciso considerarlo. El ciclo ideal supone, lo expuesto en el tema 1.1.1 y se muestra nuevamente en la figura 1.6

1. - Compresión isentrópica (1 a 2).
2. - Adición de energía a volumen constante (2 a 3).
3. - Expansión isentrópica (3 a 4).
4. - Evacuación de la energía a volumen constante (4 a 1).

Todos los procesos son reversibles y el aire actúa como un gas perfecto, con calor específico constante, mostrando ahora, el proceso con el desplazamiento del pistón o el émbolo, para apreciarse e idealizarse mejor el ciclo de Otto.

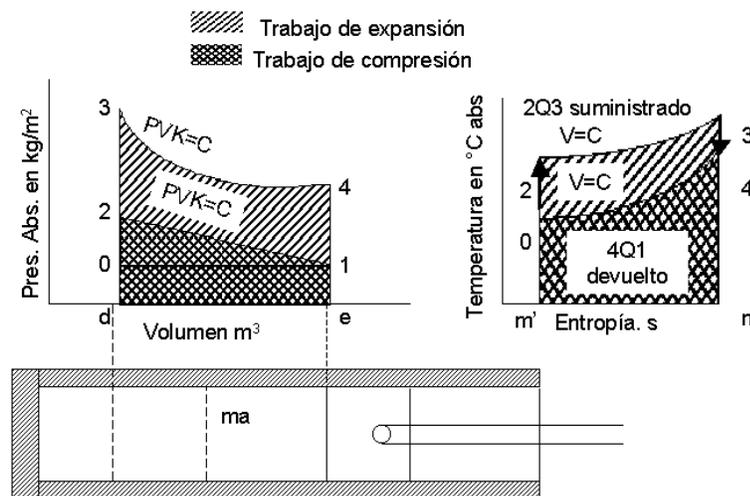


Figura 1.6 Ciclo mecánico Otto

1.2 PROCESO IDEAL DEL MOTOR DE OTTO

1.2.1 La mezcla real.

El espacio muerto del cilindro del motor alternativo contiene algunos de los productos de combustión final de la carrera de escape. La cantidad de gases en el espacio muerto depende sobre todo de la presión, temperatura y del volumen del mismo. Estos gases alcanzarán una temperatura elevada y se

mezclarán con la mezcla aire-combustible introducida, siendo la temperatura final la de la mezcla al comienzo del proceso de compresión. La cantidad y temperatura de los gases residuales influyen en la temperatura de la mezcla al final de la admisión, dado que esta temperatura y el proceso completo del motor determinan el valor de la temperatura de admisión sin hacer una hipótesis sobre las condiciones de los gases de dicho espacio muerto.

El procedimiento mas corriente es suponer conocidas la temperatura de admisión, cantidad de gases en el espacio muerto y la temperatura de admisión, pudiendo comprobar los valores supuestos.

1.2.2 Proceso de compresión

La mezcla aire-combustible introducida y los gases residuales en el espacio muerto del cilindro se comprimen reversiblemente y adiabáticamente, de 1 a 2 en el proceso ideal del motor de Otto. De aquí que la entropía de la mezcla permanezca constante durante el proceso, y para n moles de gas perfecto se obtiene:

$$\Delta S = 0 = n \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_v dT}{T} - nR \ln \frac{V_1}{V_2} \quad (1.15)$$

Donde;

ΔS = diferencia o cambio de entropía.

T = Temperatura.

n = número de moles.

R = Constante universal de los gases perfectos.

V = Volumen

Llamando S_v a $\int c_v dT/T$

$$n(S_v)_{T_2} - n(S_v)_{T_1} = nR \cdot (\ln r_c) \quad (1.16)$$

ya que la relación de compresión r_c es V_1/V_2

1.2.3 Proceso de combustión

Se supone que la combustión tiene lugar a volumen constante al final de la compresión en el proceso ideal del motor Otto. Al principio de la combustión, la mezcla tiene la energía química del combustible y del oxígeno, así como la energía interna del aire, del combustible y de los gases del espacio muerto. Al final del proceso, los productos disociados (H_2 , CO , etc.) todos los productos tienen energía química interna. Suponiendo que no existe transferencia de calor, las ecuaciones de la energía para el proceso son:

$$n_2(U_2 + C_2) = n_3(U_3 + C_3) \quad (1.17)$$

$$n_f C_{f+O_2 \rightarrow p} + (n_m U_m)_2 = n_p (U_p + C_p) \quad (1.18)$$

Donde;

n = numero de moles.

U = Energía interna.

C = Calor Específico.

Donde los subíndices f , m y p indican el combustible, la mezcla y los productos constituyentes respectivamente.

1.2.4 Proceso de expansión

Los gases presionan sobre el pistón durante el proceso de expansión, con la correspondiente disminución de energía interna y temperatura. La disminución de la temperatura permite la recombinación de algunos de los productos disociados a lo largo de todo el proceso. El proceso de expansión se supone adiabático y reversible en el caso ideal. En consecuencia, el proceso se realiza a entropía constante y puede resolverse analíticamente, pero el análisis se simplifica usando los ábacos de combustión.

El trabajo producido durante el proceso de expansión es igual a la diferencia entre la energía interna y química, al principio y al final del proceso, de este modo

$$\text{Trabajo} = [n_p (U_p + C_p)]_3 - [N_p (U_p + C_p)]_4 \quad (1.19)$$

donde n_p es menor en 4 que en 3 a causa de la recombinación de productos disociados.

1.2.5 Gases del espacio muerto.

La válvula de escape se abre al final del proceso de expansión y parte de los gases escapan y parte quedan en el cilindro. La parte que queda en el cilindro se expande de forma adiabática y reversible en el caso ideal hasta la presión atmosférica, y la otra parte escapa. Las condiciones de los gases que quedan en el cilindro están determinadas por la continuación del proceso de expansión (figura 1.4) hasta el punto 5. Este es un proceso a entropía constante,

y la utilización del diagrama de combustión proporciona el cálculo de las condiciones en el punto 5. En estas condiciones:

$$P_5 V_5 = n_5 R T_5 \quad (1.20)$$

Donde V_5 es el volumen de todos los gases, originariamente en el cilindro, expandiéndose adiabática e isoentrópicamente hasta 5, P es la presión, n es el número de moles, R es la constante Universal de los gases y T es la temperatura del sistema.

Al final del proceso de escape el pistón habrá desplazado un volumen de gases fuera del cilindro, quedando un volumen $V_0 = V_2$ de productos en el espacio muerto, en las condiciones específicas del punto 5. Por tanto, la relación en peso F de los gases del espacio muerto es:

$$f = V_2 / V_5 \quad (1.21)$$

1.2.6 Proceso de admisión.

El flujo de aire-combustible a presión atmosférica y temperatura ambiente penetra en el sistema de admisión del motor (figura 1.1) durante la carrera de admisión de 0 a 1 (figura 1.6). Este flujo en el sistema de admisión puede suponerse que es permanente en el caso del motor multicilindro y normalmente tiene una velocidad de aproximación despreciable en las partes en que el medio penetra a la superficie de control. El trabajo de la presión

atmosférica sobre la cantidad de medio entrante en el sistema de admisión es igual al trabajo del flujo pV , utilizado para flujos permanentes.

Los gases del espacio muerto que quedan en el cilindro están a la temperatura T_5 y tienen una energía interna $U_5 + C_5$ siendo despreciable C_5 en una mezcla estequiométrica y con exceso de aire pero muy apreciable en una mezcla con exceso de combustible. Durante la carrera de admisión no se le proporciona ningún calor a la mezcla aire-combustible que fluye a través del colector de admisión, la mezcla inducida y los gases del espacio muerto trabajan sobre el pistón.

Al final de la carrera de admisión la mezcla estará a la temperatura T_1 y con una energía interna U_1 .

Así la ecuación de la energía en el proceso de admisión es:

$$(1-f)(H_{aire} + H_f F/A)_{atm} + f(U_5 + C_5) = U_1 + P_1(V_1 - V_0) \quad (1.22)$$

en donde F/A es la relación en peso combustible-aire.

La solución de esta ecuación determina el valor de T_1 , que debería coincidir con el valor supuesto al principio del análisis (proceso de compresión); en caso contrario, la anterior solución se repetirá con otro valor de T_1 supuesto.

CAPITULO II

MECANISMOS QUE SE UTILIZAN PARA LA APERTURA DE VÁLVULAS EN UN MOTOR DE CICLO OTTO.



2.1 ***PROCESO IDEAL DEL MOTOR DE OTTO***

Uno de los objetivos de la presente investigación es saber qué parámetros intervienen en el proceso y las condiciones a la que estarán sometidos los mecanismos de apertura de válvulas, Este capítulo se dedica al estudio de los mecanismos existentes, así como de sus componentes más relevantes, tales como son válvula, levas, resortes, balancines, etcétera. Para conocer el funcionamiento del motor de flujo no permanente se necesita de la admisión, la retención y el escape del medio de trabajo en el cilindro del motor, se realiza mediante las válvulas y mecanismos de válvulas, dos de ellas se observan en la figura 2.1.

Figura 2.1 Dos tipos de mecanismo de válvulas

Las válvulas deben abrirse y cerrarse a determinados ángulos del cigüeñal, tal y como se puede ver de la figura 1.1 del capítulo anterior, con un mínimo de ruido y desgaste. Las aperturas de las válvulas deben ser suficientes para obtener una amplia capacidad de respiración. Además, deben asentar perfectamente e impedir el escape de gases durante el proceso de trabajo. Por otra parte, las válvulas deberán fabricarse con materiales que no se vean afectados por las distintas condiciones tales como la temperatura, corrosión y erosión. El mecanismo de válvula consiste en un árbol de levas, levas (que forman parte del árbol de levas que se indican en la figura 2.2), taqués y resortes. El mecanismo completo es un sistema elástico que se deforma por las distintas fuerzas a que está sometido durante su funcionamiento. No debe ser tan rígido que resulten cargas por choque excesivas o tan flexible que el funcionamiento de las válvulas resulte afectado gravemente. Por otro lado, cada parte deberá diseñarse para dar sustancialmente el mismo servicio que las demás partes en el mecanismo, es decir, no habrá partes excesivamente frágiles o resistentes en el sistema.

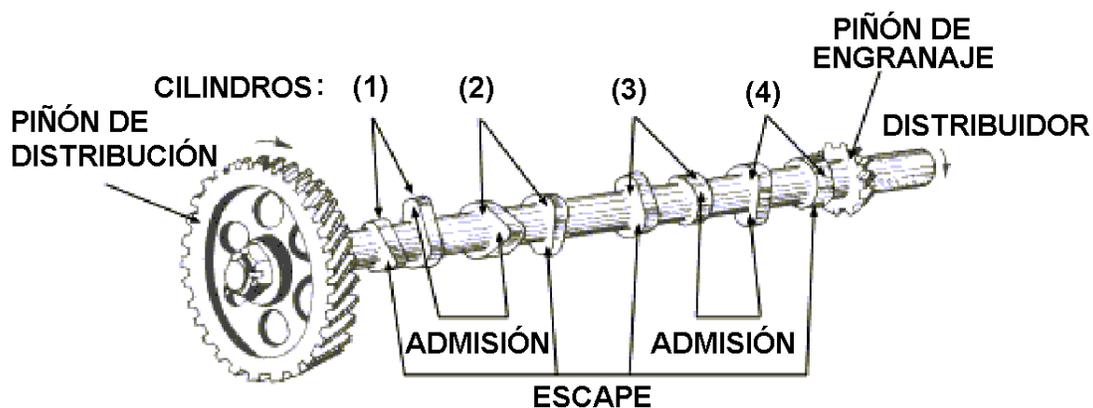


Figura 2.2 árbol de levas

2.2 **ASIENTOS Y ARANDELAS DE VÁLVULAS**

Los asientos de válvula tienen normalmente el mismo ángulo que las superficies de asiento de la válvula. Sin embargo, se considera una buena práctica hacer el ángulo del asiento sobre la válvula de $\frac{1}{2}$ a 1° más pequeño que el ángulo del asiento, cuando se forman depósitos molestos sobre el asiento. Este ángulo de interferencia (figura 2.3) hace que la válvula, al asentar en el lado de la cámara de combustión de la superficie de asiento, ejerza una alta presión de asiento, rompa el depósito del asiento con más alta efectividad y evite la corrosión fisurante en puntos que no hacen buen asiento. El área menor de contacto reduce la transmisión de calor desde la cabeza al asiento y da lugar a válvulas de escape más calientes. Por otra parte no deben utilizarse los rotores de válvula con ángulo de interferencia, debido a la superficie de asiento.

Las válvulas se asientan ordinariamente en el bloque del cilindro, o cabeza, que es normalmente de fundición. Este material forma un asiento muy conveniente para motores de automóvil o motores de ligera o media potencia. Sin embargo, con el trabajo duro el asiento de fundición para la válvula de escape se pica y se corroe, y la válvula se hunde gradualmente en el bloque. Esta erosión del asiento de válvula disminuye el huelgo del taqué. Si no se compensa con frecuentes ajustes, la válvula se distanciará del asiento, y dará lugar al quemado y alabeo.

El desgaste de asiento de la válvula (machaqueo, picado, erosión y fisuración), se puede reducir al mínimo con arandelas de asiento de válvulas se emplean en general materiales duros debido a su bajo costo. Los materiales blandos son caros y necesitan de asientos de válvula más anchos, pero pueden escariarse, mientras que los materiales duros deben rectificarse. Se emplean diversos materiales que van desde la estelita a la fundición e incluye aceros de alta velocidad, monel, distintas aleaciones y bronces. La estelita se utiliza para recubrir las arandelas de acero.

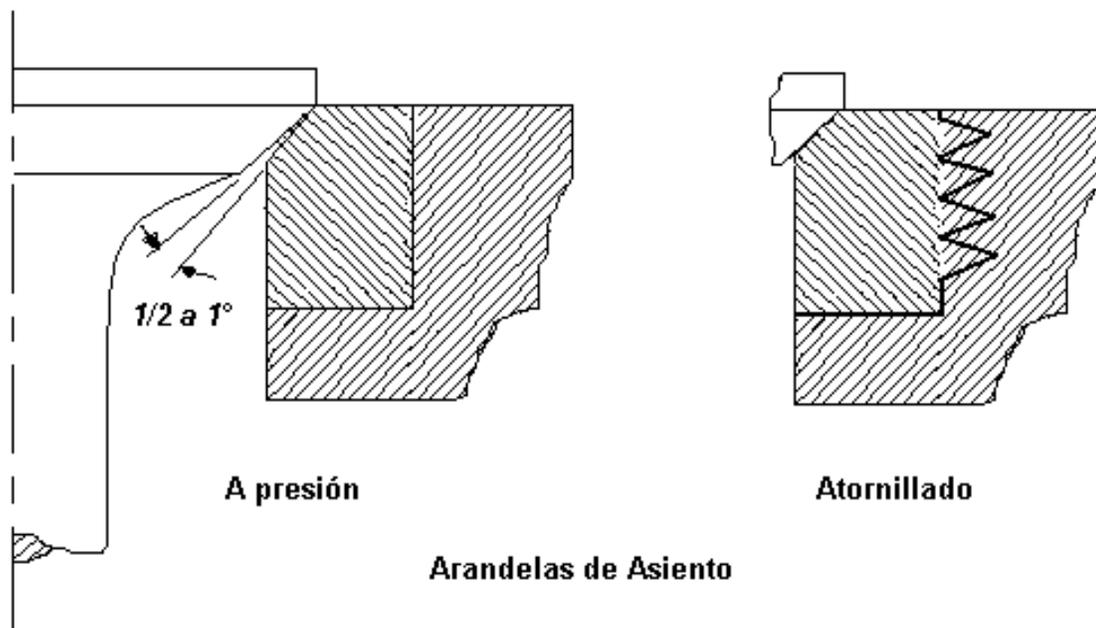


Figura 2.3 ángulo de interferencia de una válvula

Los asientos de válvula deben ser por un lado estrechos, a fin de obtener presiones unitarias elevadas y un asiento apretado, pero por otro lado

anchos para obtener una refrigeración eficaz en la cabeza de la válvula. Los asientos anchos atrapan más partículas duras de carbono entre la válvula y el asiento. Esto tiende a tener abierta la válvula haciendo que se quemen y alabeen las válvulas. Así pues, hay una anchura del asiento, dependiendo de los materiales y condiciones que dará lugar al servicio más satisfactorio. Materiales blandos para asientos de válvula y motores de alta potencia necesitan el empleo de asientos de válvula anchos para las válvulas de escape.

2.3 ***GUIAS Y REFUERZOS DE LOS VÁSTAGOS DE VÁLVULA***

El buen asiento de una válvula depende de la alineación mantenida por la guía del vástago. La construcción asimétrica inherente (figura 2.4) del conducto de la lumbrera con respecto al asiento en el bloque o culata, hace que parezca inevitable la distorsión, particularmente para las válvulas de escape. Para éstas es conveniente utilizar conductos de paso rápido o fluido dinámicos con refuerzos grandes en el conducto y con las guías no extendiéndose más allá del refuerzo.

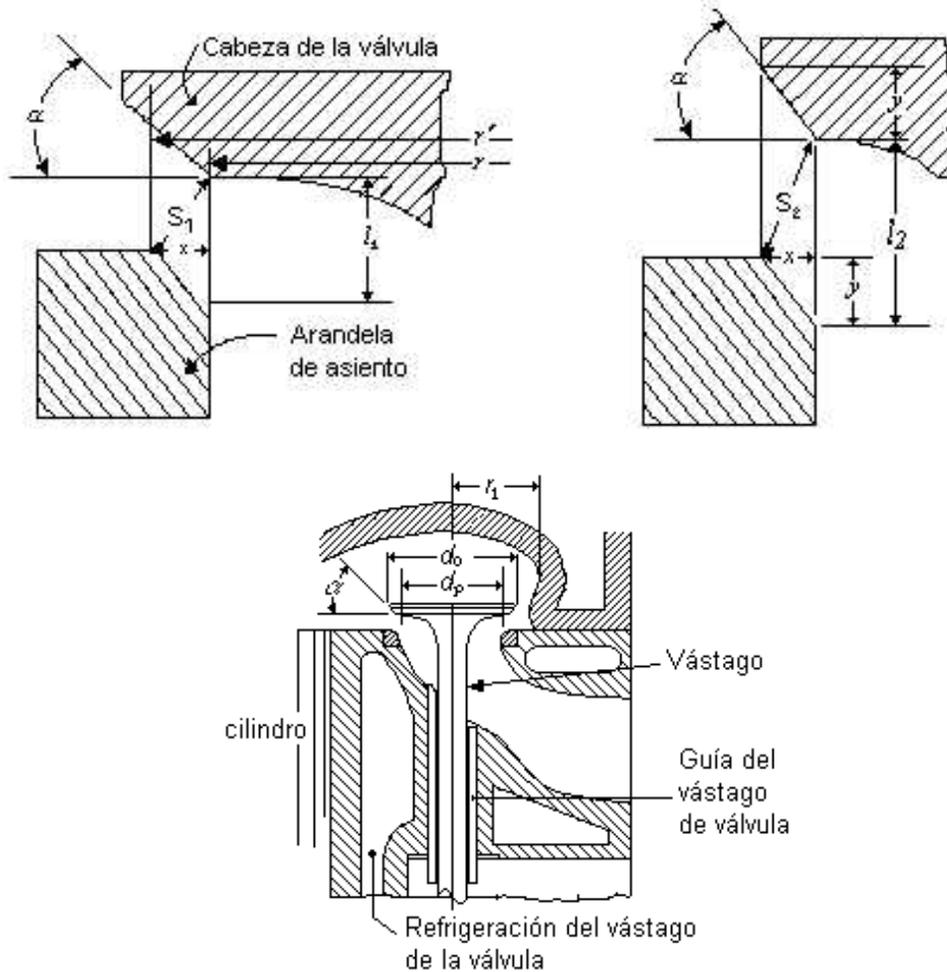


Figura 2.4 válvula en bisel y arandela de asiento

El refuerzo del vástago de la válvula de escape debe refrigerarse bien y el ajuste entre la guía y el refuerzo debe ser perfecto. La longitud de la guía del vástago no depende directamente del tamaño de la válvula, sino del diseño del motor.

Pueden usarse guías cortas cuando el vástago de la válvula no está sometido a empujes laterales. Las guías más largas se requerirán cuando sobre el vástago actúen directamente palancas cortas o balancines. El huelgo o tolerancia entre el vástago y su guía es de alrededor de 0.008" (0.02032 cm.) de distancia al diámetro del vástago para válvulas de escape y alrededor de 0.006" (0.01524 cm.) para válvulas de admisión. Esto puede reducirse apreciadamente cuando se da un acabado excelente a las superficies del vástago y de la guía, consiguiéndose así una mejora en las características de funcionamiento. Un vástago duro y una guía dura, con buen acabado superficial, pequeño huelgo, buena alineación y perfecta lubricación es lo más conveniente.

2.4 ***LEVAS Y EMPUJADORES***

Normalmente las válvulas se accionan mediante levas, hay cinco tipos generales:

1. Tangencial.
2. De flanco cóncavo.
3. De flanco convexo.
4. Proporcional.
5. Levas de aceleración continuamente variable.

La leva tangencial está constituida por un círculo de base, un círculo de nariz y dos flancos tangenciales a ambos círculos (figura 2.5).

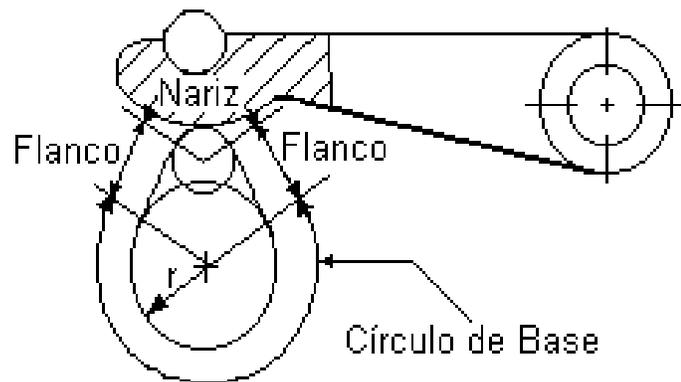


Figura 2.5 leva tangencial y empujador pivotado.

La leva de flanco cóncavo (figura 2.6) y la leva de flanco convexo (figura 2.7) tienen flancos que son arcos de círculos tangenciales a los de base y nariz.

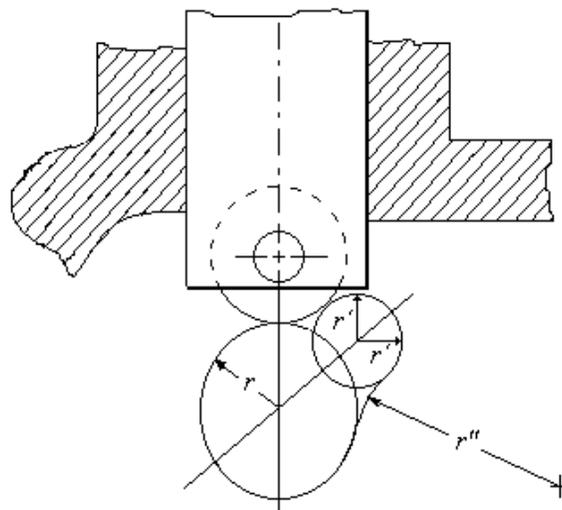


Figura 2.6 Leva de flanco cóncavo y empujador de rodillo.

La leva proporcional con empujadores de rodillo, se diseña para obtener un movimiento armónico simple de la válvula, de manera que en todos los recorridos las fuerzas aceleradoras sean proporcionales a las fuerzas del resorte. Los tres tipos principales de empujadores de levas son:

- a) El de pivotado (figura 2.5).
- b) El de rodillo (figura 2.6).
- c) El de seta (figura 2.7).

Los empujadores de seta tienen superficies de contacto planas o esféricas. El radio de las superficies esféricas varía de 3 (1.1811 in.) a 3.5 (1.3779 in.) centímetros, dependiendo de la falta de alineación prevista y del tamaño del empujador.

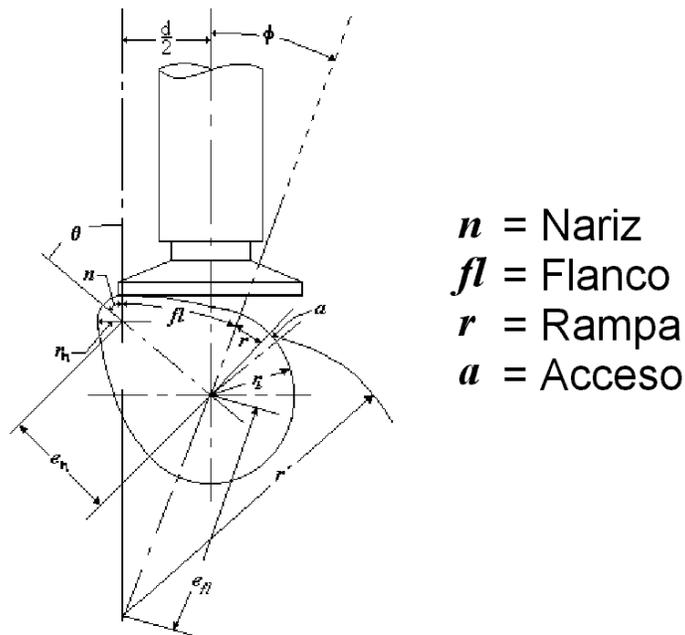


Figura 2.7 Leva de flanco convexo con empujador de seta

Debe preverse un huelgo entre el vástago de la válvula y el empujador de la leva u otro mecanismo que intervenga para permitir la expansión del vástago, hundimiento del asiento de la válvula y reasiento o rectificación de la válvula. Se utiliza un taqué ajustable (figura 2.8) para que el huelgo deseado pueda tener variación del cual cambia el reglaje de la válvula.

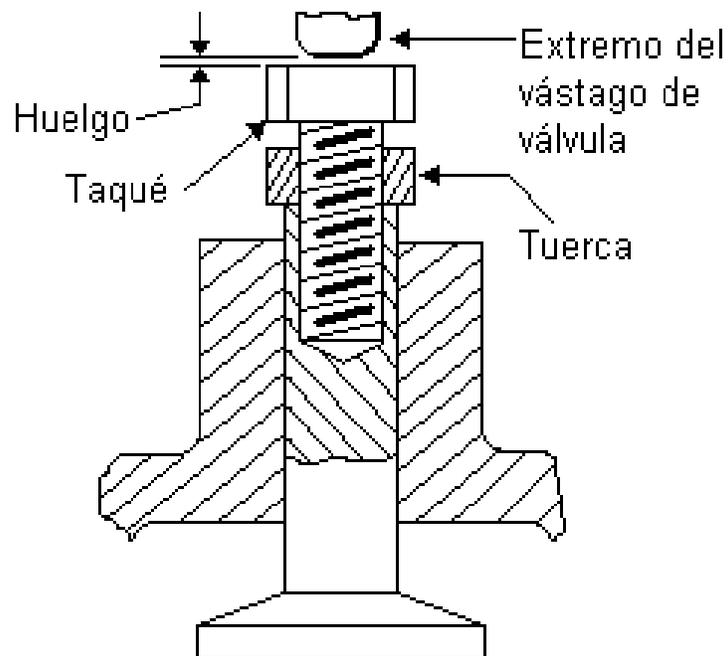


Figura 2.8 Ajuste del taqué.

La mayoría de las levas de válvula de los motores de combustión interna anteriores a 1950 introducían una gran aceleración a la válvula en el instante cero (figura 2.9) a fin de levantar la válvula a su máxima velocidad durante la primera parte del recorrido. Teóricamente los cambios bruscos de aceleración introducen fuerzas infinitas, que son absorbidas solamente por compresión del

mecanismo del juego de la válvula entre la leva y la válvula. Desde 1948 las levas se diseñan para obtener un cambio suave o continuo de la aceleración reduciendo de este modo las fuerzas impuestas sobre el mecanismo de la válvula así como sobre la leva y árbol de levas.

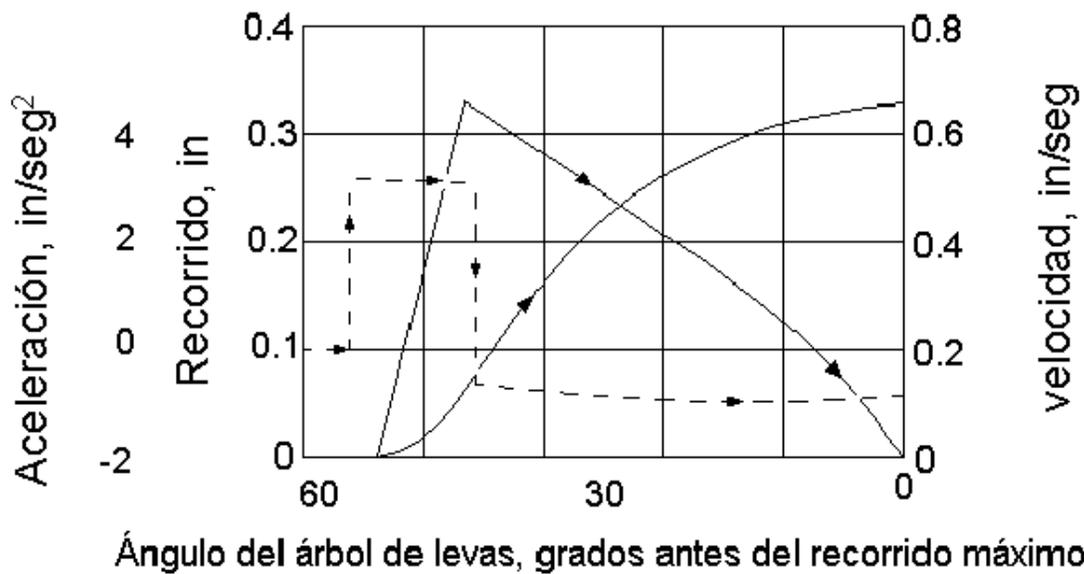


Figura 2.9 Diagrama de válvula para una leva de flanco convexo y empujador de seta. La velocidad de leva es de 1 rad/seg.

2.5 **DIAGRAMAS DE RECORRIDO DE VÁLVULA.**

La curva de recorrido de válvula deseada puede describirse como una función continua del ángulo del árbol de levas θ . Así,

$$\text{Re corrido, } l = l_{\max} + C_2\theta^2 + C_a\theta^a + C_e\theta^e + C_i\theta^i + C_u\theta^u = C_a\theta^6 + C_e\theta^{10} + C_i\theta^{14} + C_u\theta^{18} \quad (2.1)$$

Donde l es el recorrido, l_{max} es el recorrido máximo, con $\theta = 0^\circ$ En el máximo recorrido de la válvula. En la figura 2.10 se han representado gráficamente tres curvas de recorrido, con exponentes 2, a, e, i, y u registrados en las curvas.

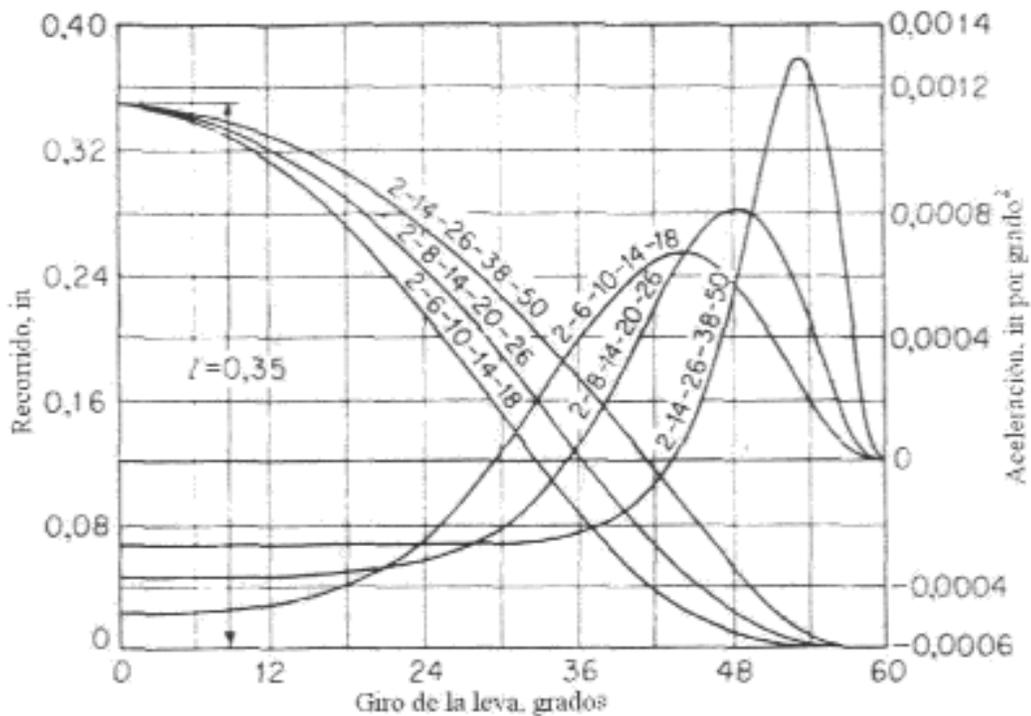


Figura 2.10 Curvas de recorrido y aceleración para tres series con incrementos iguales entre potencias.

La velocidad de la válvula para la curva de menor recorrido es:

$$Vel = dl / d\theta = 2C_2\theta + 6C_a\theta^5 + 10C_e\theta^9 + 14C_i\theta^{13} + 18C_u\theta^{17} \quad (2.2)$$

que indica que la velocidad es nula para el máximo ángulo de recorrido. La aceleración de la válvula para la misma curva de recorrido es:

$$Acel = d/(vel)d\theta = 2C_2 + 30C_a\theta^4 + 90C_e\theta^8 + 182C_i\theta^{12} + 306C_u\theta^{16} \quad (2.3)$$

que indica la aceleración negativa máxima de $2C_2$ cuando θ es 0. Véase la figura 2.10 para las tres curvas de aceleración.

El cambio de aceleración, o tirón de la válvula, es:

$$d \text{ acel} / d\theta = 0 \quad \text{cuando } \theta \text{ es cero.}$$

Las ecuaciones para evaluar los coeficientes C_2, C_a, \dots , son

$$C_2 = -aeiul / (a-2)(e-2)(i-2)(u-2)l^2 \quad (2.4)$$

$$C_a = 2eiul / (a-2)(e-a)(i-a)(u-a)l^a \quad (2.5)$$

$$C_e = -2aiul / (e-2)(e-a)(i-e)(u-e)l^e \quad (2.6)$$

$$C_i = 2aeul / (i-2)(i-a)(i-e)(u-2)l^i \quad (2.7)$$

$$C_u = -2aeil / (u-2)(u-a)(u-e)(u-i)l^u \quad (2.8)$$

El recorrido de la leva debe diseñarse para absorber cualquier huelgo del taqué por medio de una rampa de leva que proporcione una velocidad de elevación constante (figura 2.11), que puede ir desde 0.0005 centímetro-grado para ruido mínimo de taqué en motores de automóvil hasta 0.0038 centímetro-grado en motores de camiones e industriales, donde el ruido de taqué no es demasiado molesto.

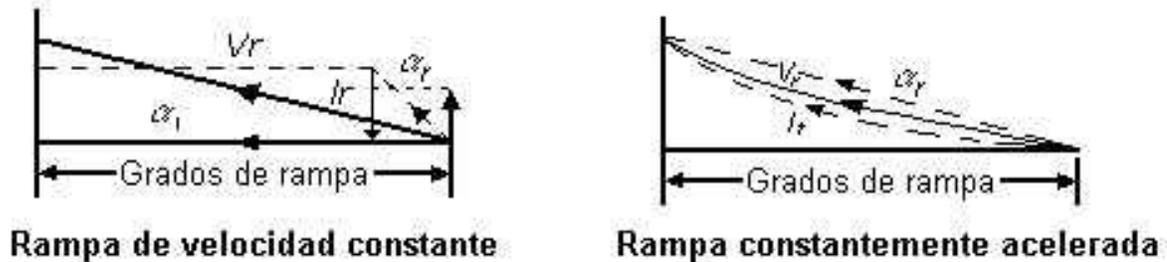


Figura 2.11 Dos tipos de rampas de leva

Una rampa constante acelerada (figura 2.11) es preferida para limitar la variación de los tiempos de apertura y cierre de la válvula y particularmente para usar con taqués hidráulicos que mantienen a cero el huelgo. Disminuyendo la longitud de la rampa de velocidad constante se reduce la variación del tiempo de apertura de la válvula, pero se precisa de aceleraciones más elevadas al comienzo de la curva de recorrido de la rampa. Es costumbre hacer la rampa de leva de cierre más alta que la de apertura a fin de compensar la falta de contacto del taqué durante el periodo de apertura de la válvula. Cuando el huelgo del taqué es absorbido, la leva aplica una fuerza creciente sobre el mecanismo de juego de la válvula, que comprime un muelle hasta que la fuerza sobre la válvula iguala la fuerza del resorte de asiento de la válvula. Por tanto, el recorrido de la leva será mayor que el de la válvula (figura 2.12) durante todo su periodo de apertura debido a la compresión del resorte de la válvula y la tensión creciente sobre el mecanismo. La constante del resorte es k_m , para el mecanismo de la válvula es normalmente de 550 a 1100 kg/cm²/cm de flecha, y k_s para el resorte

MECANISMOS QUE SE UTILIZAN PARA LA APERTURA DE VÁLVULAS EN UN
MOTOR DE CICLO OTTO

de la válvula es de 4 a 7 kg/cm²/cm de flecha. Por tanto, durante la apertura de la válvula a una velocidad del motor muy baja:

$$\text{Fuerza de la leva} = k_m(I_C - I_V) = k_S I_V = \text{fuerza del muelle de la válvula} \quad (2.9)$$

$$\text{ó} \quad l_C = (1 + k_S/k_m) l_V \quad (2.10)$$

Donde K_m = Constante del resorte del mecanismo de válvula [de 550 a 1100 (kg/cm²)/cm].

K_S = Constante del resorte de válvula [de 4 @7 (kg/cm²)/cm]

l_C = Longitud del recorrido final.

l_V = Longitud al recorrido inicial.

MECANISMOS QUE SE UTILIZAN PARA LA APERTURA DE VÁLVULAS EN UN MOTOR DE CICLO OTTO

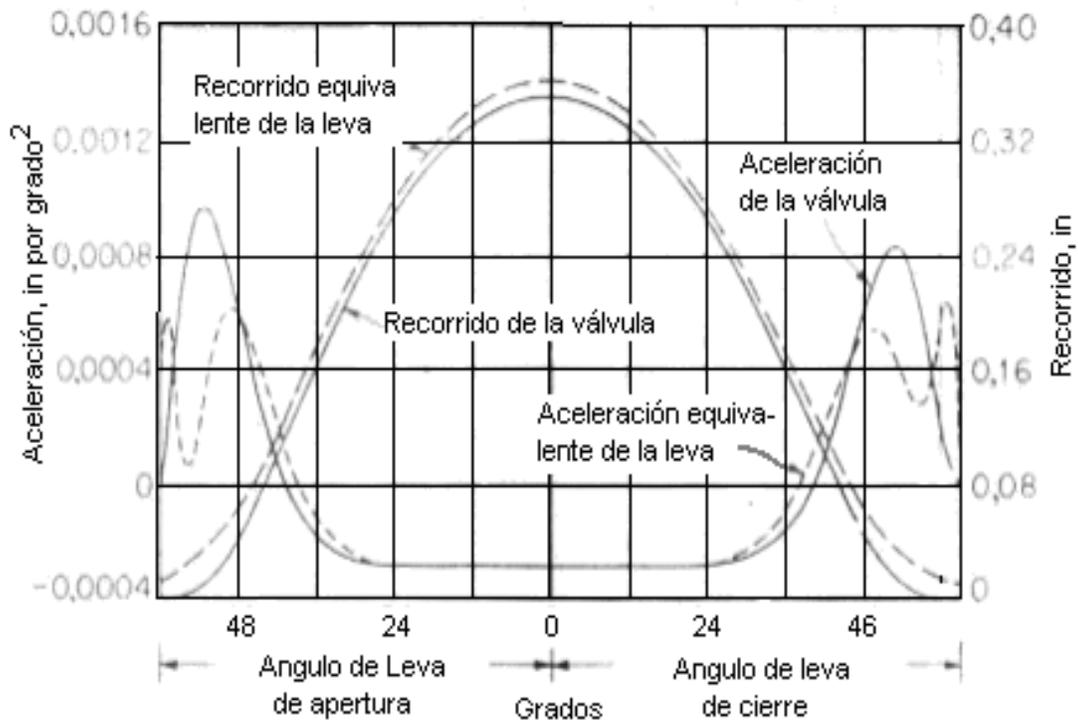


Figura 2.12 Curvas de aceleración y recorrido de válvula y leva para una leva polidina.

La carga dinámica sobre la leva es la fuerza requerida para acelerar la masa equivalente del mecanismo de la válvula. Así pues:

$$\text{Fuerza dinámica } F_d = \text{masa equivalente} \times \text{aceleración} \quad (2.11)$$

Para un taqué, empujador, balancín y mecanismo de válvula en culata, el peso equivalente es el peso real de todas estas piezas, excepto para el

balancín, con tal de que el recorrido de la válvula sea el mismo que el del empujador. Para recorridos diferentes (figura 2.13).

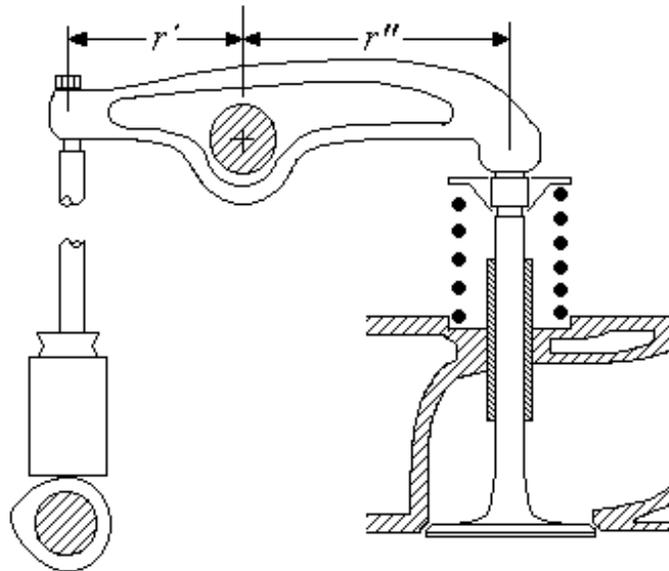


Figura 2.13 Mecanismo de balancín en válvulas de culata.

$$\text{Peso equivalente del balancín} = \sum m' r^2 / r' \quad \text{y} \quad \sum m'' r^2 / r'' \quad (2.12)$$

donde r es el radio de cualquier parte elemental del balancín y m su peso. En este caso, el peso de la válvula y el resorte debe corregirse con el factor r'/r'' . Además, la mitad del peso del resorte de la válvula se supone que es su peso efectivo.

Puesto que la aceleración viene dada en $cm/grad^2$ en la ecuación (2.3), para evaluar F_d se necesita un factor de conversión de $cm/grad^2$ a m/seg^2 . Así, la ecuación (2.11) se transforma en:

$$F_d = 0.0367(\text{peso} \cdot \text{equivalente} \times \text{acel.} \times n_c^2) \quad (2.13)$$

donde n_c son las rpm del árbol de levas.

Luego:

$$\text{FlechaDinámica} = F_d / k_m = 0.0367(W_{equiv})n_c^2 \left(\frac{a}{k_m} \right) = ka. \quad (2.14)$$

por otra parte,

$$\text{Recorrido equivalente leva} = I_{ramp} + (1 + k_s / k_m)I_v + ka. \quad (2.15)$$

Con una aceleración nula de la leva, la fuerza y la flecha dinámica son cero, en cuyo instante tiene lugar la diferencia mínima entre los recorridos equivalentes de la leva y de la válvula (figura 2.12).

Puesto que las relaciones anteriores hacen uso de una expresión polinómica e incluye el efecto de las fuerzas dinámicas, la leva resultante se denomina leva polidina.

2.6 **RELACIONES ENTRE EL BALANCÍN, EXTREMO DE VÁLVULA Y GUÍA DE VÁLVULA.**

Entre el extremo del balancín y el de la válvula se produce deslizamiento, rozamiento y desgaste; por otra parte el vástago de la válvula es empujado hacia uno y otro lado de la guía del vástago, excepto cuando una línea a través del eje del balancín es tangente al extremo del balancín y al mismo tiempo, normal al eje de la válvula. Para obtener el mínimo desgaste en el extremo de la válvula y en la guía, la suma de las fuerzas del gas, resorte e inercia que actúan sobre el extremo del balancín se han representado en función del recorrido de la válvula en la figura 2.14.

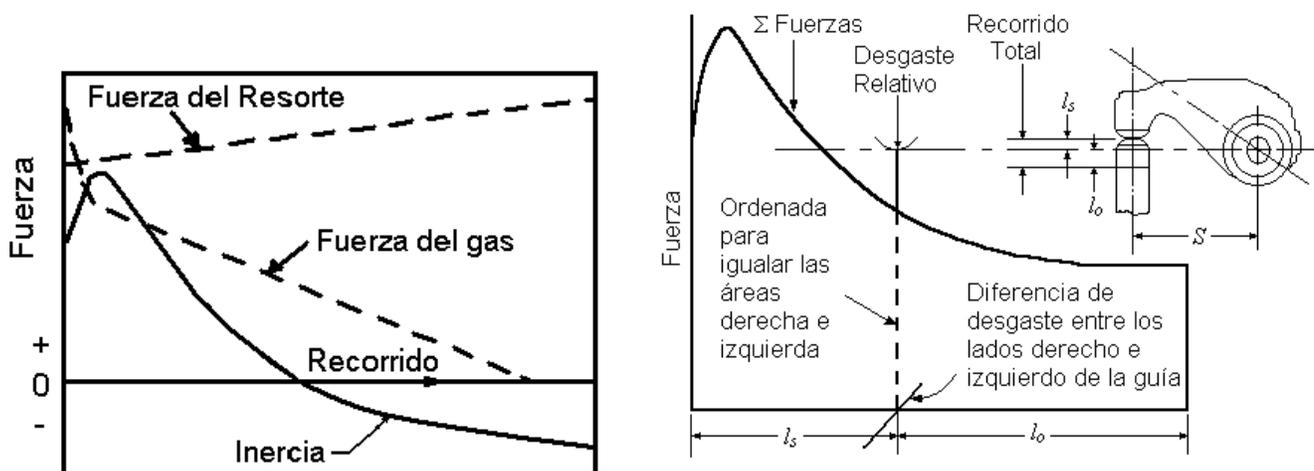
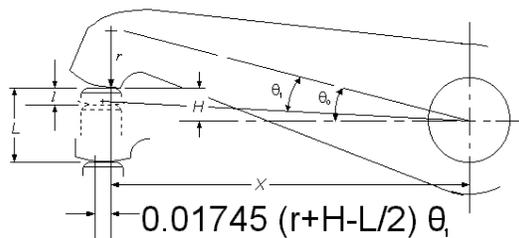


Figura 2.14. Relaciones entre el balancín, extremo de válvula y guía de válvula. Basado en el trabajo de R.V. Hutchinson y la curva de inercia de la figura 2.10.

El área del diagrama fuerza-recorrido se divide en dos áreas de trabajo iguales por una ordenada que indica la distribución del recorrido por encima y por debajo del cuál no se produce deslizamiento del extremo del balancín sobre el de la válvula.

Para las válvulas de culata o de cualquier tipo con balancines, la relación de palanca debe darse de acuerdo con los diagramas de recorrido.

Los apoyos del balancín de las figuras 2.15 y 2.16 se deslizan de un lado a otro del extremo de la válvula durante el período de apertura de la válvula, decreciendo la velocidad de deslizamiento a cero en el punto de diseño indicado en otro tiempo para rodamiento puro.



$$0.008725 H \theta_0$$

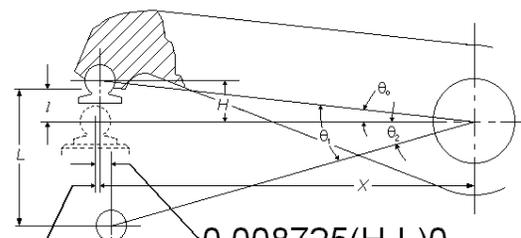


Figura 2.15 Balancín con apoyo de rodillo deslizante

Figura 2.16 Balancín con apoyo deslizante

Evidentemente el deslizamiento desaparece en la posición izquierda máxima y también en el cierre de la válvula. En cualquier recorrido entre los límites cero y L .

$$V_{cv} = 0.01745(r + H - l) \text{ cm/grado} \quad (2.16)$$

y

$$V_b = 0.01745r \text{ cm/grado.} \quad (2.17)$$

Por consiguiente,

$$V_{rd} = V_{cv} - V_b \quad (2.18)$$

$$V_{rd} = 0.01745 (H - l) \text{ cm/grado.} \quad (2.19)$$

De donde:

V_{cv} = Velocidad de contacto de válvula

V_b = Velocidad de contacto del balancín.

V_{rd} = Velocidad relativa de deslizamiento.

H = Altura de apoyo de diseño.

l = desplazamiento del centro de apoyo del balancín.

r = Radio del diseño de curvatura del apoyo del balancín.

2.7 **ÁRBOL DE LEVAS.**

Las levas se forjan o funden junto con el árbol de levas (figura 2.2) que deberá diseñarse rígido y resistente para reducir al mínimo las flexiones y vibraciones. Las levas, aún perfectamente diseñadas y construidas, son de poco valor si la relación con el palpador no se mantiene.

Hay diferencias de criterio considerables respecto a la mejor combinación de materiales para levas y taqués, y de la mejor forma de las superficies de contacto de leva, taqué y tipo de lubricante más conveniente a emplear sobre estas superficies sometidas a pesadas cargas. Los árboles de levas de fundición aleada se han juzgado como los más satisfactorios con materiales tales como el acero endurecido SAE 1039. Aunque un árbol de levas de acero aleado funcionará con taqués de acero endurecido, un árbol de acero endurecido no funcionará con taqués de acero.

La superficie de contacto de leva puede ser redondeada o recta, mientras que el taqué es normalmente esférico, con un radio aproximado de 75 cm. Además el taqué se equilibra con respecto a la leva, que la hace girar cuando está en contacto con ella. La carga máxima se estima superior a 11 200 kg/cm² en motores de automóvil de alta potencia muy revolucionados. La mayor parte de los defectos de superficie de leva o taqué ocurren al principio de la vida del motor de un automóvil. Sin embargo, si supera este periodo inicial, lo normal es que rinda un buen servicio para el resto de la vida del automóvil.

El tamaño de las levas limita las dimensiones del árbol de levas, el cuál deberá tener superficies de apoyo amplias a fin de reducir al mínimo el desgaste. Normalmente se colocan de dos a cuatro levas entre apoyos, dependiendo de la longitud del árbol de levas.

El funcionamiento de las válvulas tiende a hacer girar al árbol de levas contra la dirección de giro durante el periodo de apertura y viceversa. Esta inversión de tensiones puede neutralizarse empleando levas y taqués de

equilibrio situados convenientemente. Un árbol de levas para seis cilindros tiene seis levas de admisión y seis de escape, uniformemente distribuidas alrededor del círculo del árbol que tiende a eliminar el efecto de inversión al final del impulso, pero no elimina las inversiones locales de tensión que tienden a ocasionar vibraciones de torsión.

2.8 **SINCRONIZACIÓN DE LAS VÁLVULAS.**

Teóricamente, la válvula de admisión debe abrirse en el punto muerto superior y cerrarse en el punto muerto inferior de la carrera del pistón, mientras que la válvula de escape debe abrirse en el punto muerto inferior y cerrarse en el punto muerto superior. Esta sincronización se cumple satisfactoriamente en motores poco revolucionados (figura 2.17), pero con elevadas revoluciones es necesario avanzar la apertura de la válvula de escape y retrasar el cierre de la válvula de admisión a fin de reducir el trabajo de escape y admitir la máxima cantidad de aire o carga.

Así pues, la sincronización óptima de las válvulas da lugar a una carga máxima a la velocidad conveniente. El cierre retrasado de la válvula de admisión a bajas revoluciones le permite, a parte de la descarga, escapar del cilindro durante la carrera de compresión. Esto reduce la presión de compresión y disminuye la tendencia al picado a bajas revoluciones del motor. Reduce también las pérdidas por estrangulamiento a velocidades y potencias mas bajas, ya que se requiere menor estrangulamiento si parte de la carga se escapa. Además el cierre más retrasado de las válvulas de admisión cambia el par máximo y la potencia máxima a las revoluciones más elevadas del motor.

El solape o traslape del cierre del escape y la apertura de la válvula de admisión hace posible el barrido del espacio muerto, dando por resultado un aumento de la potencia.

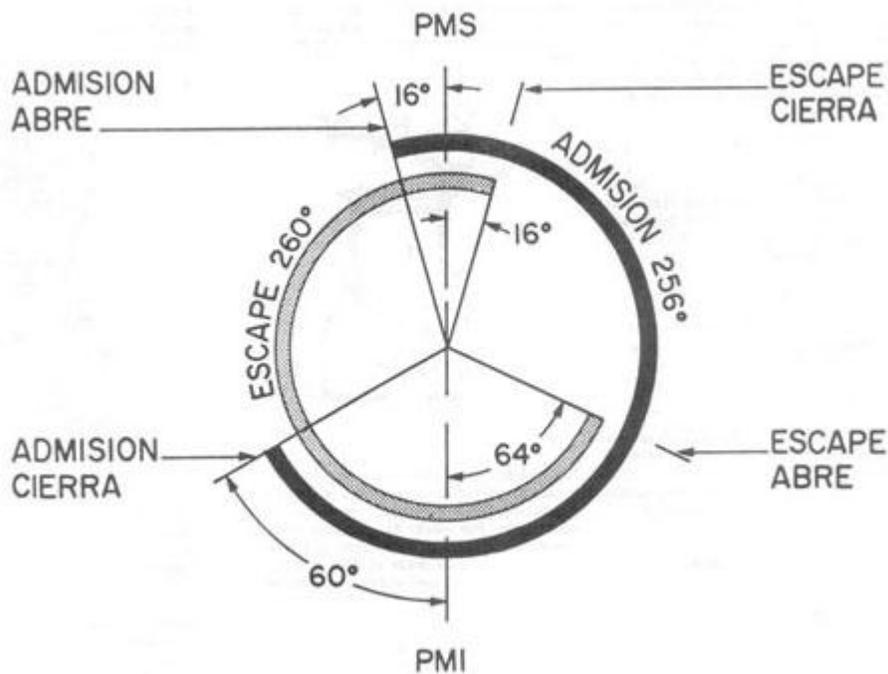


Figura 2.17 Diagrama de sincronización de válvulas.

La sincronización de las válvulas se basa en huelgos determinados del taqué con motor caliente. Estos varían con el diseño del motor, velocidad y carga (figura 2.18). En la práctica automovilística varían de 0.25 a 0.68 mm de holgura para válvulas de admisión y de 0.41 a 0.68 mm para válvulas de escape, ambas en condiciones de funcionamiento en caliente.

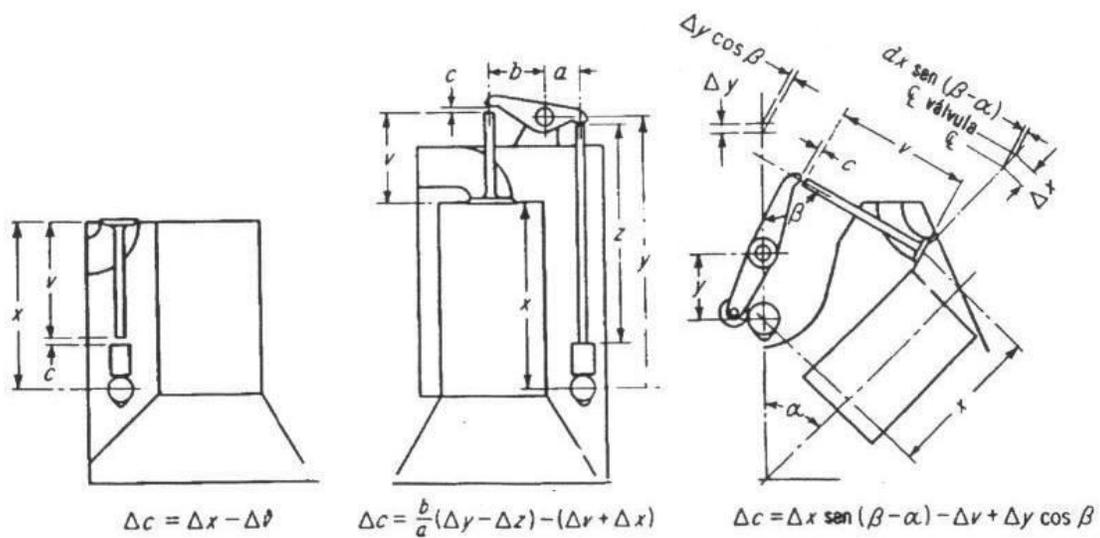


Figura 2.18 Efecto de la temperatura sobre los cambios del holgura de válvula.

2.9 PÉRDIDAS DE SINCRONIZACIÓN DE VÁLVULAS.

La apertura de la válvula de escape antes de la posición del punto muerto inferior redondea el ángulo de escape del registro indicador (figura 2.19) y reduce el trabajo de expansión. Esta reducción de trabajo es aproximadamente del 1 al 2 por 100 del trabajo ideal de expansión, que supone alrededor de 0.4 a 0.8 kcal de trabajo por 100 kcal producidas en un motor cuya relación de expansión sea 8:1.

MECANISMOS QUE SE UTILIZAN PARA LA APERTURA DE VÁLVULAS EN UN MOTOR DE CICLO OTTO

Es notable que la sincronización de las válvulas afecte el trabajo de un motor, así como los procesos de compresión y expansión.

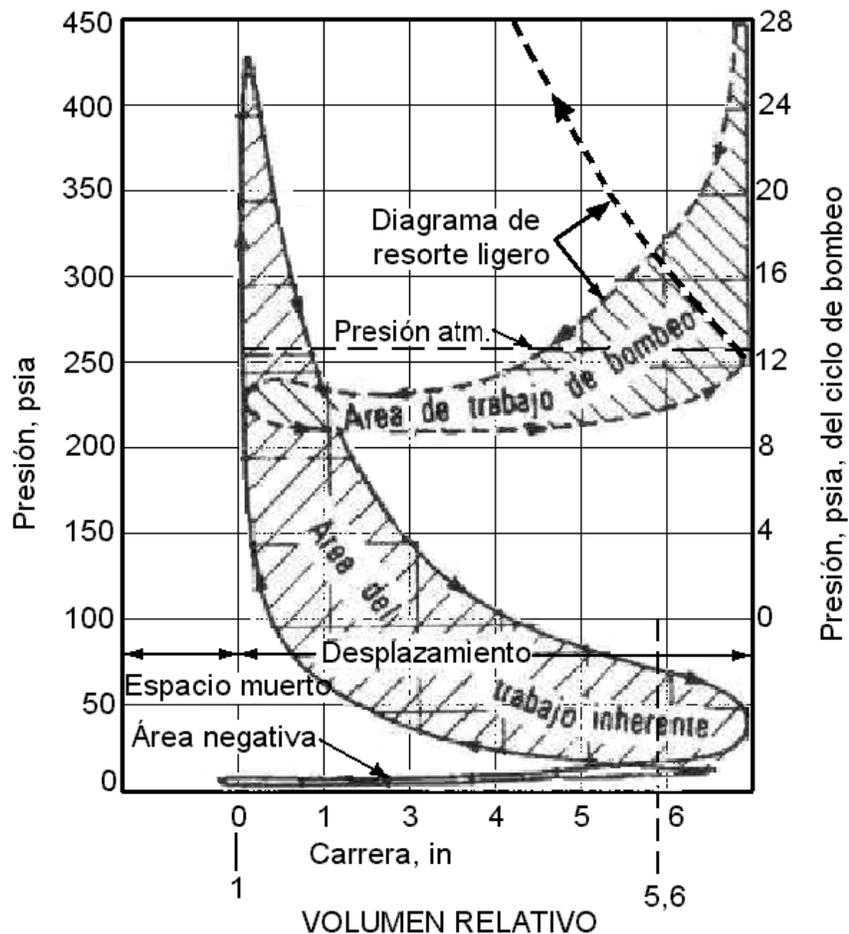
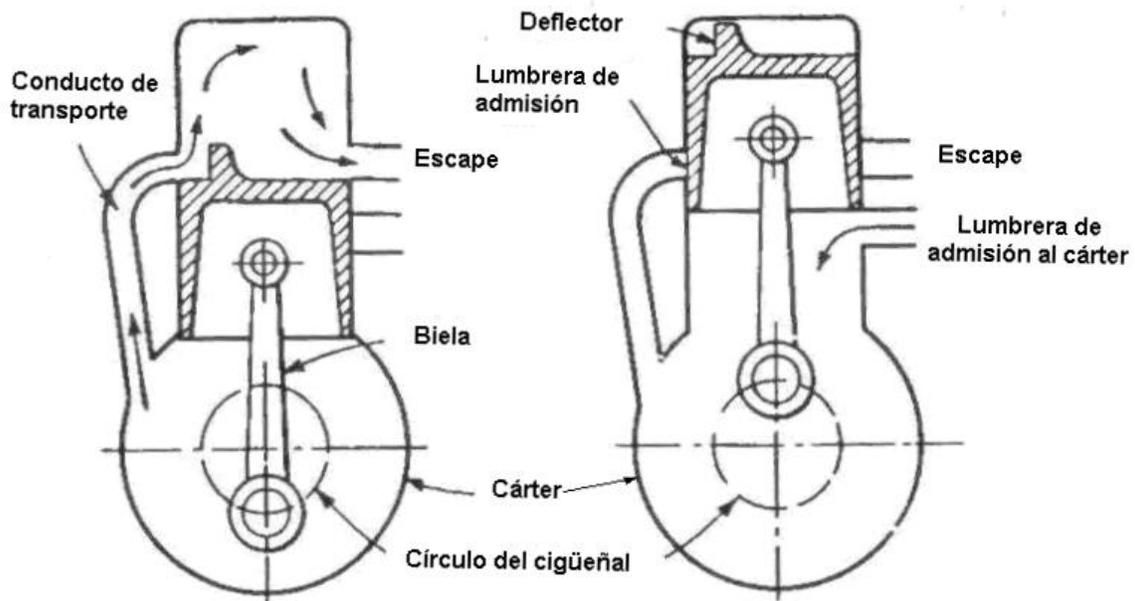


Figura 2.19 Registro del indicador con circuito de bombeo de resorte ligero. Indicador de diafragma, fijado en su contorno, y presión equilibrada de la Bureau of Estándar. Ensayo de motor en cámara de altitud.

MECANISMOS QUE SE UTILIZAN PARA LA APERTURA DE VÁLVULAS EN UN MOTOR DE CICLO OTTO

El motor de dos tiempos tiene una pérdida de trabajo debida a la apertura de la lumbrera de escape semejante a la que tiene el motor de cuatro tiempos al abrirse la válvula de escape.



Proceso de Admisión
y escape a la cámara

Proceso de Compresión
y admisión al cárter

Figura 2.20 Motor de dos tiempos con tres lumbreras.

La carga fresca ligeramente comprimida pasa por el cárter en el motor de tres lumbreras (figura 2.20), por la bomba de barrido en el tipo de una o dos lumbreras (figura 2.21) y, luego, por el cilindro, donde se desplaza aparte de los productos de escape y se mezcla algo con los productos que permanecen en el

MECANISMOS QUE SE UTILIZAN PARA LA APERTURA DE VÁLVULAS EN UN MOTOR DE CICLO OTTO

cilindro. Parte de su carga fresca puede salir a través de las lumbreras o válvulas de escape.

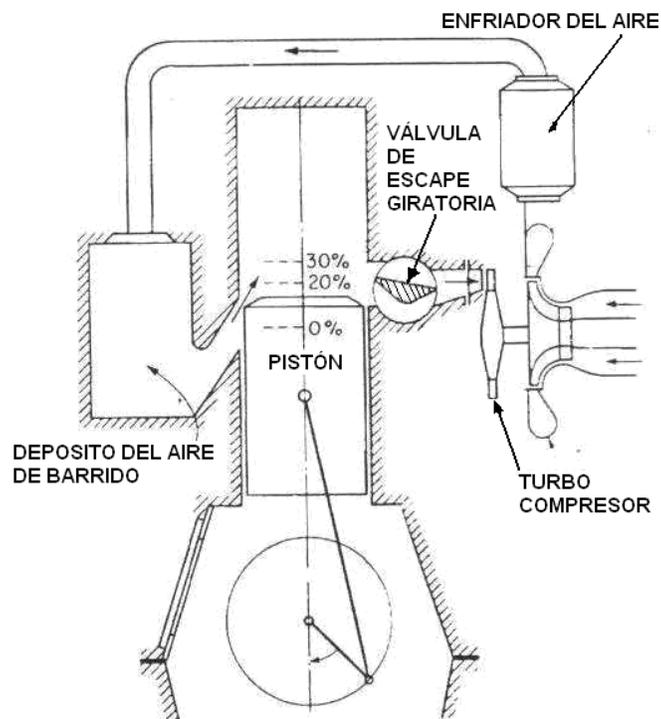


Figura 2.21 Esquema de la sobrealimentación de pulsos. Un turbocompresor para tres cilindros de un motor del ciclo Otto.

La dilución de la carga nueva con los productos del espacio muerto tiende a aumentar el rendimiento del proceso, siendo equilibrado este incremento con la tendencia de los productos del espacio muerto a aumentar la temperatura de la mezcla. La dilución también aumenta el tiempo necesario para la combustión, lo cuál disminuye mucho el rendimiento de este tipo de motor, particularmente, en funcionamiento a estrangulación parcial.

El pistón tapa la lumbrera de admisión antes que la lumbrera de escape en la carrera de compresión, con lo que se puede dar lugar a una pérdida de la mezcla a través de la lumbrera de escape. Toda pérdida de mezcla es una pérdida de la porción disponible de su energía.

La lumbrera de entrada al cárter se abre casi al final de la carrera de compresión, lo que hace elevada la pérdida de bombeo y bajo rendimiento volumétrico de éste tipo de motor. Estas pérdidas de bombeo se reducen con válvulas de admisión rotatorias o de seta.

Las pérdidas de combustible a través de la lumbrera de escape se eliminan en el motor de inyección de combustible, el cuál puede emplear una bomba auxiliar de barrido para introducir aire y desplazar los productos de escape del cilindro. La dilución del aire con los productos de escape puede eliminarse prácticamente si el sistema de barrido es eficaz y la bomba de barrido tiene una capacidad mayor que el desplazamiento del pistón. Evidentemente, este aumento de capacidad aumenta las pérdidas de bombeo y la bomba auxiliar aumenta las pérdidas totales por rozamiento.

2.10 ***FUERZA Y FLECHA DEL RESORTE DE VÁLVULAS.***

Para mantener contacto entre las levas y válvulas, así como el mecanismo intermedio durante los procesos de desaceleración, se precisa la fuerza del resorte de la válvula (figura 2.12).

Los resortes de válvulas deben estar parcialmente comprimidos inicialmente con la válvula sobre su asiento a fin de evitar el golpeteo de las válvulas con su asiento. La fuerza necesaria del resorte depende de la masa de las partes móviles y aceleración deseada, puede determinarse gráficamente proyectando segmentos de líneas equivalentes al producto de la masa por la aceleración (ma), a distintas posiciones de recorrido de la válvula (figura 2.22).

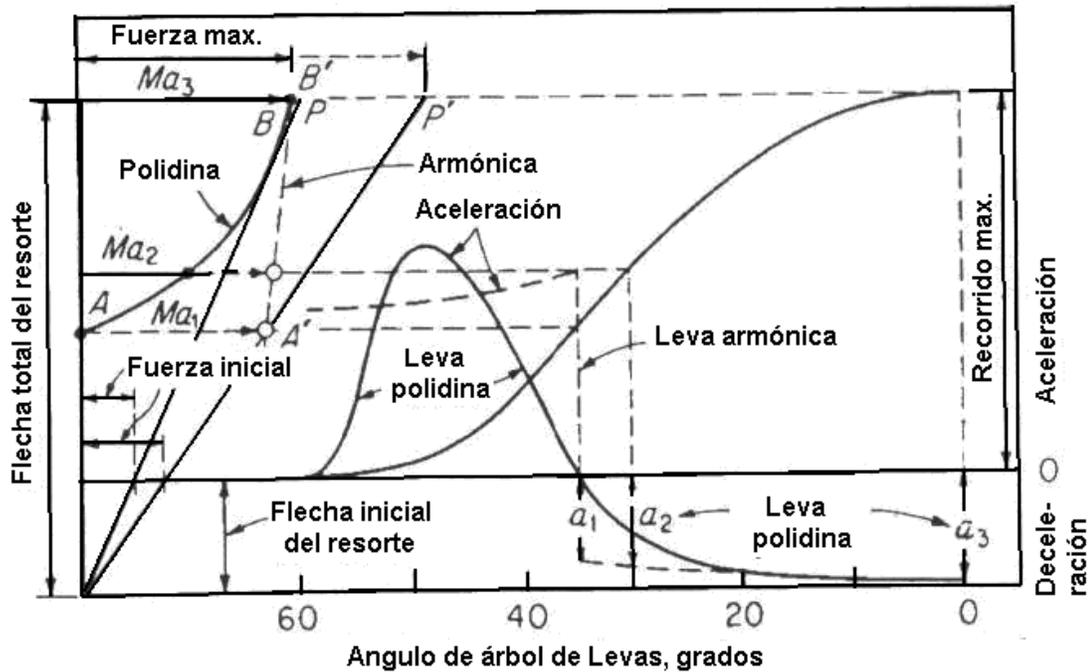


Figura 2.22 Determinación de las fuerzas estáticas del resorte de válvulas requeridas para neutralizar las fuerzas dinámicas del mecanismo de la válvula. La tara del resorte debe aumentarse para neutralizar los efectos del rozamiento.

Uniendo los extremos de estas líneas resulta una curva AB, que indica la variación de la fuerza del resorte con el recorrido de la leva polidina, y A'B' para la leva armónica (figura 2.22), suponiendo que el recorrido de aceleración es cero y los valores máximos del recorrido son los mismos para ambas levas. Las características límites del resorte son OP, que satisface solamente el extremo superior de la curva AB, y OP' que satisface justamente el extremo inferior de la curva A'B'.

Evidentemente, aumenta la tara del resorte en ambos casos (trasladando los puntos P y P' a la derecha suficientemente) se obtendrá un factor conveniente de seguridad para neutralizar los efectos de rozamiento para cada caso. Sin embargo, se hace patente que la forma de la curva AB de la leva polidina (figura 2.22) indica fuerzas del resorte apreciablemente inferior a las de la leva armónica.

Los resortes de válvulas se fabrican normalmente con hilos de acero al carbono enrollados en forma helicoidal cilíndrica, y tiene una relación lineal entre la fuerza y la flecha. La fuerza máxima dividida por la fuerza total del resorte dará la tara del resorte.

2.11 ***VIBRACIÓN DEL RESORTE DE VÁLVULA.***

Aunque normalmente se proporciona una fuerza de resorte suplementaria considerable, es una experiencia común que el empujador de leva se escape de la leva a velocidades del árbol de levas aparentemente críticas. En

estas condiciones las espiras centrales del resorte se pueden ver vibrar hacia atrás y adelante cuando se observa con un strobotac (fotografía 2.1). Las vibraciones neutralizan suficientemente la fuerza del resorte para permitir al empujador abandonar la leva.



Fotografía 2.1 Presentación física de un strobotac

Este hecho está asociado con la frecuencia propia de vibración del resorte.

$$F_{rp} = \sqrt{g_c / fe} / 2\pi \cdot vib / seg \quad (2.19)$$

Donde;

F_{rp} = frecuencia propia

g_c = Constante de vibración del material

fe = flecha estática

vib/seg = vibraciones por segundo

La flecha estática es la relación del peso activo W de resorte a la fuerza necesaria para producir una flecha unitaria. Así pues,

$$\text{Flecha estática} = W/(P/f) \quad (2.20)$$

De donde;

W = Peso activo.

P = Presion Aplicada.

f = Frecuencia.

Con un extremo fijo, el peso activo es aproximadamente la mitad del peso del resorte. Con los dos extremos fijos, que es el caso para la vibración de la espira central, el peso activo es aproximadamente la mitad del peso del resorte. Por otra parte, cuando están fijos los dos extremos, se necesitará cuatro veces tanta fuerza para mover la espiral central a una distancia dada como cuando está fijo un extremo, siendo comprimidas las espiras sobre un lado mientras las otras se expansionan.

Así para la vibración de la espira central, la frecuencia f será:

$$f = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\frac{8g_c P}{Wf}}}{\pi} = \frac{\sqrt{\frac{2g_c P}{Wf}}}{\pi} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2g_c P}{Wf}} \text{ vibraciones/segundo} \quad (2.21)$$

sustituyendo W por su equivalencia,

$$\frac{\pi d^2}{4} \times 2\pi n \times 0.008$$

donde 0.008 es el peso de un centímetro cúbico del metal del resorte, y P/f por su valor deducido de la relación conocida de f para resortes de espira helicoidal y alambre redondo.

$$f = \frac{64Pr^3}{Gd^4} \quad (2.22)$$

la ecuación (2.21) se transforma en

$$f = 9.0 \left[\frac{d}{m^2} \right] \sqrt{G}. \quad (2.23)$$

Donde d , r y n son el diámetro del alambre, radio de la espira y número de espiras, respectivamente. G es $4.2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ para bronce fosforoso y $8.0 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ (ab) para el acero.

La frecuencia propia del resorte ha de ser lo suficientemente alta para que a velocidad máxima del motor no haya posibilidad de resonancia con cualquier armónico de apreciable amplitud, o sea, 1 por 100 del recorrido de la válvula, la frecuencia del resorte deberá ser 11 veces la velocidad máxima del árbol de levas.

Jehle y Spiller han calculado una relación para la amplitud máxima de la vibración del resorte que puede escribirse de la siguiente manera:

$$\text{Amplitud máxima} \propto a_n d^3 / nr$$

Donde a_n es la amplitud del armónico más bajo que puede entrar en resonancia con el resorte. Es evidentemente que el alambre deberá ser lo más

pequeño posible y que el resorte deberá constar de un gran número de espiras de gran diámetro a fin de tener una amplitud mínima de vibración.

En los grandes motores de pistón refrigerados por aire se han empleado dos o tres resortes de válvulas concéntricos. Cada resorte, al tener una frecuencia propia diferente, tiende a eliminar cualquier funcionamiento erróneo de la válvula, si un resorte tiene tendencia a vibrar. Por otra parte, la avería ocasionada por la rotura del resorte se elimina normalmente con válvulas de resortes múltiple. Para eliminar la vibración del resorte se utilizará el amortiguamiento por fricción de las espiras centrales de los resortes de las válvulas.

2.12 ***MEJORA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR.***

2.12.1 ***GENERALIDADES.***

Las características de un motor dependen principalmente de la energía en la mezcla que se suministra y el rendimiento con que convierte esta energía en trabajo. Para aumentar la energía de entrada es necesaria la admisión de más mezcla por ciclo o unidad de tiempo. Un aumento de la velocidad incrementa la entrada de mezcla a menos que dicho aumento de velocidad se introduzca en una disminución mayor del rendimiento volumétrico. Para aumentar la potencia de salida se utiliza la sobrealimentación y el atraque, si es posible. Cualquier variación en el diseño o condiciones de funcionamiento que aumente el flujo volumétrico mejorará las características del motor, con tal de que no suceda el picado de la combustión, sobrecalentamiento o fallo de

MECANISMOS QUE SE UTILIZAN PARA LA APERTURA DE VÁLVULAS EN UN MOTOR DE CICLO OTTO

algunas partes que funcionan correctamente. Un aumento en el rendimiento de la conversión de energía indica un incremento en la relación de compresión, que obliga en el proceso del motor Otto a la utilización de combustibles con calidad de antipicado más elevada (figura 2.23). También pone de manifiesto un incremento en el rendimiento de la combustión y cambio en el diseño de la cámara de combustión.

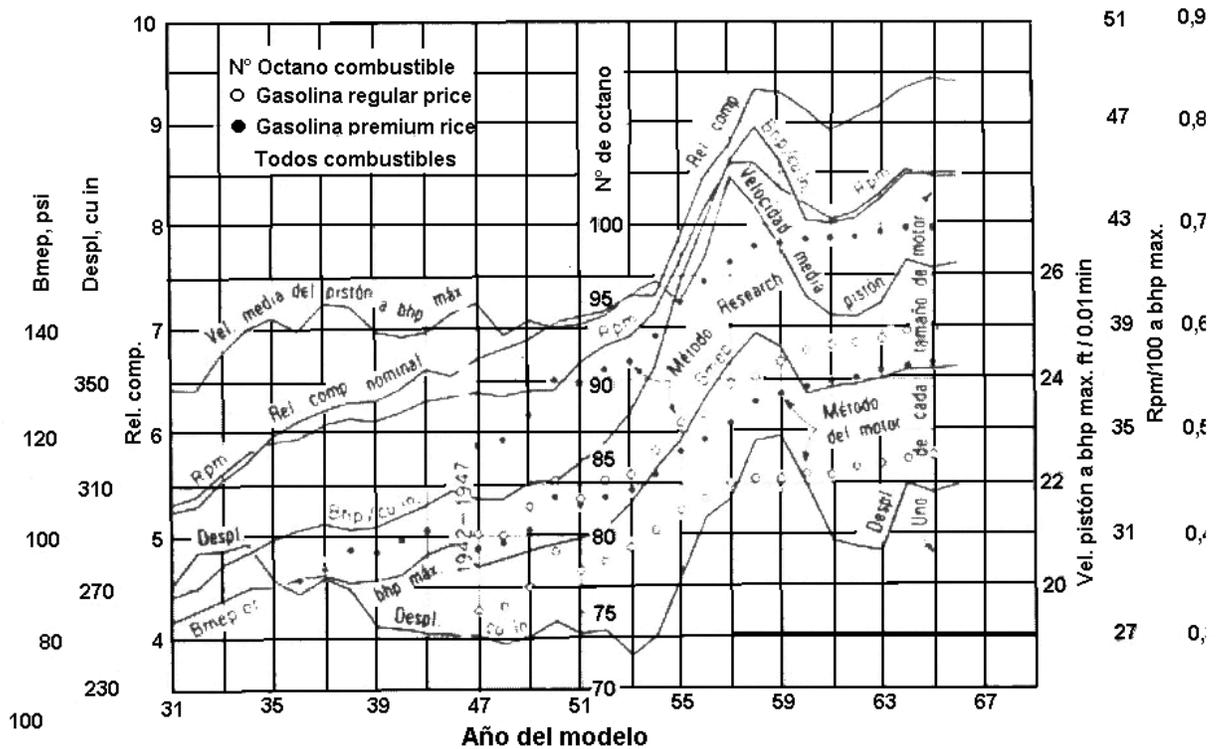


Figura 2.23 Datos de motores de turismo de los Estados Unidos. Un aumento en el rendimiento de la conversión de energía indica un incremento de la relación de compresión, que obliga en el proceso del motor de Otto a la utilización de combustibles con calidad de antipicado mas elevadas.

La reducción de las desviaciones entre el proceso ideal real y la disminución de pérdidas por rozamiento, aumentan el rendimiento y la potencia de salida de un motor. No obstante, un aumento en la relación de compresión puede incrementar las pérdidas por rozamiento más rápidamente que aumentar el rendimiento térmico indicado, lo que da lugar a una relación de compresión óptima, más allá de la cuál se produce una disminución del rendimiento óptimo al freno. El diseño de un motor para relaciones de compresión más elevadas conduce a relaciones de compresión óptimas más altas que al aumentar las citadas relaciones en un motor dado.

2.12.2 VELOCIDAD DEL MOTOR.

La velocidad en los motores de combustión interna viene limitada por los esfuerzos internos, la capacidad de ciertas partes para funcionar adecuadamente y la rápida disminución del rendimiento volumétrico a velocidades elevadas. El criterio para considerar la velocidad elevada de un motor se basa en la velocidad media del pistón más que en las rpm. La experiencia ha mostrado que, tanto para motores de aviación como de automóviles, la velocidad media máxima deseable del pistón está entre 750 y 1050 m/min.

En los motores de pequeña carrera se emplean velocidades de pistón elevadas, mientras que en los motores de carrera larga se emplean velocidades de pistón bajas. El intervalo de rpm del motor, en cualquier clasificación por la velocidad, dependerá de la carrera del motor (tabla 2-1). Así, la potencia de salida por centímetro cúbico de desplazamiento aumenta apreciablemente al

reducir la carrera y aumentar las rpm para alcanzar la misma velocidad del pistón.

Clasificación	Alta Velocidad				Velocidad Media				Baja Velocidad			
Vel. Media del pistón m/seg	900				600				300			
Carrera, cm	5	7.5	10	12.5	17.5	25	32.5	40	50	75	100	125
rpm	9000	6000	4500	3600	1714	1200	923	750	300	200	150	120

Tabla 2-1 Velocidad del motor

La tendencia en los motores de un automóvil en los E.U. ha sido de aumentar la relación de compresión, las rpm y la velocidad del pistón para obtener mejores características (fig. 2.23). El aumento del índice de octano de las gasolinas y la mejora de las cámaras de combustión ha permitido el aumento de la relación de compresión y de las características.

2.12.3 **RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO Y DE CARGA.**

El rendimiento volumétrico de un motor por aspiración normal es la relación del volumen del aire de la mezcla de gases aspirados en un tiempo determinado al volumen total desplazado en la carrera de admisión durante el mismo periodo de tiempo. El volumen determina presión y temperatura atmosféricas del ambiente que rodea el motor.

El rendimiento volumétrico de un motor con sobrealimentación se basa en las condiciones de presión y temperatura del colector de admisión. La

cantidad de carga admitida y la energía de salida son directamente proporcionales a la velocidad del motor, si se mantiene constante el rendimiento volumétrico. Un aumento de la velocidad incrementa la velocidad de la carga, lo que requiere una caída de presión más elevada y reduce la carga admitida. Esto pone de manifiesto una disminución del rendimiento volumétrico al aumentar la velocidad. Sin embargo, el efecto de inercia de la carga entrante produce un efecto de *ataque*, que da lugar normalmente a que el rendimiento volumétrico alcance un valor máximo a cierta velocidad (fig. 2.24) que depende del reglaje de las válvulas.

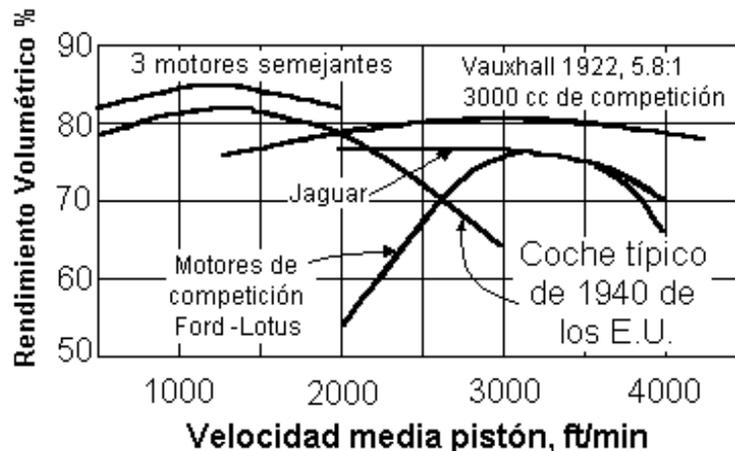


Figura 2.24 Rendimientos volumétricos. Valores relativos basados en bhp/in³, rpm, relaciones de compresión y rendimiento volumétrico supuesto del 57% del Ford Lotus a 3500 rpm.

El producto de la velocidad del motor por el rendimiento volumétrico da una medida de la velocidad a que se admite la carga. Este producto tiene un máximo correspondiente a cierta velocidad, más allá de la cuál disminuye la

potencia indicada y tiende a la potencia total disipada por rozamiento en el motor, mientras la potencia al freno tiende a cero.

Los motores geoméricamente semejantes tienen las mismas relaciones de las áreas correspondientes de pistones, válvulas, lumbreras y colectores. La velocidad del flujo de la mezcla será la misma en estos motores para la misma velocidad del pistón. La caída de presión necesaria para el flujo es directamente proporcional a la longitud del sistema de admisión e inversamente proporcional al diámetro hidráulico o equivalente. El factor de longitud aumenta la caída de presión para motores grandes, pero se compensa por los mayores diámetros equivalentes. Sin embargo, dos pequeños diámetros hidráulicos de los motores de poco tamaño hacen disminuir los números de Reynolds, lo que indica pequeños aumentos en el rozamiento, ya que la velocidad del flujo es la misma y la viscosidad de la mezcla, si varía, lo hace muy poco. Por tanto, los motores geoméricamente semejantes tendrán, aproximadamente, los mismos rendimientos volumétricos y las mismas velocidades del pistón (fig. 2.24).

El rendimiento de carga de un motor se basa en el peso de carga introducido por un ciclo, comparado con el que tendría lugar para el volumen desplazado en condiciones normales de ambiente. Las variaciones en las condiciones barométricas o el empleo de sobrealimentación cambiarán apreciablemente el rendimiento de carga de un motor, pero darán lugar a pequeñas variaciones del rendimiento volumétrico. Así, el rendimiento volumétrico viene a medir la resistencia ofrecida por el motor al flujo de aire o de la carga a entrar en el motor, y el rendimiento de carga mide la influencia de todos los factores que afectan a la masa de la carga de la masa admitida

MECANISMOS QUE SE UTILIZAN PARA LA APERTURA DE VÁLVULAS EN UN MOTOR DE CICLO OTTO

relacionada con la admitida en condiciones normales. El flujo de aire en un motor se mide, por lo general, mediante un orificio de borde redondeado situado en un depósito de aire, que está conectado al sistema de admisión del motor.

Las pulsaciones de presión en el sistema de admisión de un motor monocilíndrico perturban, normalmente, cualquier medida subsónica del flujo de aire que entra en el motor. El empleo de medidas de flujo sónico evita que dichas pulsaciones de presión se propaguen hacia arriba más allá del orificio y afecten al flujo por el orificio. Esto implica una relación de presiones absolutas, a través del orificio, mayor que la relación crítica, que es aproximadamente igual a 1.9 para el aire en condiciones próximas a las normales.

En los orificios sónicos y para controlar el flujo entrante del sistema (figura 2.25), puede utilizarse una válvula de aguja ajustable entre el orificio y el motor. Un rotámetro calibrado da el caudal permanente a través del orificio, que se ajusta para obtener la presión deseada en el depósito.

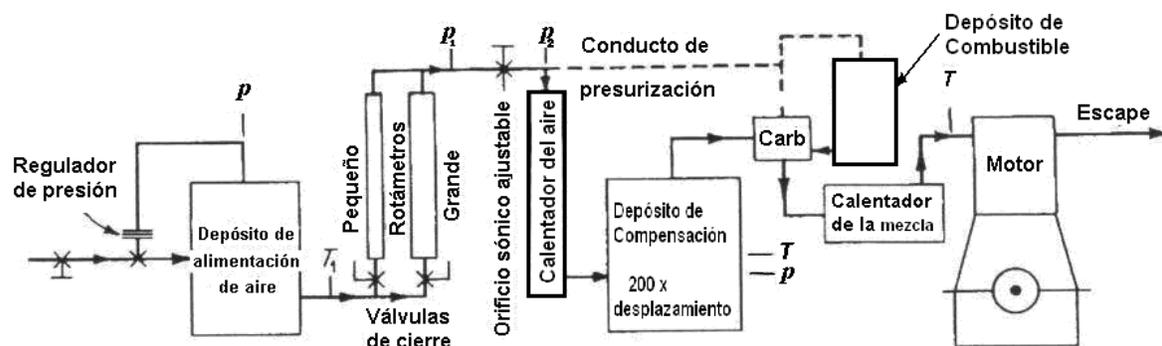


Figura 2.25 Diagrama del sistema para la medida del caudal de flujo de aire en un motor de un cilindro.

2.12.4 *CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES DE COMPETICIÓN CON ASPIRACIÓN NORMAL.*

Los motores de competición Jaguar de seis cilindros y el Ford de ocho cilindros tienen las cámaras de combustión algo análogas, hemisféricas con dos válvulas inclinadas, y en cobertizo con cuatro válvulas inclinadas (figura 2.26) respectivamente. Ambos tienen doble árbol de levas de acción directa en cabeza. Los dos motores tienen los sistemas de admisión y escape diseñados para conseguir los caudales máximos posibles.

MECANISMOS QUE SE UTILIZAN PARA LA APERTURA DE VÁLVULAS EN UN
MOTOR DE CICLO OTTO

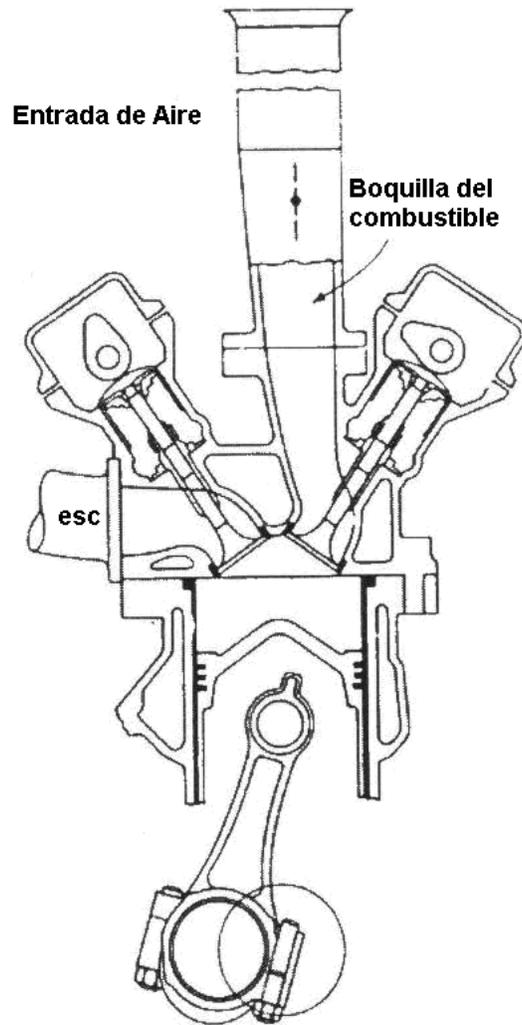


Figura 2.26 Sección del cilindro de un motor Ford de competición V-8 con doble árbol de levas en la cabeza (DOHC).

El Jaguar tiene dos carburadores, colector de admisión dual y colector de escape dual. El Ford tiene ocho colectores individuales de admisión con sistemas individuales de inyección de combustible de flujo permanente, así como pares de conducciones individuales de escape de una longitud suficiente para

unirse en dos conductos de escape divergentes. Los dos motores tienen encendido por bujía, utilizando el Ford un sistema transistorizado. Ambos motores alcanzan la máxima potencia a una velocidad media del pistón aproximada de 1020 m/min (fig. 2.27)

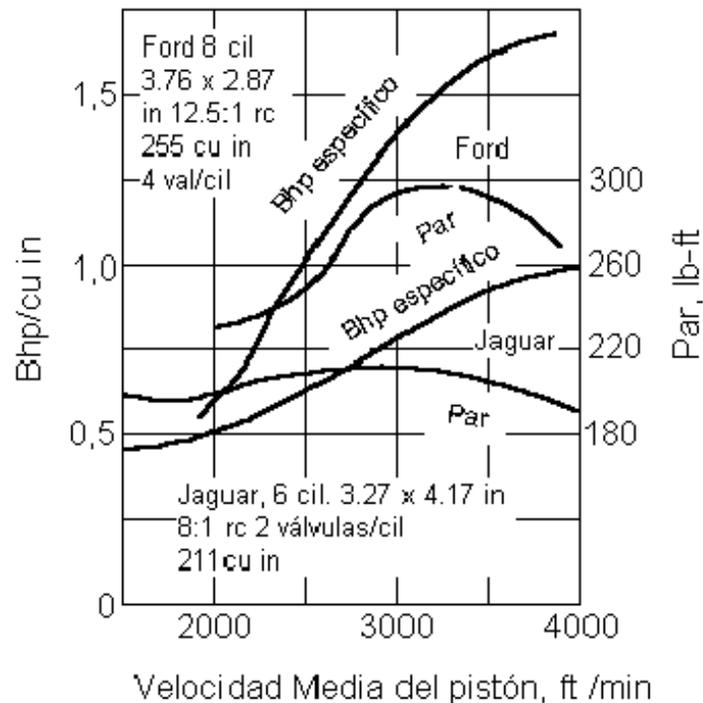


Figura 2.27 Características de los motores de competición Ford 1964 y Jaguar 1953.

2.12.5 SOBREALIMENTACIÓN.

La carga admitida en un motor puede aumentar mediante el empleo de un sobrealimentador que comprime y fuerza el aire o la mezcla en el motor, a una compresión superior a la atmosférica.

La potencia de salida viene limitada por las características de picado de combustible (figura 2.28), suponiendo que los mecanismos de motor pueden resistir los esfuerzos a los que están sometidos. La sobrealimentación puede utilizarse para alimentar la carga a todas las velocidades, pero es particularmente conveniente a velocidades elevadas, ya que los motores con aspiración normal tienen, por lo regular, rendimientos volumétricos bajos en estas condiciones. La sobrealimentación es muy conveniente en los motores de aviación funcionando a elevadas altitudes, en las que el pequeño peso específico del aire reduce la masa de la carga admitida. La sobrealimentación incrementa ligeramente el rendimiento volumétrico del motor ya que los gases del espacio muerto son comprimidos por la carga introducida hasta una presión más elevada que la de escape, y esta característica se basa en las condiciones del colector entre sobrealimentador y el motor. Sin embargo, el rendimiento de carga aumenta muy apreciablemente.

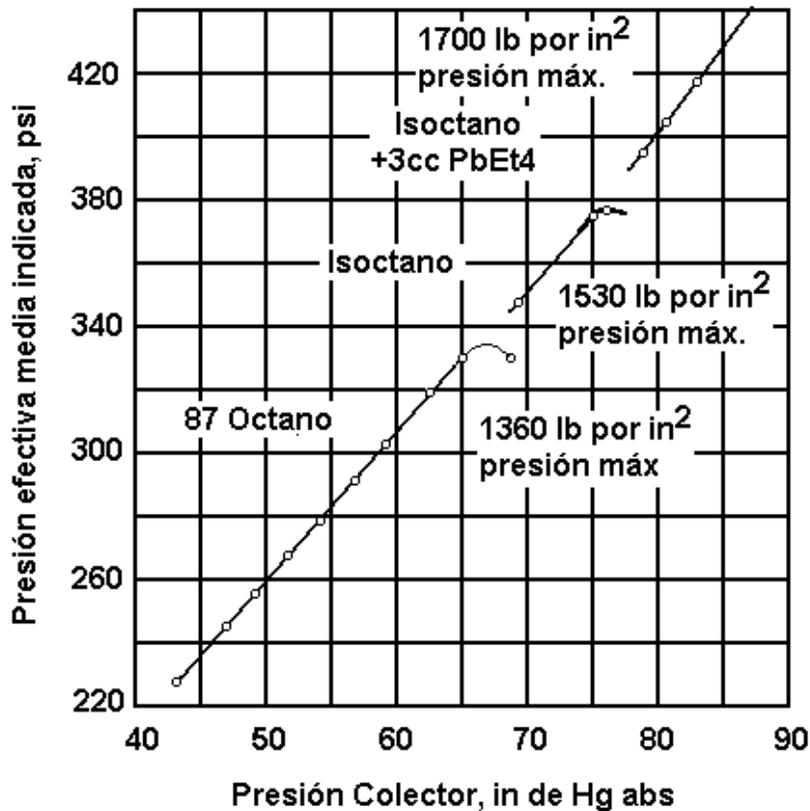


Figura 2.28 Potencia de salida con sobrealimentación a velocidad constante. Relación de compresión 6:1; mezcla óptima; temperatura del colector de 93 a 99 °C.

El análisis del proceso de un motor con sobrealimentador pone de manifiesto que la sobrealimentación ideal aumenta la potencia de salida, pero disminuye ligeramente el rendimiento térmico, aunque las pérdidas por rozamiento en el motor aumentan con la sobrealimentación, la potencia efectiva media indicada (pemi) crece más rápidamente, y el rendimiento mecánico del motor aumenta por lo general con la sobrealimentación. Así, el rendimiento térmico al freno puede aumentar con sobrealimentación si las pérdidas en el

sobrealimentador y en el motor no aumentan demasiado rápidamente al aumentar la sobrealimentación.

La sobrealimentación admisible depende de la relación de compresión, de las características de picado de la mezcla de aire-combustible y de la capacidad inherente del motor para soportar esfuerzos térmicos e incrementos de carga. Un motor que funciona con una relación de compresión que produce picado incipiente, no admite la sobrealimentación a menos que se utilice un combustible con mejores características de antipicado, se estrangule el motor (figura 2.29) o se baje la relación de compresión. La reducción de la relación de compresión reduce el rendimiento térmico, pero la sobrealimentación necesaria para obtener la misma presión de compresión aumenta la potencia de salida en una cuantía mayor que el efecto contrario producido por la pérdida de rendimiento térmico.

MECANISMOS QUE SE UTILIZAN PARA LA APERTURA DE VÁLVULAS EN UN MOTOR DE CICLO OTTO

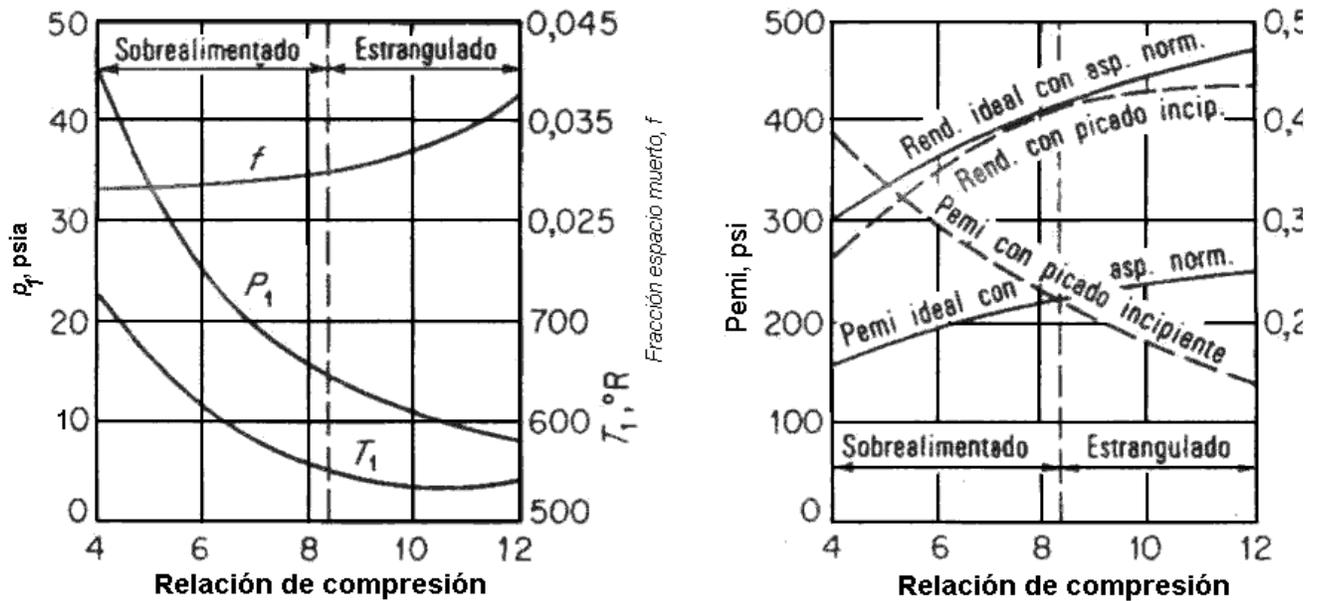


Fig. 2.29 Resultado del análisis del proceso de motor Otto con picado incipiente. Cilindro Wright G-200; relación combustible-aire de 0.06; Velocidad del motor 1700 rpm; avance al encendido, 25° BTC; combustible de 100 NO (Army); presión de escape 1,033 kg/cm²; aire y combustible líquido suministrados a 15.6°C. Los resultados indican una relación de compresión 8.3:1 para el caso de aspiración normal. Cuando el motor funciona en condiciones de picado incipiente, pueden obtenerse grandes aumentos de la potencia de salida con relaciones de compresión más bajas, y disminuciones apreciables de dicha potencia en relaciones de compresión más altas. El rendimiento térmico indicado ideal con picado incipiente es menor que en el caso de aspiración normal, debido al trabajo de sobrealimentación para relaciones de compresión bajas y a las pérdidas en el estrangulamiento para relaciones de compresión elevadas.

CAPITULO III

ANÁLISIS DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE CONTROL PARA APLICAR A LA ACTUACIÓN DE ELECTROIMANES.



3.1 GENERALIDADES DE ELECTROMAGNETISMO

3.1.1 Ley de Faraday de la inducción electromagnética

Antes del descubrimiento de Faraday fue generada una tensión en un circuito por medio de un dispositivo de naturaleza química análogo a una pila seca o una batería de acumuladores. La contribución singular del descubrimiento de Faraday en 1831 fue la generación de una tensión debida al movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor de electricidad. Faraday denominó a esta tensión, “*tensión inducida*” debido a que sólo se produce cuando existe un movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético sin contacto “físico” real entre ellos. El principio de inducción electromagnética quizá se comprende mejor en el diagrama que aparece en la figura 3.1.

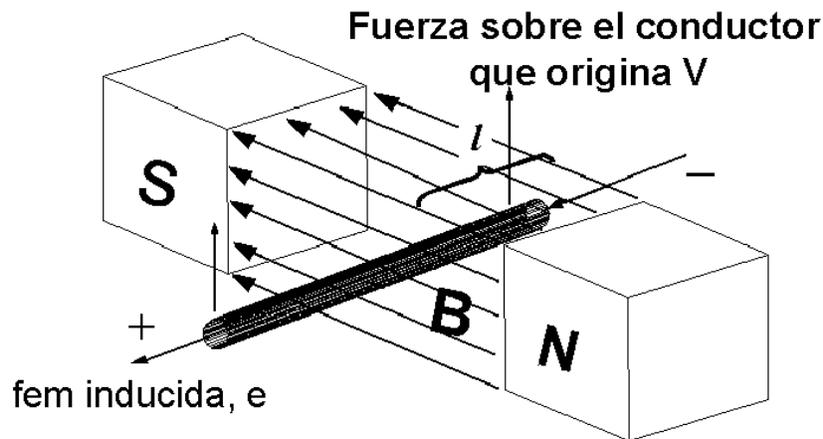


Figura 3.1 Conductor de longitud l que se mueve a través de un campo magnético B generando una FEM.

El enunciado de la Ley general de Faraday¹ puede expresarse como sigue: El valor de la tensión inducida en una sola espira de hilo es proporcional a la velocidad de variación de las líneas de fuerza que se atraviesan (o concatenan con ella).

Newmann, en 1845, expresó cuantitativamente lo anterior en una ecuación en la que la magnitud de la fuerza electromotriz inducida generada (E_{med}) era directamente proporcional a la velocidad de variación del flujo concatenado:

$$E_{med} = \frac{\phi}{t}(a)(b)volts = \frac{\phi}{t} \times 10^{-8}V \quad (3.1)$$

en la que:

E_{med} es la tensión media generada en una sola espira (voltios/espira)..

ϕ es el número de maxwells o líneas de fuerza magnética concatenadas con la espira durante t .

t es el tiempo en segundos en que son “concatenadas” cero líneas.

10^{-8} es el número en líneas que una sola espira debe concatenar cada segundo a fin de inducir una tensión de 1 voltio

De la definición y ecuación 3.1, es evidente que la tensión inducida generada puede incrementarse aumentando la intensidad del campo magnético,

¹ Faraday, Michael. 1831.

(es decir, el número de líneas de flujo en movimiento relativo respecto al conductor) o reduciendo el tiempo durante el que se produce la variación en la concatenación de flujo (es decir, aumentando la velocidad o el movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético).

3.1.2 Factores que afectan la fuerza de la fem inducida

La expresión cuantitativa de Newmann de la Ley de Faraday, como se establece en la ecuación (3.1), es cierta únicamente cuando el circuito magnético es físicamente idéntico tanto al final como al principio y durante el período de la variación de la concatenación de flujo. En las máquinas eléctricas rotatorias, sin embargo, la variación de concatenación de flujo no queda claramente definida o no es fácilmente medible en cada espira individual a causa de la rotación (tanto del inducido como de la excitación). Por consiguiente, es más conveniente expresar esta velocidad de variación en relación con la densidad de flujo media (supuesta constante) y la velocidad relativa entre este campo y un conductor único que se desplaza a través de él. En la figura 3.1 para el conductor de longitud activa l , la fem inducida instantánea puede expresarse como:

$$e = Blv10^{-8} \quad V \quad (3.2)$$

En la que B es la densidad de flujo magnético en gauss (líneas/cm²) o en líneas/plg², l es la longitud de la parte activa del conductor que concatena el flujo

en cm o en pulgadas, v es la velocidad relativa entre el conductor y el campo en cm/s o pulg/s. En unidades inglesas, la ecuación (3.2) puede expresarse:

$$e = \left(\frac{1}{5}\right)BIv10^{-8}[\text{volts}] \quad (3.3)$$

En la que B es la densidad de flujo en líneas/pulg², l es la longitud en pulgadas de la parte activa del conductor que concatena el flujo, v es la velocidad en pies/min, 10^{-8} es el número de líneas que un sólo conductor debe concatenar cada segundo a fin de inducir una tensión de 1 voltio.

Si tanto la densidad de flujo B , como la velocidad relativa ya sea del conductor o del campo sean uniformes y constantes, entonces los valores instantáneos y medios de la fem inducida son iguales. Pueden utilizarse tanto la ecuación (3.1) como la (3.3) con los mismos resultados.

Las ecuaciones precedentes están sujetas a varios ajustes que no pueden apreciarse. En la figura 3.1 se supone que:

El campo B es de densidad de flujo uniforme.

La fuerza aplicada para mover el campo o el conductor, o ambos, debe producir un movimiento relativo uniforme entre ellos.

El conductor, el campo y la dirección en la que se mueve el conductor con respecto al campo, son perpendiculares entre sí (ortogonales).

En la mayoría de casos, las dinamos comerciales se proyectan de tal forma que las primeras tres suposiciones pueden considerarse que se cumplen a todos los efectos prácticos. Incluso cuando tiene lugar un cambio en la condición de carga; una vez que se ha producido la variación, puede suponerse que las nuevas densidades de flujo de velocidad permanecerán constantes mientras la determinada condición de carga persista. La tercera suposición se discute brevemente más adelante. Antes de ella, no obstante, sería aconsejable llamar la atención acerca de ciertas consecuencias de la ecuación (3.3). Si, por ejemplo, cualquier término de esta ecuación se anula, como la densidad de flujo B , o la velocidad v entonces la tensión inducida en un conductor dado l es nula. A fin de inducir una fem en un conductor dado es, por consiguiente, necesario que exista una variación continua de las concatenaciones de flujo, es decir, se precisa cierto movimiento de manera que “nuevas” líneas de fuerza concatenen el conductor o viceversa. Para una longitud activa determinada del conductor, el producto Bv en la ecuación (3.3) representa la velocidad de variación de la concatenación de flujo de la que depende el valor de la fem inducida en un conductor dado de longitud l . Aumentando ya sea la densidad de flujo o la velocidad relativa (o ambas) aumentará la velocidad de variación de las concatenaciones de flujo y la fem inducida en un conductor dado, a su vez. También es por demás evidente que aumentando la longitud global del conductor no aumentará la fem, ya que la longitud activa del conductor no varía. La longitud activa l del conductor puede afectarse:

1. Utilizando polos de excitación mayores o en mayor número, ó
2. Girando el conductor sobre sí, de manera que aparecen conectadas en serie varias partes activas que se someten al campo magnético de tal forma que todas se mueven en la misma dirección.

En los dinamos comerciales se emplean ambos métodos.

Se ha establecido que la ecuación (3.3) que representa la fem inducida en un solo conductor indicado en la figura 3.1 es un caso especial o ideal de fem inducida (recuérdese la tercera suposición). La ecuación (3.3) no toma en cuenta el hecho de que el conductor puede no ser perpendicular al mismo. Ambas posibilidades se presentan en el funcionamiento de la dínamo comercial, por lo que se debe considerar su efecto sobre la magnitud de la fem inducida.

El caso especial de un conductor que se mueve perpendicularmente a un campo magnético se indica en la figura 3.1, representándose también esta perpendicularidad en la figura 3.2a. Se expresa mediante las ecuaciones (3.1) y (3.3). Considérese sin embargo, el conductor indicado en la figura 3.2b que se mueve a la misma velocidad en un campo de igual intensidad en dirección paralela al campo magnético. La tensión inducida en este conductor es cero debido a que la velocidad de variación de la concentración de flujo es cero, es decir, el conductor no concatena nuevas líneas de fuerza cuando se mueve paralelamente al campo magnético. Puesto que el producto Bv de la ecuación (3.3) representa la velocidad de variación de la concatenación de flujo, es evidente que esta expresión debe ser igual a cero, pero la densidad de flujo y la velocidad respectivamente son las mismas en ambas figuras 3.2a y b, por lo que, en el primer caso, la tensión es máxima y en el segundo, la tensión es cero. Puesto que la longitud activa del conductor se supone invariable, es evidente que el producto Bv debe multiplicarse por algún factor que tenga en cuenta la diferencia en la velocidad de variación de la concatenación de flujo producida por un cambio de dirección del conductor. Se podría deducir casi intuitivamente que

este factor es una función senoidal ya que es cero a 0° y máximo a 90° para la fem de un conductor cualquiera moviéndose en cualquier dirección con respecto al campo magnético (de referencia) como puede verse en la figura 3.2c.

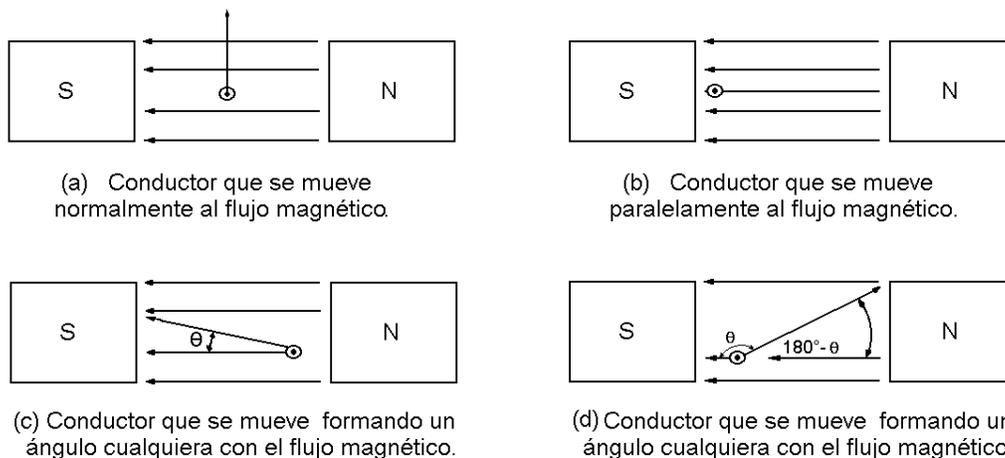


Figura 3.2 Efecto de la variación de la concatenación de flujo sobre la fem inducida en un conductor

En la que todas las cantidades son las mismas que las de la ecuación (3.3) y en la que θ es el ángulo formado entre B y v , tomando B como referencia.

3.1.3 Sentido de la relación inducida (Regla de Fleming).

Debe notarse que cuando un conductor se desplaza hacia arriba, como se indica en la figura 3.2c, desde la parte inferior derecha hacia la superior izquierda, de modo que θ sea menor de 90° , la tensión inducida e tendrá el mismo sentido (y polaridad) que el indicado en la figura 3.2d en la que θ es mayor de 90° . Puesto que $\text{sen}\theta$ es positivo para ángulos comprendidos entre 0 y

180°, la e de la ecuación (3.4) es positiva para todas las direcciones que formen con B ángulos entre 0° y 180°, es decir, para, en general, todo movimiento del conductor hacia arriba. Análogamente, si la fuerza aplicada al conductor tiende a moverlo hacia abajo, como se indica en la figura 3.2b, el sentido de la tensión inducida será opuesto al indicado en la figura 3.1.

$$E = 1/5[Blv.\text{sen}(B,V)]10^{-8} \quad \text{ó} \quad 1/5[Blv\text{sen}(\theta)]10^{-8}V$$

(3.4)

Cuando θ es negativo para ángulos entre 180 y 360°, θ de la ecuación (3.4) es negativo para todas las direcciones, en general, hacia abajo. Si el campo magnético se invirtiese, sin embargo, las polaridades se invertirían. Por lo tanto, la referencia básica para la polaridad y para el ángulo θ en la ecuación (3.4) es la dirección del campo magnético. La relación entre los sentidos de la fem inducida, el campo magnético y el movimiento del conductor, se representa mediante la regla nemotécnica de Fleming. Cuando se trata de corriente convencional (de sentido contrario al flujo de electrones), para determinar el sentido de la fem generada, puede denominarse regla de Fleming de la “mano derecha”, indicada en la figura 3.3a.

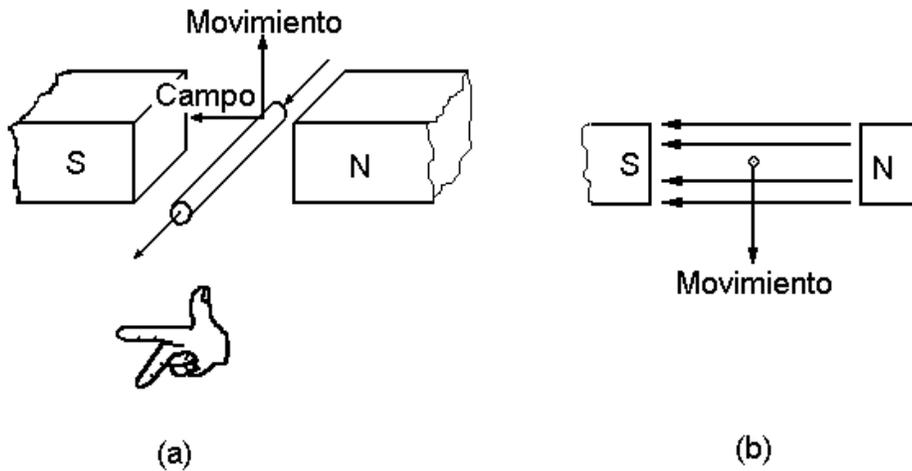


Figura 3.3 regla de Fleming de la mano derecha para determinar el sentido de la fem inducida (corriente convencional).

La regla de Fleming de la mano derecha presupone que el campo es fijo y que el conductor se mueve con respecto al campo fijo (de referencia). Puesto que la tensión inducida depende del movimiento relativo entre el conductor y el campo, puede aplicarse en el caso de un conductor fijo y un campo móvil, pero solo suponiendo que el conductor se mueve en sentido opuesto. Puesto que el pulgar de la figura 3.3a indica la dirección del movimiento relativo hacia arriba sólo del conductor, el sentido de la fem inducida en la figura 3.3b representaría el movimiento hacia abajo del campo respecto al conductor inmóvil. Utilizando el pulgar para representar el movimiento del conductor, el dedo índice para representar el campo magnético y el dedo medio para representar la fem inducida, se puede verificar el sentido de la fem inducida de la figura 3.3b que es opuesto al de la figura 3.3a a causa de que se ha invertido su sentido.

3.1.4 Ley de Lenz

Resumiendo, debe notarse que la ley de Faraday de la inducción electromagnética es uno de los efectos electromecánicos que relacionan la fuerza mecánica aplicada a un cuerpo con un campo electromagnético. En tanto que en los párrafos anteriores se destacan el movimiento y su dirección, debe remarcarse que el movimiento de un conductor en un campo magnético es el resultado de una fuerza mecánica (trabajo) aplicada a un conductor. La energía eléctrica producida por inducción electromagnética exige, por consiguiente, un consumo de energía mecánica de acuerdo con el principio de conservación de la energía. La energía para la inducción electromagnética no la suministra el campo magnético, como podría suponerse, ya que el campo ni varía ni es destruido en el proceso. Los sentidos de la tensión inducida y la corriente que circula por el conductor, representados en las figuras 3.1 y 3.2 establecen una relación definida con el cambio en la concatenación de flujo que las induce. Esta relación recibe el nombre de ley de Lenz: En 1835, Heinrich Lenz estableció que “el efecto electrodinámico de una corriente inducida se opone igualmente a la acción mecánica que la induce”. Debe notarse que la ley de Lenz es en realidad, una extensión del principio de Le Chatelier. Este principio establece que existen en equilibrio tal, las fuerzas naturales que se oponen a cualquier variación en el equilibrio. La tercera ley del movimiento de Newton también deriva de este principio: a cada acción se le opone una reacción igual. Además, en la ley de Lenz está implicado el principio de conservación de la energía ya que requiere energía mecánica para producir energía eléctrica mediante el efecto electromagnético. Por lo tanto, sólo se consume energía cuando una fuerza vence una resistencia.

En todos los casos de inducción electromagnética, la tensión inducida tenderá a hacer circular en un circuito cerrado una corriente en un sentido tal que su efecto magnético se oponga a la variación que la ha generado.

La anterior exposición de la ley de Lenz implica tanto (1) causa como (2) un efecto que se opone a la causa. La causa implicada no es necesariamente el movimiento del conductor que resulta de una fuerza mecánica, sino más bien una variación en la concatenación de flujo. El efecto implicado es una corriente (debida a una tensión inducida) cuyo campo se opone a la causa. Por lo tanto, en todos los casos de inducción electromagnética, siempre que tiene un lugar en la variación en la concatenación de flujo, es inducida una tensión que tiende a establecer una corriente en un sentido tal que produzca un campo que se oponga a la variación del flujo que concatenan las espiras del circuito. Considerado este punto de vista, surge un concepto de la ley de Lenz que satisface todos los casos de la fem inducida, incluso la acción de los transformadores y los motores de inducción así como la fem inducida en los motores de corriente continua y generadores.

También puede verse que la propiedad de la inductancia es un efecto y resultado de la ley de Lenz (que implica que la tensión generada en un conductor por la variación en la concatenación de flujo establecerá una corriente cuyo campo magnético tienda a oponerse a la variación del flujo que concatena el conductor). De hecho, cuando un circuito o componente posee la propiedad de oponerse a cualquier variación de la corriente que por él circula, esta propiedad recibe el nombre de inductancia, y la fem inducida se denomina fem de autoinducción.

Considérese el conductor indicado en la figura 3.4a como un generador elemental que está accionado por alguna máquina motriz primaria hacia arriba, como se indica. Si a este generador elemental se conecta alguna carga eléctrica, tenderá a circular corriente en el conductor, en el mismo sentido que la fem originando un campo magnético alrededor del conductor, como se indica en la figura 3.4b. El campo magnético en sentido contrario al de las agujas del reloj que rodea al conductor, repele al campo magnético situado por encima de él y atrae al campo magnético situado por debajo de él (es decir, la corriente inducida produce un campo que se opone al movimiento que la origina).

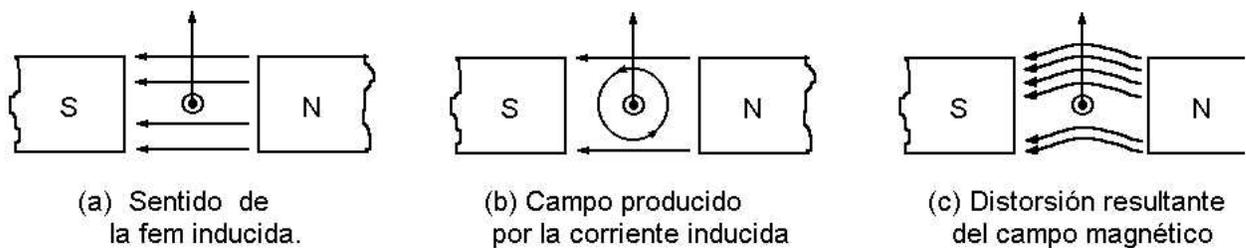


Figura 3.4 Ilustración de la ley de Lenz.

La tendencia del campo magnético es, por consiguiente, de tal naturaleza, según la ley de Lenz, que se opone al movimiento hacia arriba del conductor. En el caso de un generador elemental, sólo se consume energía eléctrica cuando una carga completa el circuito de manera que circula una corriente que se debe a la fem inducida. Pero el campo producido por esta corriente de carga actúa de tal forma que reacciona con el campo magnético del generador y se opone, por tanto, a la fuerza motriz que acciona el generador.

Cuanto mayor es la energía eléctrica extraída del generador mayor es la oposición producida por la interacción de los campos y mayor es la energía mecánica requerida para accionar el generador. Inversamente, si no se extrae corriente de carga del generador elemental, no se crea ningún campo alrededor del conductor ya que no existe corriente inducida y teóricamente no se solicita energía de la máquina motriz primaria. De acuerdo con el principio de conservación de la energía sólo se desarrolla trabajo para vencer una resistencia.

3.1.5 Propiedades magnéticas de los materiales.

Ahora está la posibilidad de poder explicar los imanes en términos de las corrientes que en ellos circulan.

Un comienzo prometedor fue hecho por Ampère desde los primeros años del siglo XIX, el cuál observando que un solenoide se comporta como un imán, propuso una teoría del magnetismo, según la cuál, todos los imanes se comportan simplemente como sistemas por los que circula una corriente. En particular, él consideraba que cada partícula de un imán tenía en torno a ellas una “corriente ecuatorial” que producía el efecto de polos magnéticos. Así, en cierto sentido, Ampère se anticipó (aunque en otro sentido se retrasó) a la teoría atómica del magnetismo propuesta por Weber y elaborada por Ewing y que se considerará mas tarde.

Él atribuía el magnetismo terrestre simplemente a corrientes que fluían en torno a la Tierra. En 1823 publicó un artículo en el que daba teoría

matemática del fenómeno magnético y que fue descrita posteriormente como “perfecta en forma, aunque carente de precisión”. Desgraciadamente, las ideas de Ampère, que eran muy avanzadas para su época, no tuvieron una aceptación general. La costumbre existente de interpretar los fenómenos magnéticos en términos de “polos”, estaba tan firmemente establecida que no podía ser rota con facilidad. Tal vez resultara natural atribuir a los polos magnéticos un significado básico que, de hecho, no poseen, en vista de la estrecha correspondencia encontrada entre las interacciones aparentes de estos polos y las interacciones entre las cargas positivas y negativas en la electrostática.

En la actualidad y en sentido retrospectivo, se considera que el concepto de polo magnético como algo fundamental es la expresión de una gran falla; una falla en interpretar los problemas presentados por leyes electromagnéticas conocidas a través de sus conclusiones lógicas. Este concepto y la confusión de pensamiento que ha nacido de él, que tiende a perpetuarse, ha oscurecido aspectos importantes de la teoría electromagnética por más de un siglo.

Antes de intentar explicar el comportamiento magnético del hierro y de otros materiales en términos de las interacciones entre corrientes, se revisará primero los hechos principales que necesitan explicación. Como se verá, la teoría de estos fenómenos en términos de las corrientes surgirá entonces de manera natural.

3.1.6 Magnetización y desmagnetización.

Tanto la inducción como el proceso de magnetización de una barra de acero mediante un alambre enrollado a ella, son ejemplos en los cuáles el hierro o el acero se convierten en imanes mediante la aplicación de un campo magnético debido a un agente externo. Ahora se investigará más a fondo la relación que existe entre la “intensidad” del imán producida de esta manera y la intensidad del campo al que se atribuye esta magnetización. Obviamente, para este propósito sería deseable presentar la disposición experimental de tal forma que (1) cada parte del espécimen investigado se encuentre, hasta donde sea posible, sujeta al mismo campo y que quede así en la misma condición y (2) se pueda asignar un valor al campo aplicado que no se vea afectado por una respuesta en el espécimen. Esto también sería necesario para establecer un criterio satisfactorio del estado de magnetización buscado del material del espécimen. Estos requisitos pueden cumplirse enrollando uniformemente un alambre aislado en torno a un anillo toroidal construido del material cuyas propiedades magnéticas se van a investigar.

En el espacio vacío en la parte interior de un embobinado toroidal (figura 3.6) si transporta una corriente I , el campo B a una distancia r del eje de este toroide es $\mu_0 nI$, donde n es el número de vueltas por unidad de longitud contadas en torno a un círculo de radio r centrado en el eje. También notamos que si el radio de una vuelta es pequeño comparado con cualquiera de los radios interno o externo del toroide, la variación de n con r no es importante, de tal forma que el campo en la región interna del toroide puede considerarse como prácticamente uniforme a todo lo largo de su sección transversal, en tanto que en la parte externa del embobinado el campo es cero.

Si el embobinado toroidal no está vacío sino que se le ha llenado con hierro por ejemplo, entonces el campo producido por una corriente dada transportada por el embobinado de cierto número de vueltas por unidad de longitud, debe diferir radicalmente del valor $\mu_0 nl$. Así nos encontramos con la situación de que según sea el material con el cuál se llena el espacio del embobinado, se producen diferentes efectos con la misma causa. Podemos considerar que esta “causa” es el producto nl que es la corriente efectiva circulante por la unidad de longitud del embobinado l . Es conveniente denotar a esta cantidad con un nombre y un símbolo. El símbolo utilizado es H ; esto es por mera definición

$$\mathbf{H} = nl \quad (3.5)$$

El nombre dado a esta cantidad es el de fuerza magnetizadora. Naturalmente no es en realidad una fuerza en el sentido mecánico como tampoco lo es la fuerza electromotriz. Sin embargo, una vez que esto se ha explicado claramente, se puede considerar que el nombre es adecuado, pues conduce a la idea que se quiere expresar. La unidad de H en el sistema MKSA es diferente a la unidad de B . Como H es la corriente efectiva circulante torno a cada unidad de longitud del embobinado, su unidad es el ampere por metro. En el antiguo sistema “electromagnético absoluto” la unidad utilizada para H era el oersted y las fuerzas magnetizadoras todavía se expresan en oersterds en una gran cantidad de obras actuales. Por consiguiente, puede notarse para propósitos de transformación al sistema MKSA, que un oersted es igual a $1000/4\pi$ [A/m]. No debe suponerse que debido al hecho de que B y H se midan

en unidades diferentes, son cantidades esencialmente diferentes, excepto en el sentido estricto formal de sus dimensiones. Aunque esto no se ha hecho, H podría haberse definido de igual forma como $\mu_0 nI$ y en ese caso, B y H no habrían tenido dimensiones diferentes. Al omitir μ_0 de la definición de H , las dimensiones de B y H deben ser diferentes, por la sencilla razón de que μ_0 no es un número adimensional.

Sin embargo, siempre se considera a H de la misma forma que a B , como un campo, medido por la corriente nI , de un embobinado toroidal (o de un solenoide largo) mediante el cuál ha sido producido. Consecuentemente de la misma manera que a B , se referirá a H en las páginas sucesivas como a un campo. Aunque por conveniencia se ha imaginado a este campo que se puede considerar como la causa de lo que ocurre a una muestra experimental de material, como el producido al pasar una corriente a través de un embobinado toroidal, en principio se podrían haber utilizado otros procedimientos. Así, en vez de utilizar esta corriente, podríamos haber utilizado un imán, o un sistema de imanes para producir H . Obviamente, no se puede medir a B dentro de un anillo de hierro o de cualquier otro material sólido por los métodos aquí considerados, porque no se puede realizar experimentos dentro del cuerpo del hierro. Sin embargo, existe una manera de evitar esta dificultad basándose en el fenómeno de inducción electromagnética, será necesario aceptar como un hecho que la magnitud y la dirección de B dentro del hierro puedan determinarse.

3.1.7 Histéresis y saturación.

Con una disposición semejante en la cuál el núcleo es de hierro, se hará que la corriente del embobinado circule por pasos a través de valores suficientemente altos en las dos direcciones y se determinará el valor de B en cada uno de los cambios de la corriente. Las variaciones de B con H encontradas mediante este procedimiento tendrán un carácter semejante al representado gráficamente en la figura 3.5. A una curva como ésta se le conoce como curva de histéresis. Aunque todos los hierros y los aceros exhiben histéresis las áreas encerradas por las curvas varían ampliamente de un espécimen al otro. Puede demostrarse que el área encerrada por una curva de histéresis es una medida de la energía disipada en forma de calor al llevar el espécimen a través de un ciclo.

Otra propiedad importante de la relación entre B y H es el fenómeno de saturación, que consiste en una disminución de la pendiente de la curva de la relación entre B y H , hasta volverse prácticamente horizontal para valores altos positivos o negativos de H .

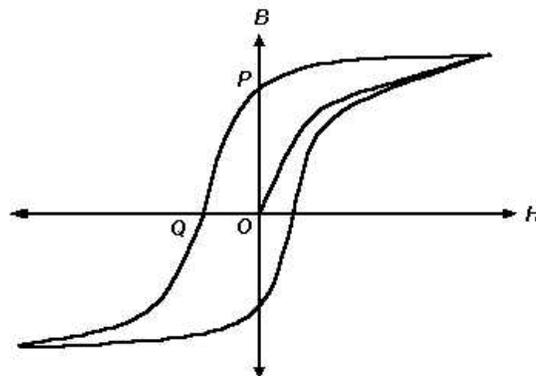


Figura 3.5 Curva de histéresis magnética.

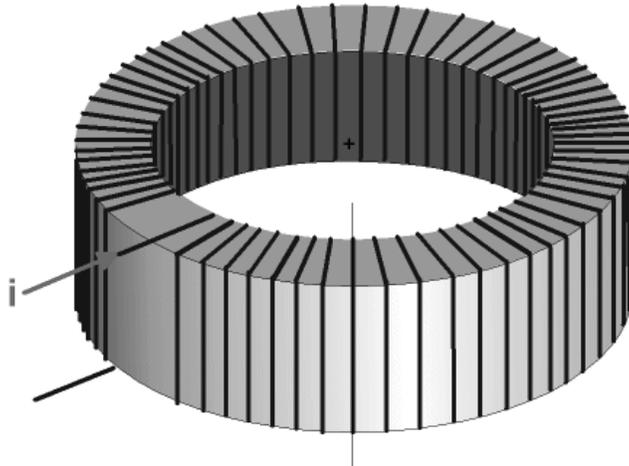


Figura 3.6 Toroide embobinado.

Como B es la suma de dos contribuciones, esto es, de $\mu_0 H$ debido a la corriente en el embobinado y de $B - \mu_0 H$ debido al estado magnético del espécimen y como en realidad sólo no interesa éste último, resulta interesante restar $\mu_0 H$, esto es, $\mu_0 n l$ de todas las ordenadas. Si esto se hace, se encuentra que las líneas que unen a estos puntos son realmente horizontales para altos valores de H . Esto significa que la contribución del espécimen no puede exceder este valor máximo. Al restar $\mu_0 H$ de B para obtener la contribución debida solamente al espécimen, se ha hecho la suposición tácita de que $\mu_0 H$ representa la contribución hecha por la corriente en el embobinado, independientemente de la presencia del hierro, esto es que esta contribución es la misma que si el medio fuera el vacío. El hecho de que la pendiente del gráfico de $B - \mu_0 H$ contra H se vuelva cero para altos valores de H , sugiere que esta suposición está justificada. En apoyo a esta suposición existe el hecho de que todos los átomos y por lo tanto, todos los materiales constan casi por completo de espacio vacío. De la misma manera que debido a este hecho, en la electrostática solo existe una

permisividad (la permisividad ϵ_0 del espacio libre o vacío) también en este caso existe una sola permeabilidad μ_0 que corresponde nuevamente a la del vacío.

El concepto de medios con permisividad y permeabilidad ϵ y μ diferentes del vacío es una mera ficción que solamente tiene como propósito un tratamiento matemático conveniente.

Se acaba de referir a $B - \mu_0 H$ como la “contribución” del espécimen al campo B . Se considerará ahora el significado de esta contribución en términos de la condición magnética del propio material. Una bobina plana de N vueltas cuya área sea A y que transporta una corriente I tienen un momento magnético $\mu_0 H N I A$, y que este momento no cambia si la bobina se extiende axialmente hasta formar un solenoide. Imaginemos que el embobinado toroidal considerado antes se obtiene a partir de una bobina plana de N vueltas, alargándola primero hasta formar un solenoide de longitud l y después enrollándola en forma de un toroide. En el estado anterior a la conversión en un toroide cuando el embobinado es un solenoide alargado, su momento magnético es $\mu_0 H N I A$ y debido a que su volumen es $l A$ su momento magnético por unidad de volumen es $\mu_0 N I$ ó $\mu_0 H$, donde N es el número de vueltas por unidad de longitud. Obviamente el momento magnético por unidad de volumen no puede afectarse por la operación final de enrollamiento del solenoide largo en un toroide, el momento por unidad de volumen seguirá siendo $\mu_0 H$.

Los términos B y μ de la expresión considerada son necesariamente el mismo tipo de cantidad, con las mismas unidades de tal forma que B debe ser el momento magnético por unidad de volumen del espécimen junto con el

embobinado que transporta corriente y que por lo tanto $B - \mu$ es el momento magnético por unidad de volumen del material del espécimen. A esta cantidad se le conoce también como intensidad de magnetización M .

Del hecho de que el gráfico de M contra H se vuelva horizontal para valores suficientemente altos de H se ve que para un material ferromagnético dado existe un límite superior M para el valor de M .

3.1.8 Retención y fuerza coercitiva.

En la figura 3.5 se observa que una vez alcanzada la saturación al reducir H hasta cero permanece una inducción residual B_r que corresponde al segmento OP del gráfico, en el espécimen. Como H es cero este segmento representa la intensidad de magnetización del material que permanece después de la saturación, cuando a través del espécimen no circule corriente. Concordantemente, a B se le conoce como la permanencia o retención del material. Se trata de una medida parcial de la utilidad del material en la construcción de imanes permanentes.

Para poder desmagnetizar por completo al material después de haberlo saturado, esto es, para poder reducir M a cero se debe aplicar una fuerza magnética inversa cuyo valor exceda ligeramente al que corresponde a OQ . Sin embargo como la contribución a cambio de B debida a un material como el hierro es mucho mayor (excepto en la región de saturación) que aquella contribución correspondiente al cambio en $\mu_0 H$, la fuerza de magnetización inversa para

reducir a cero el valor de M puede considerarse prácticamente como la misma fuerza que reduce a cero el valor de B .

Denotaremos por H_c al valor del campo H inverso que corresponde a OQ , y que se conoce como fuerza coercitiva o coercitividad del material. Se trata de una medida de la dificultad para desmagnetizar un imán hecho con ese material.

Un valor pequeño de H_c implica una pequeña área encerrada por la curva de histéresis y una producción de calor por ciclo igualmente pequeña en el hierro o cualquier otro material. Consecuentemente, la pequeñez en H_c es un requisito práctico que debe cumplir cualquier material que se utilice como núcleo de un transformador.

Por otra parte un material que se va a usar en la construcción de un imán permanente debe tener un valor de H_c lo más grande posible, siempre y cuando este requisito no entre en conflicto con el de alta retención.

3.1.9 Materiales ferromagnéticos

A aquellos materiales cuyo comportamiento magnético general es semejante al del hierro o al del acero, se les conoce con el nombre de ferromagnéticos.

Los únicos elementos que son ferromagnéticos a temperaturas diferentes a las cercanas a los cero grados Kelvin, son el hierro, cobalto, níquel, gadolinio y disprosio, aunque los últimos dos mencionados exhiben propiedades ferromagnéticas sólo por debajo de los 16°C y por debajo de los 168°C respectivamente.

A estos elementos debe añadirse cierto número de aleaciones, de los cuáles forman parte y también cierto número de aleaciones formadas por completo por metales que en estado puro, no son magnéticos. Entre estas últimas, existe un grupo interesante de aleaciones con propiedades ferromagnéticas que fueron descubiertas por Heusler en los primeros años de este siglo y que actualmente se conocen como aleaciones de Heusler. Se trata de aleaciones de cobre y magnesio y uno de los siguientes metales: estaño, antimonio, aluminio o bismuto.

A partir de entonces se han desarrollado diferentes aleaciones no ferrosas que tienen propiedades ferromagnéticas. Por último, se ha encontrado que ciertos óxidos y otros compuestos pueden ser ferromagnéticos; algunos ejemplos de estos son el Fe_3O_4 (tetraóxido de hierro ó magnetita), Fe_2O_3 , (óxido férrico) FeTiO_3 (trióxido de Titánio Férrico ó Ilmenita), FeCr_2O_4 (Tetraóxido de Cromo Ferroso, o cromita) y $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$. (Almandina) Ciertas mezclas íntimas (por ejemplo mezclas sinterizadas) de tales compuestos, tienen propiedades magnéticas particularmente interesantes y se han puesto en práctica para propósitos especiales. Algunos de estos materiales son semejantes en su comportamiento al hierro dulce o hierro suave por el hecho de tener valores relativamente bajos de su fuerza coercitiva y retención, en tanto que otros al tener valores altos de estas cantidades, se asemejan al acero magnético. La

ANÁLISIS DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE CONTROL PARA APLICAR A LA
ACTUACIÓN DE ELECTROIMÁNES

tabla 3-1 muestra algunos ejemplos típicos de los primeros, y la tabla 3-2 de los últimos.

MATERIAL	μ/μ_0 PARA $B=2 \times 10^{-3}$ (N/A/m)	M_s (N/A/m)	Fuerza Coercitiva (A/m)
Hierro purificado (cocido)	5000	2.15	4.0
Cobalto		1.76	950
Niquel		0.615	400
97%Fe, 3%Si	1500	2.0	12
65%Fe, 35%Co		2.45	280
Permalleación 45	4000	1.60	5.6
54%Fe, 45% Ni, 0.3%Mn			
Superpermalleación	100,000	0.80	0.15
15.7%Fe, 79%Ni, 5%Mo, 0.3Mn			
Aleación de Heusler		0.48	500
61%Cu, 26%Mn, 13%Al			
Ferrocubo III (polvo sinterizado)	1000	0.25	8.0
$MnFe_3O_4 + ZnFe_2O_4$			

Tabla 3.1 Propiedades magnéticas de materiales de baja coercitividad.

Entre los diferentes puntos interesantes mostrados en estas tablas se puede notar lo siguiente: el valor de M para la aleación 65% de hierro (Fe) y 35% de cobre (Co) es notablemente mayor que la del hierro puro, a pesar del hecho de que el valor para el Co puro sea menor que el del hierro puro.

Tanto el valor de M_s para la aleación de Heusler no ferrosa enlistada en la tabla 3-1 como el valor de B_r del Bismuto de manganeso incluida en la tabla 3-2 son comparables con las cantidades correspondientes para los materiales ferrosos.

Aunque existe un factor menor que 10 entre los valores más altos y más bajos de M_s para los materiales enlistados en la tabla 3-1 y en los valores de B_r

para los materiales de la tabla 3-2 el factor de variación entre los valores más altos y más bajos de H_c podrían ser, por otra parte, mayor que un millón.

MATERIAL	Composición porcentual (residuo de Fe)	Retención (N/A/m)	Fuerza Cohercitiva (A/m)
Acero Carbonatado	1Mn, 0.9C	1.0	4,000
Acero con 36% de cobalto	36Co, 5W, 4Cr, 0.7C	0.95	19,000
Alnico I	12Al, 20Ni, 5Co	1.05	35,000
Alnico VI	8Al, 15Ni, 24Co, 3Cu, 1Ti	1.0	60,000
Alnico VII	6Al, 18Ni, 35Co, 8Ti	0.58	76,000
Hylomax	9Al, 21Ni, 20Co, 2Cu	0.95	64,000
Tyconal G	8 ^{al} , 14Ni, 24Co, 3Cu	1.3	48,000
Platino – Cobalto	77Pt, 23Co	0.59	210,000
Bismuturo de manganeso	100MnBi	0.46	290,000
Vectoline	30Fe2O3, 44Fe3O4, 26Co2O3	0.16	71000

**Tabla 3.2 Propiedades magnéticas de materiales de alta
coercitividad.**

Del examen de las dos tablas se puede ver que el elemento manganeso parece jugar un papel importante. Además de intervenir en la composición de cierto número de aleaciones ferrosas, es un ingrediente esencial en las aleaciones Heusler, y es uno de los materiales del compuesto intermetálico bismuturo de manganeso. A pesar de esto, la presencia de manganeso no siempre favorece el ferromagnetismo, aunque si lo hace cuando se agrega cierto porcentaje pequeño de este material al hierro, la aleación del 85% de Fe y de 15% de Mn, es casi por completo no magnética.

Es interesante notar que la aleación de 75% de Fe y 25% de Ni es prácticamente no magnética, aparte del importante ferromagnetismo exhibido tanto por el hierro como por el níquel puros.

3.2 *SENSORES Y TRANSDUCTORES.*

3.2.1 Generalidades.

Un transductor es un dispositivo que transforma un tipo de variable física (por ejemplo, fuerza, presión, temperatura, velocidad, caudal, etc.) en otro. Una transformación común es la que se produce a la tensión eléctrica y la razón por la que se realiza esta conversión es que es más fácil trabajar con la señal convertida. Un sensor es un transductor que se utiliza para medir una variable física de interés. Algunos de los sensores y transductores utilizados con más frecuencia son: calibradores de tensión (utilizados para medir la fuerza y la presión), termopares (temperaturas), velocímetros (velocidad), y tubos de Pitot (flujo).

Cualquier sensor o transductor necesita estar calibrado para ser útil como dispositivo de medida. La calibración es el procedimiento mediante el cuál se establece la relación entre la variable medida y la señal de salida convertida.

Los transductores y los sensores pueden clasificarse en dos tipos básicos, dependiendo de la forma de la señal convertida. Los dos tipos son:

- Transductores analógicos.
- Transductores digitales.

Los transductores analógicos proporcionan una señal analógica continua, como por ejemplo, voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide. Los transductores digitales producen una señal de salida digital, en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas. En una u otra forma, las señales digitales representan el valor de la variable medida. Los transductores digitales han llegado a ser más populares a causa de la facilidad con la que se pueden emplear como instrumentos de medición independientes. Además suelen ofrecer la ventaja de ser más compatibles con las computadoras digitales que los sensores analógicos en la automatización y en el control de procesos.

3.2.2 Terminología de funcionamiento.

El término sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. Por ejemplo, en el caso de un elemento para medir temperatura mediante resistencia eléctrica, la cantidad que se mide es la temperatura y el sensor transforma una entrada de temperatura en un cambio en la resistencia. Con frecuencia se usa el término *transductor* en vez de sensor. Los transductores se definen como el elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado. Es decir, los sensores son transductores. Sin embargo, en un sistema de medición se pueden usar transductores, además de sensores, en otras partes del sistema para convertir señales de una forma dada en otra distinta.

Los siguientes términos se emplean para definir el funcionamiento de los transductores y con frecuencia, el de los sistemas de medición como un todo.

3.2.2.1 Rango y Margen

El rango de un transductor define los límites entre los cuáles puede variar la entrada. El margen es el valor máximo de la entrada menos el valor mínimo. Por ejemplo, una celda de carga utilizada para medir fuerzas, podría tener un rango de 50 kN y un margen de 0.050 kN.

3.2.2.2 Error

El error es la diferencia entre el resultado de una medición y el valor verdadero de la cantidad que se mide. $\text{Error} = \text{valor medido} - \text{valor real}$. Por ejemplo; si un sistema de medición marca un valor de temperatura de 25°C, cuando el valor real de la temperatura es 24°C, el error es +1°C. Si la temperatura fuera 26°C, entonces el error sería -1°C. El sensor puede producir un cambio en la resistencia de 10.2 ohms, cuando el cambio verdadero debió ser de 10.5 ohms. El error es de -0.3 ohms.

3.2.2.3 Exactitud.

La exactitud es el grado hasta el cual un valor producido por un sistema de medición podría estar equivocado. Es por lo tanto, igual a la suma de todos

los errores posibles mas el error en la exactitud de la calibración del transductor. Por ejemplo, si la exactitud de un instrumento para medir la temperatura se especifica como un valor de ± 2 °C la lectura del instrumento estará entre +2 y -2°C del valor real. Es común expresar la exactitud como un porcentaje de la salida a rango total, o como una desviación a escala total. El término desviación a escala total se originó cuando las salidas de los sistemas de medición se presentaban casi siempre en una escala circular o lineal. Por ejemplo, la especificación de exactitud de un sensor sería de $\pm 5\%$ de la salida a escala total; y si el rango del sensor fuera de 0 a 200°C, la lectura sería entre +10 y -10°C de la lectura real.

3.2.2.4 Sensibilidad.

La sensibilidad es la relación que indica qué tanta salida se obtiene por unidad de entrada, es decir, salida/entrada. Por ejemplo, un termómetro de resistencia puede tener una sensibilidad de $0.5 \Omega/^{\circ}\text{C}$. Es frecuente que este término también se utilice para indicar la sensibilidad de otras entradas, además de la que se mide, por ejemplo, a cambios ambientales. Entonces puede haber sensibilidad del transductor a los cambios en la temperatura ambiente, o quizá a las fluctuaciones en el suministro de voltaje de la línea comercial. Puede decirse que un transductor para medir tiene sensibilidad de $\pm 0.1\%$ °C de la lectura por °C de cambio en la temperatura.

3.2.2.5 Error por Histéresis.

Los transductores pueden producir distintas salidas de la misma magnitud que se mide, si dicha magnitud se obtuvo mediante un incremento o una reducción continua. A ese efecto se le conoce como histéresis. La figura 3.5

muestra una salida de este tipo, donde el error por histéresis es la diferencia máxima en la salida obtenida a partir de valores de incremento y decremento.

3.2.2.6 Error por no-linealidad.

Para muchos transductores se supone que en su rango de funcionamiento la relación entre la entrada y la salida es lineal, es decir, la gráfica de la salida respecto a la entrada produce una línea recta. Sin embargo son pocos los transductores en los que la relación anterior es realmente una línea recta; por ello, al suponer la existencia de esta linealidad se producen errores. Este error se define como la desviación máxima respecto a la línea recta correspondiente. Para expresar numéricamente el error por no linealidad se utilizan varios métodos. Las diferencias ocurren al determinar la relación de la línea recta que especifica el error. Uno de estos métodos consiste en dibujar la recta que une a los valores de salida con los puntos extremos del rango; otro es determinar la recta con el método de mínimos cuadrados, a fin de calcular qué línea se adapta mejor considerando que todos los valores tienen la misma probabilidad de error; otro más es encontrar la línea recta con el método de mínimos cuadrados para determinar el mejor ajuste que también pase por el punto cero. En la figura 3.7 se ilustran los tres métodos y como cada uno afecta a su respectivo error por no linealidad. En general este error se expresa como un porcentaje de la salida a rango total. Por ejemplo, un transductor para medir presión tendría un error por no linealidad de $\pm 0.5 \%$ del rango total.

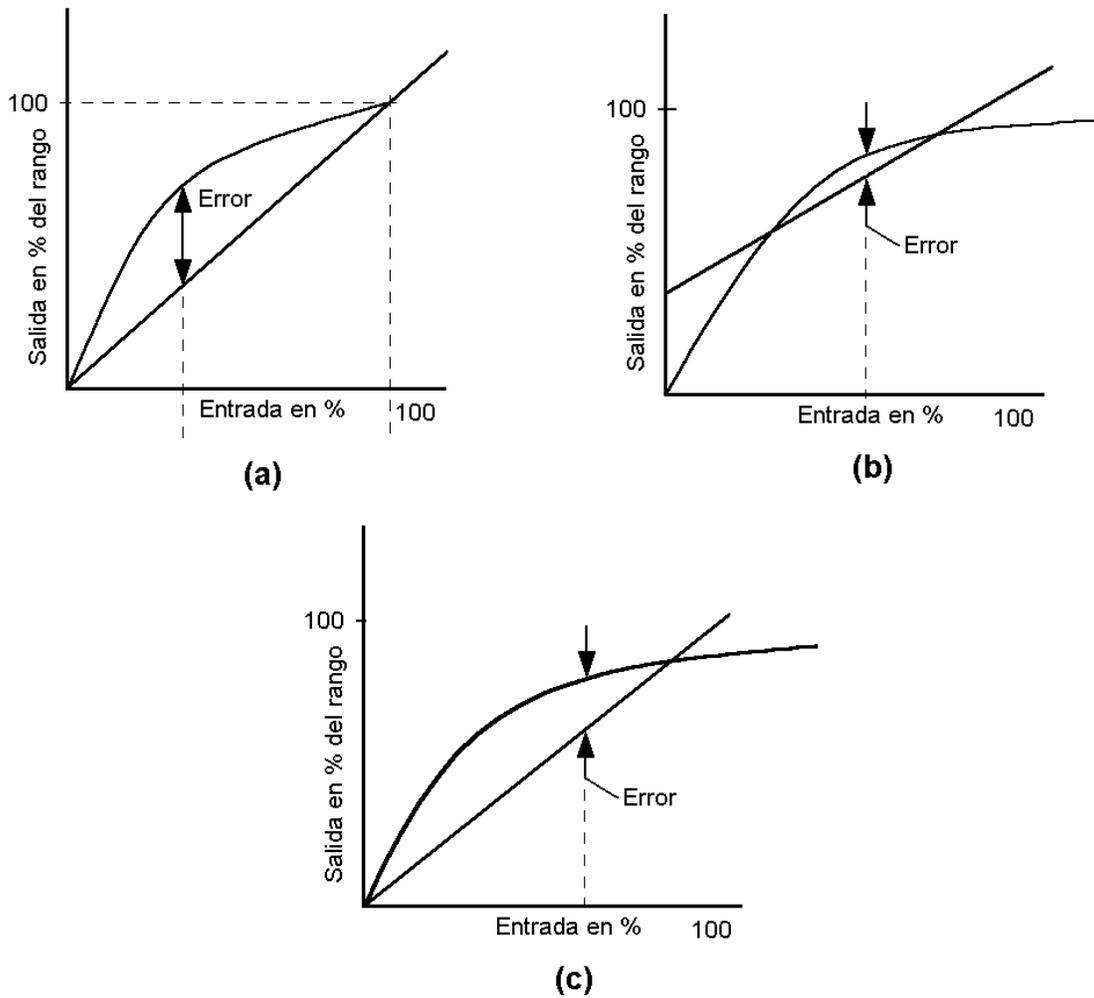


Figura 3.7 Error por no linealidad utilizando: a) valores extremos del rango, b) la mejor línea recta que incluya a todos los valores, c) la mejor línea recta que pase por el punto cero

3.2.2.7 Repetibilidad / Reproducibilidad.

Los términos repetibilidad y reproducibilidad se usan para describir la capacidad del transductor para producir la misma salida después de aplicar varias veces el mismo valor de entrada. Cuando ya no se logra obtener la misma salida después de aplicar el valor de entrada, el error se expresa como un porcentaje de la salida a rango total (ecuación 3.6).

$$\text{repetibilidad} = \frac{\text{val.max} - \text{val.minimo.obtenidos}}{\text{Rango.Total}} \times 100 \quad (3.6)$$

Se dice que un transductor para medir la velocidad angular tiene una repetibilidad de 0.01 % del rango total a una velocidad angular determinada.

3.2.2.8 Estabilidad.

La estabilidad de un transductor es su capacidad para producir la misma salida cuando se emplea para medir una entrada constante en un período. Para describir el campo en la salida que ocurre en ese tiempo, se utiliza el término *deriva*. Ésta se puede expresar como un porcentaje del rango de salida total. El término *deriva del cero* se refiere a los cambios que se producen en la salida cuando la entrada es cero.

3.2.2.9 Banda / Tiempo muerto.

La banda o espacio muerto de un transductor es el rango de valores de entrada durante los cuales no hay salida. Por ejemplo, en la fricción de rodamiento de un medidor de flujo con rotor significaría que no se produce salida hasta que la entrada alcanza cierto umbral de velocidad. El tiempo muerto es el lapso que transcurre desde la aplicación de una entrada hasta que la salida empieza a responder y a cambiar.

3.2.2.10 Resolución.

Cuando la entrada varía continuamente en todo el rango, las señales de salida de algunos sensores pueden cambiar a pequeños intervalos. Un ejemplo es el potenciómetro con devanado de alambre: la salida aumenta escalonada conforme el deslizador del potenciómetro pasa de una vuelta del devanado a otra. La resolución es el cambio mínimo del valor de la entrada capaz de producir un cambio observable en la salida. Por ejemplo, la resolución de un potenciómetro con devanado de alambre podría ser 0.5° , o quizás un porcentaje de la desviación a escala total. Para sensores con salida digital, el cambio mínimo de la señal de salida sería de 1 bit. Por lo tanto, un sensor que produzca una palabra de datos de N bits, es decir de un total de 2^N bits, la resolución se expresaría como $1/2^N$.

3.2.2.11 Impedancia de salida.

Cuando un sensor que produce una salida eléctrica se vincula con un circuito electrónico, es necesario conocer la impedancia de salida dado que ésta se va a conectar en serie o en paralelo con dicho circuito. Al incluir el sensor, el

comportamiento del sistema con el que se conecta podría modificarse de manera considerable.

3.2.3 **Características deseables de los sensores**

3.2.3.1 ***Exactitud.***

La exactitud de la medición debe ser tan alta como fuese posible. Se entiende por exactitud que el valor verdadero de la variable se pueda detectar sin errores sistemáticos positivos o negativos en la medición. Sobre varias mediciones de la variable, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado tenderá a ser cero.

3.2.3.2 ***Precisión.***

La precisión de la medición debe ser tan alta como fuese posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión de los valores de una serie de mediciones será mínima.

3.2.3.3 ***Rango de Funcionamiento***

El sensor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.

3.2.3.4 Velocidad de respuesta.

El transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.

3.2.3.5 Calibración

El sensor debe ser fácil de calibrar. El tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración deben ser mínimos. Además, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término *desviación* se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cuál hace necesaria su recalibración.

3.2.3.6 Fiabilidad

El sensor debe tener una alta fiabilidad. No debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento.

3.2.3.7 Costo y facilidad de funcionamiento

El costo para comprar instalar y manejar el sensor debe ser tan bajo como sea posible. Además lo ideal sería que la instalación y manejo del dispositivo no necesite de ningún operador altamente calificado.

Son pocos los sensores que tienen todas estas características. Se debe establecer un compromiso entre ellos para seleccionar el mejor sensor para una aplicación dada.

Los sensores incluyen una amplia gama de dispositivos que se pueden dividir en las categorías generales siguientes:

- Sensores táctiles.
- Sensores de proximidad y alcance.
- Sensores diversos y sistemas basados en sensores.
- Sistemas de visión de máquina.

3.3 **SENSORES TÁCTILES.**

Los sensores táctiles son dispositivos que indican el contacto entre ellos mismos y algún otro objeto sólido. Los sensores táctiles se pueden dividir en dos clases: sensores de contacto y sensores de fuerza. Los sensores de contacto proporcionan una señal de salida binaria que indica si se ha establecido o no contacto con la pieza. Los sensores de fuerza (también llamados algunas veces sensores de esfuerzos) indican no sólo si el contacto ha sido establecido con la pieza, sino que también determinan la magnitud de la fuerza de contacto entre los dos objetos.

3.3.1 **Sensores de contacto**

Los sensores de contacto (figura 3.8) se utilizan para indicar que se ha producido el contacto entre los dos objetos, sin considerar la magnitud de la fuerza de contacto. En esta categoría se incluyen dispositivos sencillos, tales

como interruptores de límite, microinterruptores y dispositivos similares. Los dispositivos más sencillos se utilizan con frecuencia, en los sistemas de enclavamiento en robótica. Por ejemplo, pueden utilizarse para determinar la presencia o la ausencia de objetos en un montaje de sujeción o en el punto de capacitancia en un transportador.

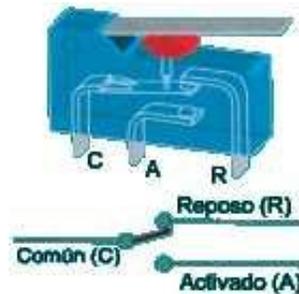


Figura 3.8 Sensor de Contacto o Bumper

3.3.2 Sensores de Fuerza

Los sensores de Fuerza (figura 3.9) determinan, además de si ha habido contacto con un objeto, la magnitud con la que se ha producido dicho contacto. Esta capacidad es muy útil ya que permite manipular objetos de diferentes tamaños y con localización precisa.

La capacidad para medir fuerzas permite ejecutar varias tareas. En estas tareas se incluyen la capacidad para agarrar objetos de tamaños diferentes en la manipulación de materiales, cargado de maquinaria y trabajos de ensamblaje, aplicando el nivel apropiado de fuerza para la pieza dada.

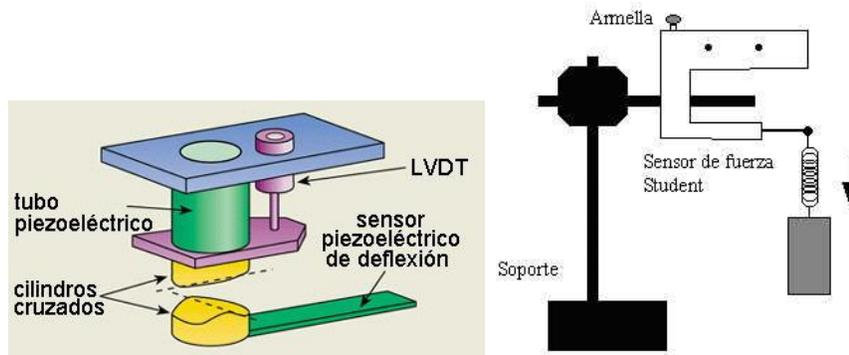


Figura 3.9 Sensores de Fuerza

3.4 **SENSORES DE PROXIMIDAD Y ALCANCE.**

Los sensores de proximidad son dispositivos que indican cuándo un objeto está próximo a otro. Cuán próximo debe estar el objeto para poder activar el sensor dependerá del dispositivo particular. Las distancias pueden ser cualquiera entre varios milímetros y varios pies. Algunos de estos sensores pueden utilizarse también para medir la distancia entre el objeto y el sensor, estos dispositivos se denominan sensores de alcance. Un empleo práctico de un sensor de proximidad sería detectar la presencia o ausencia de una pieza de trabajo o de otro objeto. Una diversidad de tecnologías están disponibles para diseñar sensores de proximidad y de alcance. Estas tecnologías incluyen dispositivos ópticos, elementos acústicos, y técnicas de campos eléctricos, como corrientes parásitas y campos magnéticos.

Los sensores de proximidad ópticos pueden diseñarse utilizando fuentes de luz visibles o invisibles (infrarrojos).

Los sensores de proximidad y alcance basados en el uso de campos eléctricos están disponibles en el mercado. Dos de los tipos en esta categoría son los sensores de corrientes parásitas y los de campos magnéticos. Los dispositivos de corrientes parásitas crean un campo magnético alterno primario en la pequeña zona cerca de la sonda. Este campo induce corrientes parásitas en un objeto situado en la zona, en tanto que el objeto esté constituido por un material conductor. Estas corrientes parásitas producen su propio campo magnético que interactúa con el campo primario para cambiar su densidad de flujo, y esto indica la presencia del objeto.

Los sensores de proximidad de campos magnéticos son relativamente simples y pueden obtenerse utilizando un conmutador de láminas y un imán permanente. El imán puede formar parte del objeto que se detecta o puede ser parte integrante del dispositivo sensor. En uno u otro caso el dispositivo puede diseñarse de modo que la presencia del objeto en la zona del sensor complete el circuito magnético y active el conmutador de láminas. Este tipo de diseño de sensor de proximidad es atractivo debido a su sencillez relativa y porque no se requiere ninguna fuente de alimentación exterior para su funcionamiento.

3.4.1 **Sensores de Luz**

Para una mejor comprensión de los procesos ópticos en los sensores de distancia por incidencia luminosa, se hablará a continuación de algunas nociones básicas de óptica aplicada a la electrónica de los dispositivos.

3.4.1.1 Nociones de Optoelectrónica

En los procesos industriales se usan muchas veces elementos sensibles a la luz con el fin de controlar diversos sistemas automáticos. Dichos elementos se basan en los principios físicos de fotoemisión y fotoconducción. Por ser los más comunes nos centraremos en ellos.

El funcionamiento de los diferentes elementos fotosensibles de semiconductores deriva del fenómeno físico por el cual una radiación luminosa cede su energía a los electrones de un sólido, haciendo que estos pasen de la banda de valencia a la de conducción, sin abandonar el material, a diferencia de lo que ocurría con las células fotoeléctricas. Cuando la radiación luminosa incide sobre el material semiconductor, se crean pares electrón-hueco, aumentando el número de portadores de carga disponibles y, por tanto, la corriente por el dispositivo, siempre que la energía de la radiación sea suficiente para remontar el ancho de banda prohibida de energía Figura (3.10).

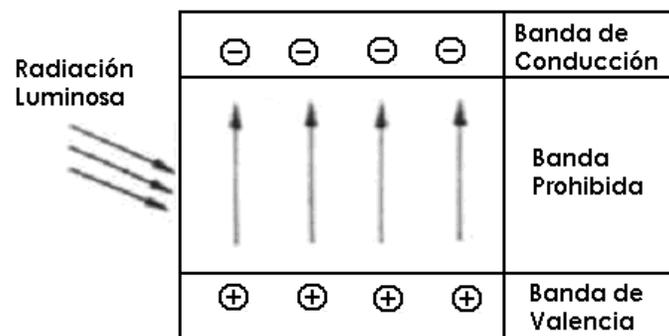


Figura 3.10 Creación de pares electrón-hueco

La proporción de pares electrón-hueco generados depende de la cantidad de luz absorbida y por ello, de la geometría del dispositivo y del material empleado, según sea su altura de banda prohibida (cantidad de energía necesaria para pasar de la banda de valencia a la de conducción). Aplicando un campo eléctrico adecuado capaz de evacuar las cargas generadas, se obtendrá una corriente eléctrica proporcional a la energía luminosa que se absorbe.

3.4.1.2 Fotosemiconductores de captación

Un fotodiodo de unión consiste básicamente en una unión NP polarizada en sentido inverso (campo eléctrico en sentido contrario al propio de la unión), de manera que se cree una zona de difusión desprovista de portadores, cuya anchura depende del potencial aplicado (Figura 3.11):

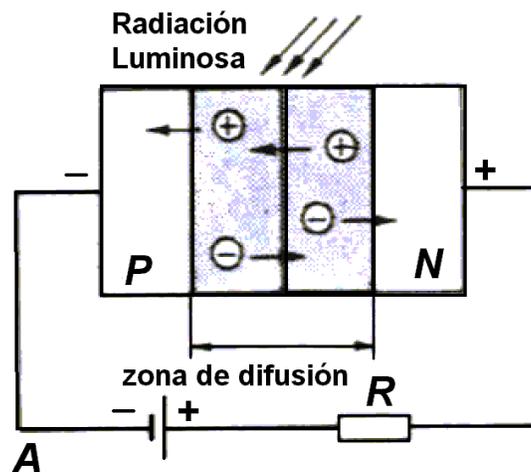


Figura 3.11 Fotodiodo de unión NP

Cuando no llega ninguna radiación luminosa a esta región, los electrones no tienen energía suficiente para atravesarla y por ello la corriente será prácticamente nula. Cuando la radiación luminosa es de la longitud de onda

adecuada e incide en la zona de difusión, se crean pares electrón - hueco que son atraídos por el campo eléctrico aplicado, resultando una corriente inversa por la unión NP proporcional a la energía absorbida y por lo tanto al flujo luminoso que incide sobre la unión, tal y como se muestra en la siguiente curva característica de un fotodiodo genérico (figura 3.13).

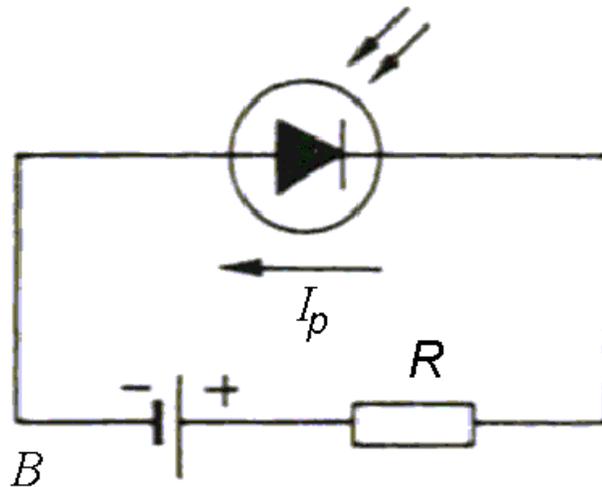


Figura 3.12 Corriente en un fotodiodo

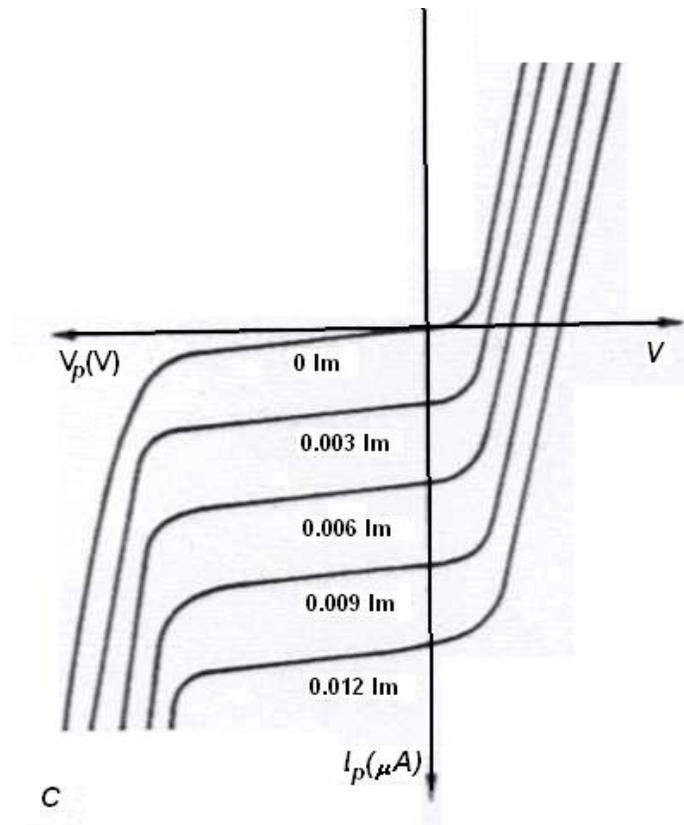


Figura 3.13 Curvas características de corriente en un fotodiodo en función de su polarización

Puede verse que el elemento se comporta como un generador de corriente casi constante hasta que se alcanza su tensión de ruptura, tras lo cual se produce una avalancha de portadores y la destrucción del dispositivo. Los fotodiodos pueden fabricarse sobre material base de silicio o de germanio y, en cualquier caso, la unión se forma por el proceso de difusión para obtener una superficie de unión grande y uniforme. La sensibilidad relativa del silicio y la del germanio son similares, quedando la respuesta de este último más próxima a las frecuencias del infrarrojo y teniendo el primero una respuesta más uniforme en la

radiación visible. Sin embargo, el silicio presenta una serie de ventajas sobre el germanio tal y como se detallan a continuación en la tabla 3-2:

Características	Germanio	Silicio
Longitud de onda de máxima sensibilidad	1500 Å	900 Å
Sensibilidad	25 a 100 mA/lm	35 a 150 mA/lm
Tiempo de respuesta	2 a 6 µs	0.2 a 1 µs
Corriente inversa máxima	1 a 3 mA	3 a 18 mA
Potencia disipable	30 a 50 mW	0.1 a 2 W
Corriente en oscuridad	0.1 a 1 µA	15 a 50 nA
Deriva térmica de la corriente	0.7% °C	0.1% °C

Tabla 3-2 de comparación de las características de los fotodiodos

Las corrientes que pueden obtenerse con los fotodiodos son muy limitadas, por ello se recurre a un proceso de amplificación, siendo aquellos meros sensores de muy pequeña potencia. El fototransistor es el dispositivo más simple que puede formarse en la combinación fotodiodo-amplificador. Una

manera de ver estos dispositivos, de forma estructural, sería la que a continuación se muestra en la figura 3.14:

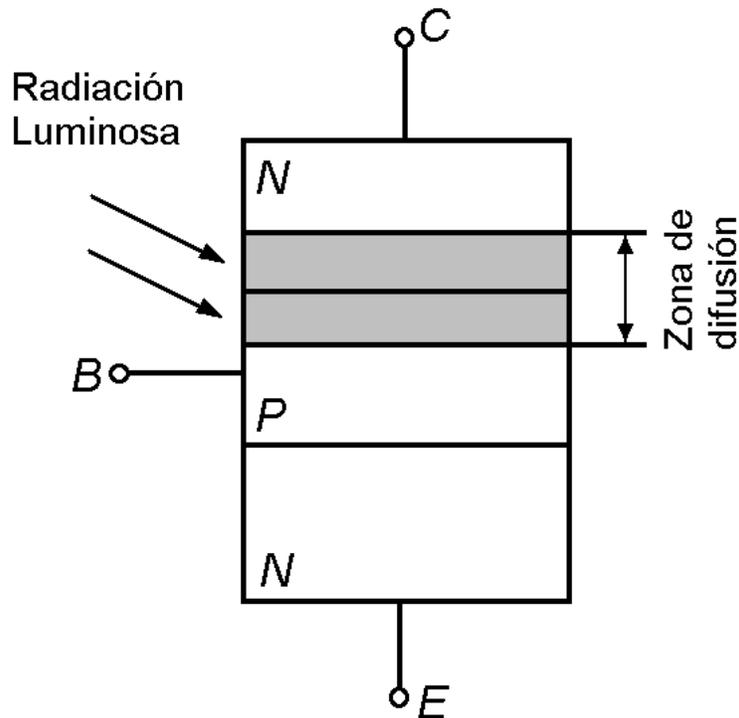


Figura 3.14 Fototransistor

Como en todo transistor, se polarizará inversamente la unión colector – base, que para estos dispositivos se amplía todo lo posible, con el fin de obtener la máxima superficie de recepción útil de la radiación luminosa. La corriente inversa que, debido a la radiación luminosa actúa como corriente de base, resulta ser amplificada según la ganancia de corriente del fototransistor, de modo que la sensibilidad alcanzada por éstos es muy elevada respecto a la de los fotodiodos. La respuesta espectral y las demás características son muy similares a las de los fotodiodos que, como resulta lógico pensar, dependerán del material base utilizado (germanio o silicio).

El circuito equivalente de este dispositivo podría sintetizarse de la siguiente forma (Figura 3.15):

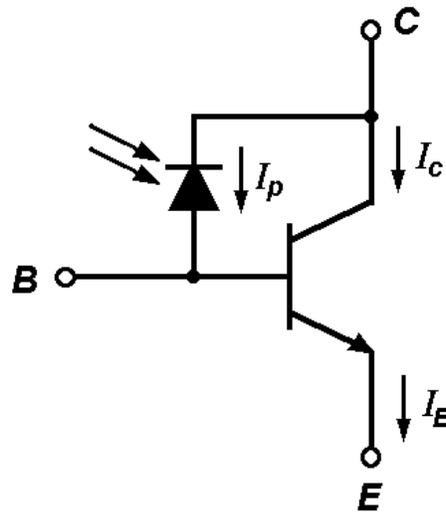


Figura 3.15 Circuito equivalente de un fototransistor

La corriente de colector depende de la tensión colector-emisor y por ello, de la radiación luminosa que recibe el dispositivo, tal y como se aprecia a continuación, en la figura 3.16, donde se advierte que el parámetro de corriente de base es sustituido por el flujo luminoso que se recibe:

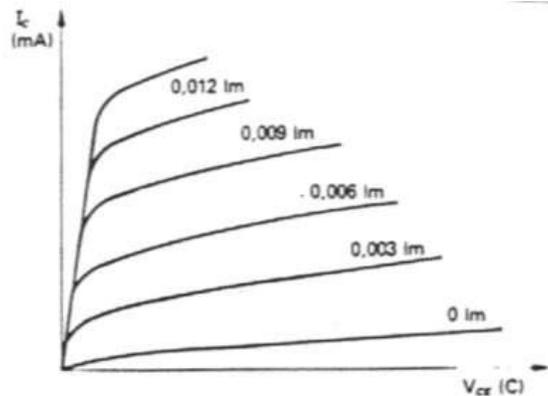


Figura 3.16 Curvas características de un fototransistor

Para los fototransistores, cuyo terminal de base no es accesible desde el exterior, son correctas las curvas indicadas; mas, cuando se puede acceder a éste, la corriente de colector será la que dan las curvas para una corriente de base igual a $I_p + I_B$ siendo I_p la corriente del fotodiodo colector-base e I_B la corriente que se introduce desde la fuente exterior.

Cuando los niveles de iluminación son muy bajos o cuando las corrientes de salida necesarias son muy elevadas (sensibilidad elevada), se puede usar un montaje en Darlington o super alfa como el que a continuación se muestra (figura 3.17):

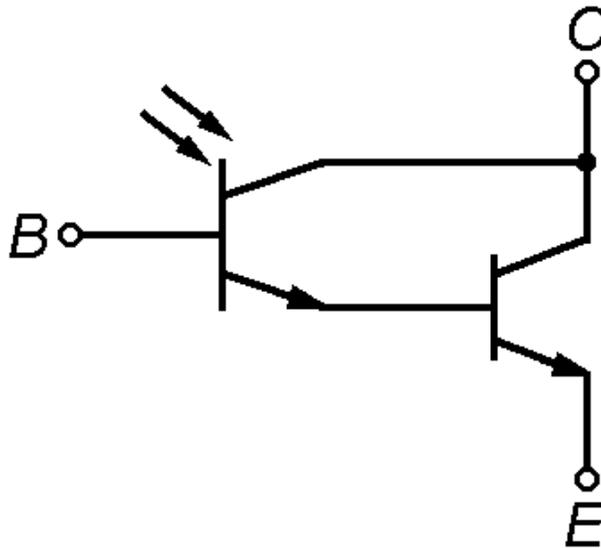


Figura 3.17 Montaje Darlington, también llamado Super Alfa

Estos montajes se suelen encapsular juntos como si fuese un único componente discreto y su estructura interna podría ser tal como se registra en la figura 3.18:

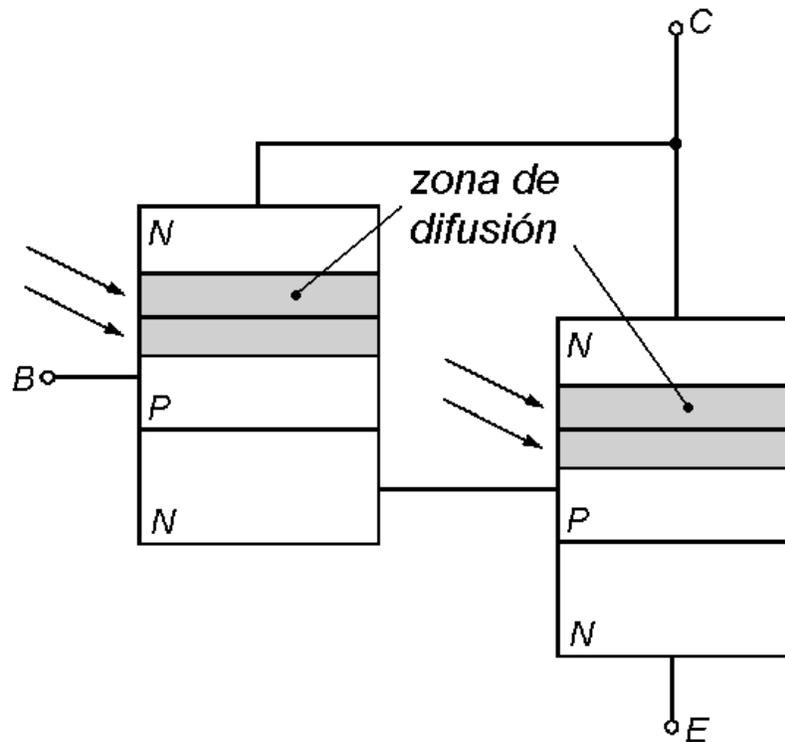


Figura 3.18 Estructura interna de un montaje Darlington

Se ha visto cómo las respuestas espectrales del silicio y del germanio, utilizados para los fotosemiconductores indicados, correspondían a las radiaciones visibles que entran un poco en el rango del infrarrojo, por ello se implementan elementos cuya máxima sensibilidad corresponda a la banda del infrarrojo que, como es obvio, presenta la ventaja de no ser visible al ojo humano, para utilizarlos en todo tipo de automatismos. Como la energía de esta radiación es capaz de crear pares electrón-hueco en la zona de difusión del fotosemiconductor, se realizan manufacturas especiales para que la conducción inversa se produzca por avalancha, con lo cual la energía requerida es menor; o se usan materiales de menor altura de la banda prohibida que la correspondiente al silicio o el germanio que responderán únicamente a esta radiación. Estos

últimos serán los que más ampliamente se usen para captadores (tanto fotodiodos como fototransistores) de mandos a distancia, etc.

3.4.1.3 Fotoemisores

Los diodos emisores de luz son dispositivos semiconductores que basan su funcionamiento en el principio de la electroluminiscencia. También llamados LED, del inglés: Light Emitting Diode, permiten la emisión de luz por la recombinación de los portadores inyectados en la zona de difusión de una unión NP por medio de una polarización directa, tal y como se muestra en la figura 3.19:

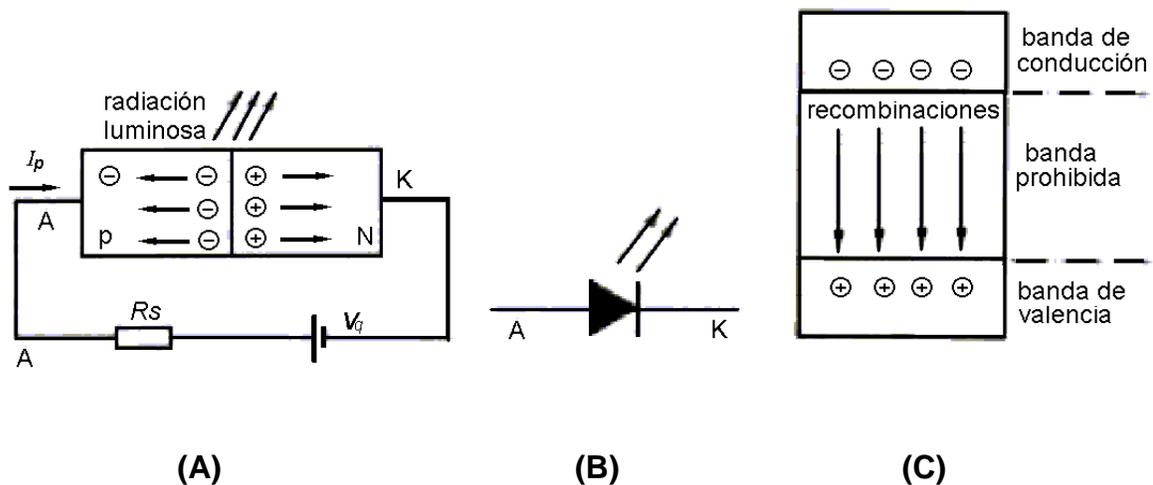


Figura 3.19 Diodos emisores de luz.

A) Esquema básico. B) Símbolo. C) Recombinación de portadores

Esta recombinación de portadores da lugar a la liberación de una cantidad de energía equivalente a la anchura de la banda prohibida o "gap". Se trata de la

recombinación de los electrones inyectados por la fuente de alimentación que ocupan los huecos existentes en la zona de difusión. La energía liberada puede serlo en forma de luz (fotones), de vibraciones de la red atómica del material, con el consiguiente aumento de temperatura, (fotones) o energía cinética comunicada a otros portadores. El tipo de energía liberada depende del material utilizado, su estructura cristalina, pureza y forma geométrica. Mediante la combinación adecuada de estos factores, se puede conseguir que la mayor parte de la energía liberada sea en forma de radiación luminosa. El rendimiento entre potencia eléctrica suministrada y la potencia luminosa radiada puede ser del 25% para los LED. La figura 3.20 muestra las longitudes de onda del espectro, indicando el tipo de material semiconductor utilizado para producir emisiones en esa zona. Normalmente en el mercado se encuentran LED's formados por combinaciones de galio, arsénico y fósforo para producir los colores rojo, amarillo, ámbar, verde, azul y emisiones infrarrojas.

El comportamiento de los LED's en un circuito es similar al de cualquier otro diodo de unión, aunque la caída de tensión en directa es mayor debido a que la anchura del gap es también mayor, variando entre 1,2V para el Arseniuro de Galio hasta los 2V del Fosforo de Galio. La tensión en inverso, que son capaces de soportar está entre 5V y 25V, debido a la mayor concentración de impurezas necesaria para una eficiente producción luminosa.

La distribución espacial de la energía luminosa es función del tipo de lente difusora incorporada en la cápsula y del ángulo de desviación con respecto al eje óptico del observador, tal y como se muestra en la figura 3.20.

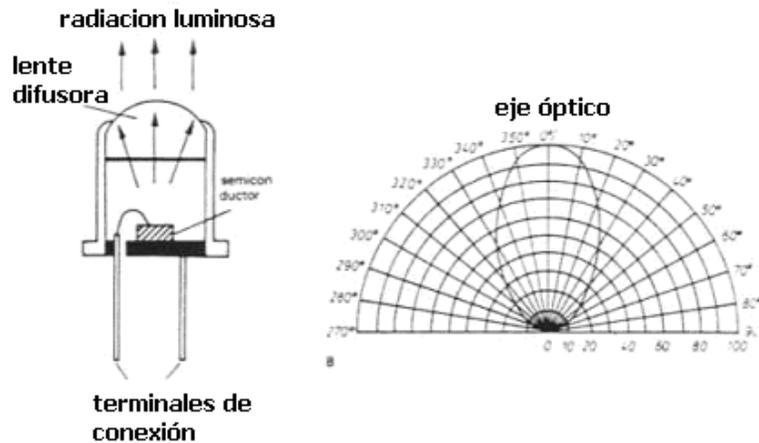


Figura 3.20 Distribución espacial de la radiación luminosa de un LED.

a) Estructura física del LED.

b) Diagrama de distribución

Los elementos semiconductores descritos pueden usarse de diferentes maneras, para formar sistemas de control o de transmisión de información mediante señales ópticas. Así los elementos emisores y detectores aislados pueden montarse conjuntamente, siempre que su respuesta espectral responda a las mismas longitudes de onda; la regulación y puesta a punto de estos sistemas resultan complicadas, pues es difícil ajustar los términos de la intensidad, dirección y distancias de trabajo. Otra forma de uso son los interruptores fotoeléctricos, es como el que se muestra en la figura 3.21:

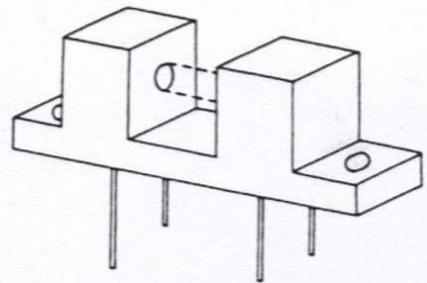


Figura 3.21 Interruptor fotoeléctrico

Como se ve, se encapsulan un emisor y un detector de características complementarias en módulos perfectamente ajustados. Se suelen usar como finales de carrera, o como generadores de una posición índice de un mecanismo, o para la detección de presencia de un objeto entre su ranura (tarjetas de crédito en un cajero, un disquete en una disquetera, el papel en una impresora, etc.). La mejor forma de utilización conjunta de estos elementos lo constituyen los optoacopladores (figura 3.22). Como su nombre lo indica, estos elementos permiten el acoplamiento de una señal eléctrica de entrada en otra señal eléctrica de salida, con un aislamiento galvánico muy elevado entre ambas (del orden de 10^{15} ohmios). Se construyen en módulos cerrados que no pueden modificarse posteriormente; contienen un diodo emisor, generalmente de infrarrojos, y un elemento detector que puede ser cualquiera de los vistos hasta la fecha. Una muestra genérica de este tipo de elementos vendría dado por:

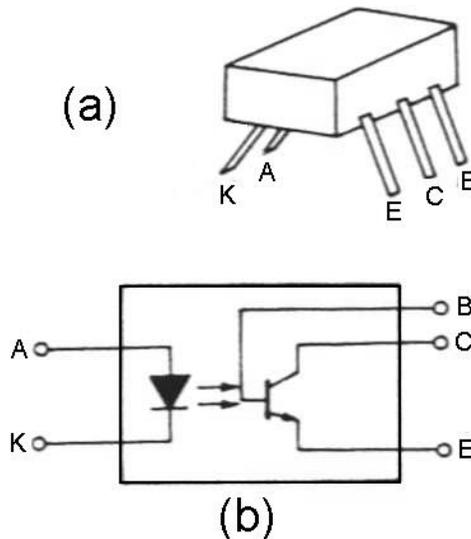


Figura 3.22 Optoacopladores.

a) Aspecto exterior. b) Esquema eléctrico

Los *foto*diodos son diodos de unión hechos con semiconductores, los cuales están conectados en un circuito con polarización inversa, por lo que su resistencia está muy elevada. Cuando la luz incide en la unión, la resistencia del diodo disminuye y la corriente del circuito aumenta de manera notable. Por ejemplo, cuando no hay luz y con polarización de 3 V, la corriente es de 25 μA y cuando se ilumina con 25 000 lúmenes/m² es de 375 μA . La resistencia del dispositivo cuando no hay luz es de $3/(25 \times 10^{-6}) = 120 \text{ k}\Omega$, y cuando hay luz es $3/(375 \times 10^{-6}) = 8 \text{ k}\Omega$. Es decir el fotodiodo sirve como dispositivo de resistencia variable, controlado por la luz que incide en él. Los fotodiodos responden muy rápido a la presencia de la luz.

Los fototransistores tienen una unión base colector p-n sensible a la luz. Cuando la luz no incide la corriente colector-emisor es muy pequeña. Al incidir la luz se produce una corriente de base directamente proporcional a la intensidad luminosa. Debido a ello, se produce una corriente de colector que es una medida de la intensidad luminosa. Es común encontrar fototransistores en forma de paquetes integrados, en los cuales el fototransistor está conectado a una configuración Darlington con un transistor convencional. (Figura 3.23). Dado que con el arreglo anterior se obtiene una mayor ganancia en corriente, este dispositivo produce una corriente de colector mucho mayor para una intensidad de luz determinada.

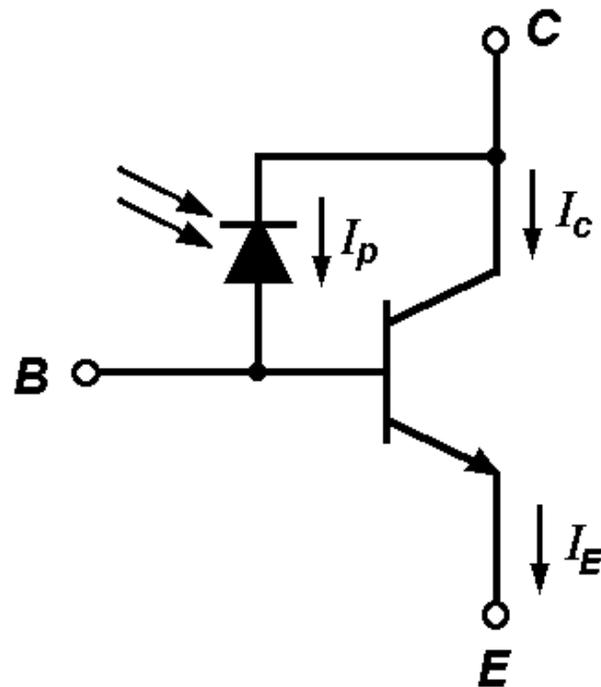


Figura 3.23 Fototransistor Darlington.

Las *fotoresistencias* tienen una resistencia que depende de intensidad luminosa que reciben, la cuál disminuye de manera lineal con la disminución de intensidad. La fotoresistencia de sulfuro de cadmio es la más sensible a la luz, y sus longitudes de onda son de 515 nm; la de selenio de cadmio se usa para longitudes de onda mayores de menos de 700 nm.

Para determinar las variaciones de intensidad luminosa en un espacio reducido generalmente se necesitan un conjunto de sensores de luz, por ejemplo, en una cámara fotográfica automática para determinar la exposición más adecuada se deben considerar las intensidades luminosas variables presentes en toda imagen. Para estos casos se cuenta con grupos de dispositivos, cada uno de los cuales tiene una gran cantidad de fotodiodos.

3.4.2 **Sensores Infrarrojos**

Los sensores de infrarrojos pueden ser activos o pasivos. Los sensores activos envían un haz de rayos infrarrojos y responden a la reflexión del haz contra un blanco. El sensor de reflectancia de infrarrojos que utiliza una fuente de luz incandescente, es un dispositivo común que está disponible en el mercado (figuras 3.24 y 3.25). El sensor de infrarrojos activo puede emplearse para indicar no solamente si está presente o no una pieza, sino también para señalar la posición de la misma. Temporizando el intervalo a partir de cuando se envía la señal y se recibe el eco puede realizarse una medida de la distancia entre el objeto y el sensor. Esta característica es de utilidad sobre todo para los sistemas de locomoción y guiado. Los sensores de infrarrojos pasivos son simplemente dispositivos que detectan la presencia de la radiación infrarroja en el entorno. Se suelen utilizar en sistemas de seguridad para detectar la presencia de cuerpos que emiten calor dentro del alcance del sensor. Estos sistemas sensores son efectivos en la cobertura de grandes zonas en interiores de edificios.

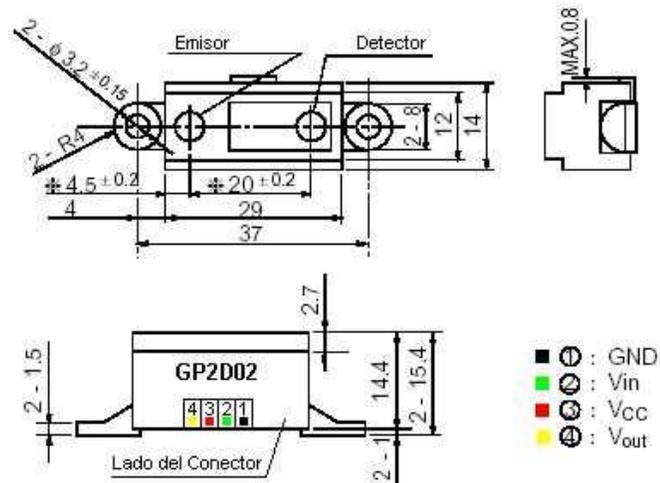


Figura 3.24 (a) Sensor de distancia por infrarrojos SHARP GP2D02, dimensiones en mm vista isométrica lateral y frontal.



Figura 3.24 (b) Sensor de distancia por infrarrojos SHARP GP2D02 vista frontal, lateral e interior



Figura 3.24 (c) Sensor de distancia por infrarrojos SHARP GP2D02 vista isométrica lateral y frontal.

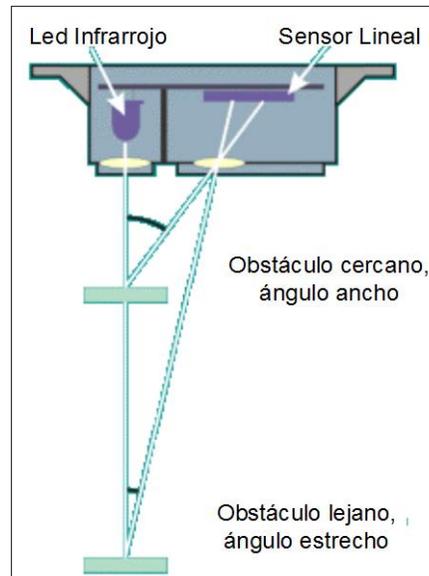


Figura 3.25 Esquema de funcionamiento del sensor de distancia por infrarrojos SHARP GP2D02

3.4.3 Sensores Ultrasónicos

Dispositivos acústicos pueden emplearse como sensores de proximidad. Las frecuencias ultrasónicas (por encima de 20 000 Hz) se suelen utilizar en estos dispositivos, porque el sonido está más allá del alcance del oído humano. Un tipo de sensor de proximidad acústico emplea una cámara cilíndrica de extremo abierto con un emisor acústico en el extremo cerrado de la cámara (figura 3.26). El emisor establece un patrón de ondas estacionarias en la cavidad que se modifica por la presencia de un objeto cerca del extremo abierto. Un micrófono situado en la pared de la cámara se emplea para detectar el cambio en el patrón de sonido. Esta clase de dispositivo puede utilizarse también como un sensor de alcance.

La respuesta de todos los sensores de proximidad depende, en gran medida, del material objeto de la detección. Esta dependencia puede reducirse mucho utilizando sensores ultrasónicos.

En la estructura de un transductor ultrasónico típico utilizado para detección de proximidad el elemento básico es un transductor electroacústico, frecuentemente del tipo cerámico piezoeléctrico. Este elemento en primer lugar emite unas ondas ultrasónicas; a continuación pasa a modo de espera en el que, durante un cierto tiempo, espera la vuelta de las ondas reflejadas en algún objeto. Si las ondas llegan, quiere decir que hay algún objeto en las proximidades. Dependiendo del tiempo de conmutación del transductor (el tiempo que está esperando) se detectará un grado de proximidad u otro. La capa de resina protege al transductor contra la humedad, polvo y otros factores ambientales y también actúa como un adaptador de impedancia acústica. Puesto que el mismo transductor se suele utilizar para la transmisión y la recepción, un amortiguamiento rápido de la energía acústica es necesario para detectar objetos a pequeña distancia. Esta operación se realiza proporcionando absorbedores acústicos y desacoplando el transductor de su receptáculo. Este último está diseñado de modo que produzca un haz acústico estrecho para una eficaz transferencia de energía y una mejor direccionalidad de la señal.

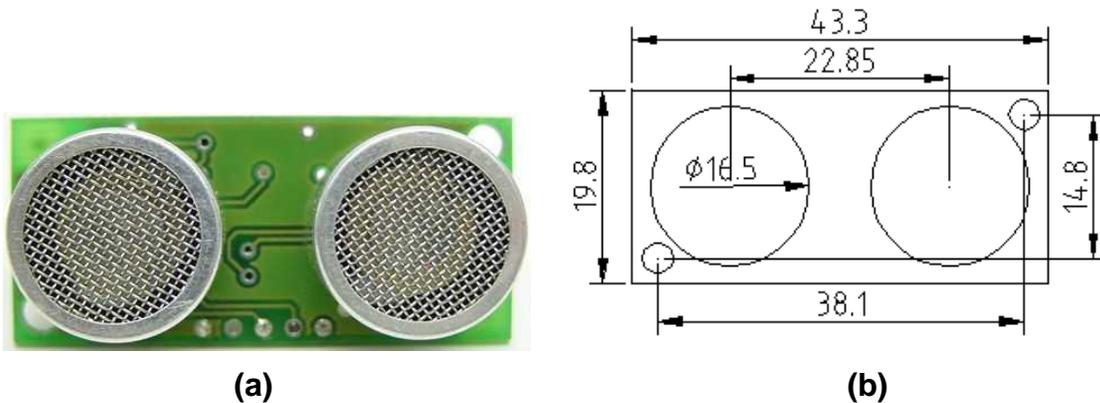


Figura 3.26 (a) Sensor de distancias por ultrasonidos SRF04 (b) dimensiones en mm.

El SRF04 es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 3 a 300 cm. El sensor contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno. De muy pequeño tamaño, SRF04 destaca por su bajo consumo, gran precisión y bajo precio.

Funcionamiento

El sensor SRF04 funciona emitiendo impulsos de ultrasonidos inaudibles para el oído humano. Los impulsos emitidos viajan a la velocidad del sonido hasta alcanzar un objeto, entonces el sonido es reflejado y captado de nuevo por el receptor de ultrasonidos. Lo que hace el controlador incorporado es emitir una ráfaga de impulsos y a continuación empieza a contar el tiempo que tarda en llegar el eco. Este tiempo se traduce en un pulso de eco de anchura proporcional a la distancia a la que se encuentra el objeto.

Desde un punto de vista práctico, lo que hay que hacer es mandar un señal de arranque en el pin 3 del SRF04 y después leer la anchura del impulso que nos proporciona en el pin 2. El pulso de disparo tiene que tener una anchura mínima de 10 μ S. Después se lee el pulso de salida de Eco y se mide su longitud que es proporcional al eco recibido. En caso de que no se produzca ningún eco, por que no se encuentra un objeto, el pulso de eco tiene una longitud aproximada de 36 ms. Hay que dejar un retardo de 10 ms desde que se hace una lectura hasta que se realiza la siguiente, con el fin de que el circuito se estabilice.



Tensión: 5V	Pulso de Disparo: 10 μ S min. TTL
Consumo: 30 mA Tip. 50mA Max.	Pulso de Eco: 100 μ S - 18 mS
Frecuencia: 40 Khz.	Retardo entre pulsos: 10 mS Mínimo
Distancia Mínima: 3 cm.	Pulso de Eco: 100 μ S - 18 mS
Distancia Máxima: 300 cm.	Tamaño: 43 x 20 x 17 mm
Sensibilidad: Detecta un palo de escoba a 3 m.	Peso: 10 gr.

Figura 3.27 *Tableta de control electrónico para el sensor de distancias por ultrasonido SRF04.*

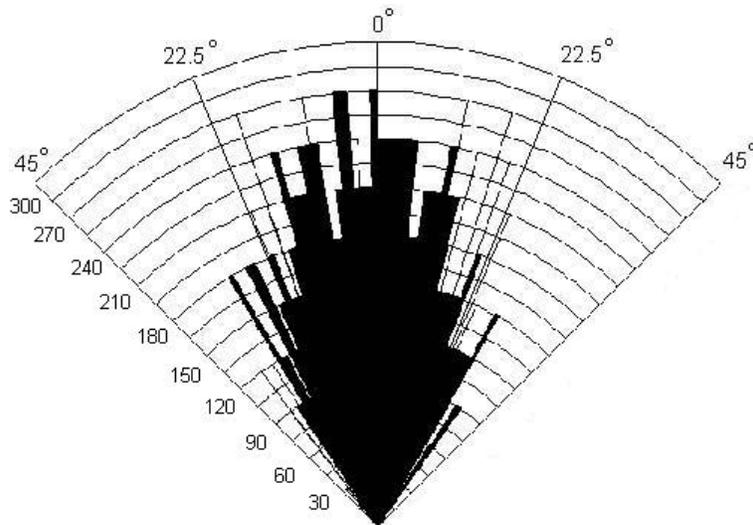


Figura 3.28 El Rango efectivo del SRF04 es de unos 30° como puede verse en este diagrama

Como el modulo SRF04 solo requiere de una entrada y una salida, se puede conectar fácilmente a cualquier microprocesador o microcontrolador del mercado, como puede verse en el siguiente esquema (figura 3.29).

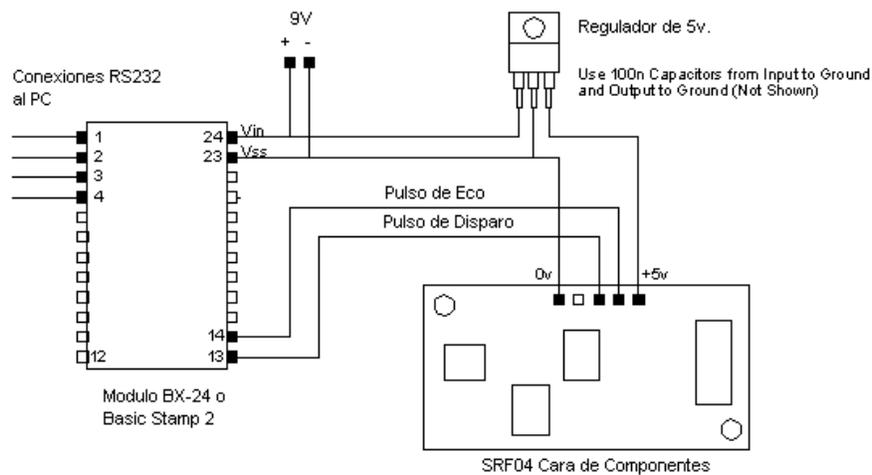


Figura 3.29 Diagrama de conexión del sensor de ultrasonido SRF04

3.4.4 Sensores Inductivos

Los sensores basados en un cambio de inductancia debido a la presencia de un objeto metálico están entre los sensores de proximidad industriales de más frecuente uso. El principio de funcionamiento de estos sensores puede observarse en la figura 3.30.

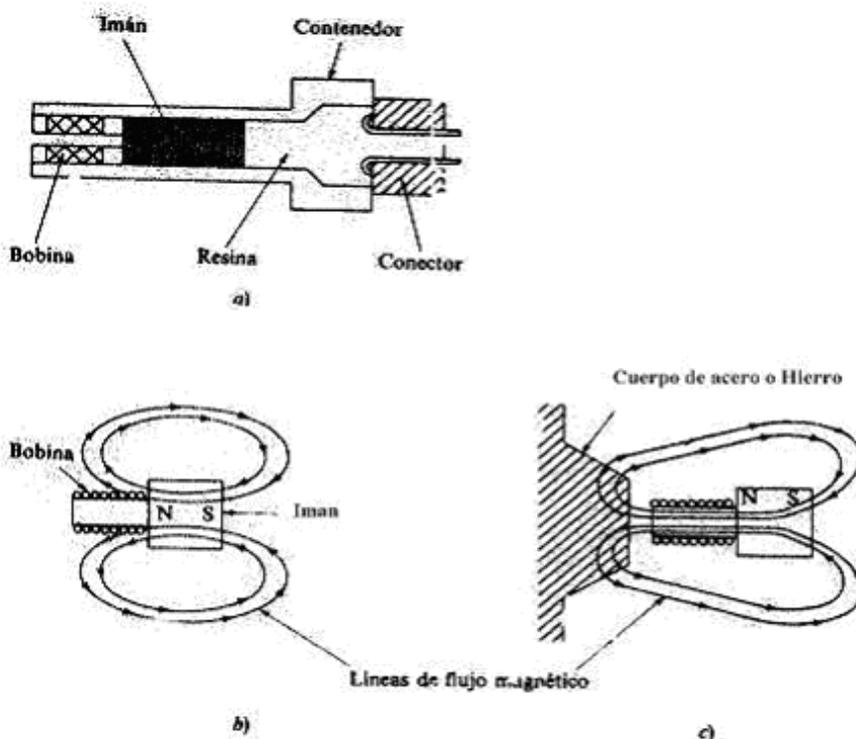


Figura 3.30 a) Un sensor inductivo, b) Formas de líneas de flujo en la ausencia de un cuerpo ferromagnético, c) Formas de línea de flujo cuando un cuerpo ferromagnético se lleva a las proximidades del sensor.

La figura 3.30 muestra un diagrama esquemático de un sensor inductivo, que consiste fundamentalmente en una bobina enrollada, situada junto a un imán permanente empaquetado en un receptáculo simple y robusto.

El efecto de llevar el sensor a la proximidad de un material ferromagnético produce un cambio en la posición de las líneas de flujo del imán permanente según se indica en la figura. En condiciones estáticas no hay ningún movimiento en las líneas de flujo y por consiguiente, no se induce ninguna corriente en la bobina. Sin embargo, cuando un objeto ferromagnético penetra en el campo del imán o lo abandona, el cambio resultante en las líneas de flujo induce un impulso de corriente, cuya amplitud y forma son proporcionales a la velocidad de cambio de flujo.

La forma de onda de la tensión, observada a la salida de la bobina, proporciona un medio efectivo para la detección de proximidad. La tensión medida a través de la bobina varía como una función de la velocidad a la que un material ferromagnético se introduce en el campo del imán. La polaridad de la tensión, fuera del sensor, depende de que el objeto este penetrando en el campo abandonándolo.

Existe una relación entre la amplitud de la tensión y la distancia sensor-objeto. La sensibilidad cae rápidamente al aumentar la distancia, y el sensor sólo es eficaz para fracciones de un milímetro.



Figura 3.31 modelos de sensores inductivos comerciales.

Puesto que el sensor requiere movimiento para generar una forma de onda de salida, un método para producir una señal binaria es integrar esta forma de onda. La salida binaria se mantiene a nivel bajo en tanto que el valor integral permanezca por debajo de un umbral especificado, y luego se conmuta a nivel alto (indicando la proximidad de un objeto) cuando se supera el umbral.

3.4.5 **Sensor de Efecto Hall**

Cuando un haz de partículas cargadas atraviesa un campo magnético existen fuerzas que actúan sobre las partículas y, la trayectoria lineal del haz se deforma. Cuando una corriente fluye a través de un conductor se comporta como un haz de partículas en movimiento, por lo que al pasar por un campo magnético

esta corriente se puede desviar. Este efecto fue descubierto por Edwin Herbert Hall en 1879 y se conoce como *Efecto Hall*.

El efecto Hall relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través del material. Colocando un voltímetro entre dos puntos transversales de un cable se puede medir esa tensión. Para ello hay que hacer circular por el cable una intensidad fija y acercar un imán. Los electrones que pasan por el cable se verán desplazados hacia un lado, entonces aparece una diferencia de tensión entre los puntos transversales del cable. Al separar el imán del cable la tensión transversal desaparece.

Cuando se utilizan por sí mismos, los sensores de efecto Hall sólo pueden detectar objetos magnetizados. Sin embargo, cuando se emplean en conjunción con un imán permanente en la configuración tal como la indicada en la figura 3.32, son capaces de detectar todos los materiales ferromagnéticos. Cuando se utilizan de dicha manera, un dispositivo de efecto Hall detecta un campo magnético intenso en ausencia de un material ferromagnético en el campo cercano.

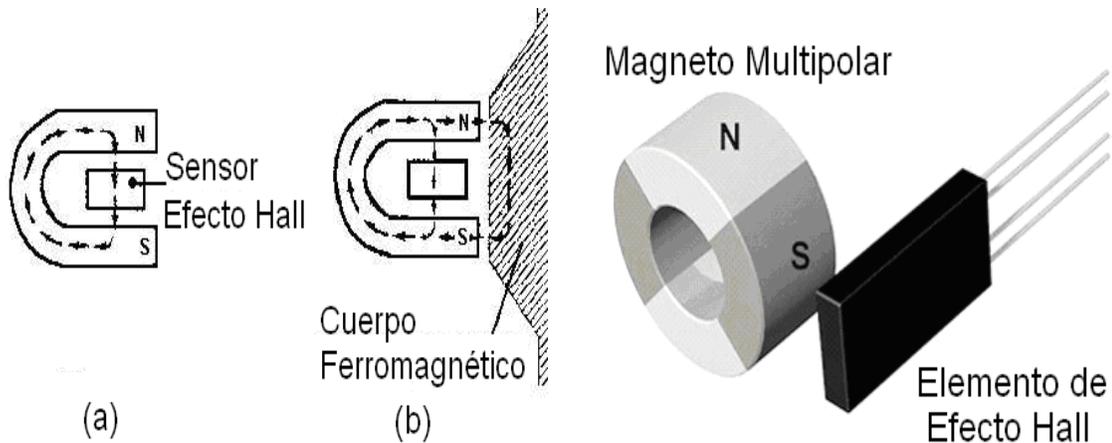


Figura 3.32 Sensor de efecto Hall en conjunción con un electroimán.

Cuando dicho material se lleva a la proximidad del dispositivo, el campo magnético se debilita en el sensor debido a la curvatura de las líneas del campo a través del material. Los sensores de efecto Hall están basados en el principio de una fuerza de Lorentz que actúa sobre una partícula cargada que se desplaza a través de un campo magnético. Esta fuerza actúa sobre un eje perpendicular al plano establecido por la dirección de movimiento de la partícula cargada y la dirección del campo. Es decir, la fuerza de Lorentz viene dada por $F = q(v \times B)$, en donde q es la carga, v es el vector de velocidad, B es el vector del campo magnético y \times indica el producto vectorial. Al llevar un material ferromagnético cerca del dispositivo de imán semiconductor disminuirá la intensidad del campo magnético, con la consiguiente reducción de la fuerza de Lorentz y finalmente, la tensión a través del semiconductor. Esta caída en la tensión es la clave para detectar la proximidad con sensores de efecto Hall. Las decisiones binarias con respecto a la presencia de un objeto se realizan estableciendo un umbral de la tensión fuera del sensor.

Los sensores de efecto Hall tienen la ventaja de funcionar como interruptores capaces de operar a una frecuencia de repetición de 100kHz, cuestan menos que los interruptores electromecánicos y no presentan los problemas relacionados con el rebote de los interruptores de contacto, necesitan, entonces, una secuencia de contactos y no sólo un contacto. El sensor de efecto Hall es inmune a los contaminantes ambientales y trabaja en condiciones de servicio severas.

Además, la utilización de materiales semiconductores permite la construcción de circuitos electrónicos para amplificación y detección directamente en el propio sensor, con lo que se reduce el tamaño y el costo del mismo.

Actualmente, los sensores de efecto Hall se suelen utilizar para detectar la posición de los árboles de levas, la velocidad del vehículo y en algunos distribuidores para determinar el momento de encendido. También pueden emplearse para determinar la posición del cigüeñal.

3.4.6 **Sensores Capacitivos**

A diferencia con los sensores inductivos y de efecto Hall que detectan solamente materiales ferromagnéticos, los sensores capacitivos son potencialmente capaces (con diversos grados de sensibilidad) de detectar todos los materiales sólidos y líquidos. Como su nombre indica, estos sensores están basados en la detección de un cambio en la capacidad inducido por una superficie que se lleva cerca del elemento sensor (figura 3.33).

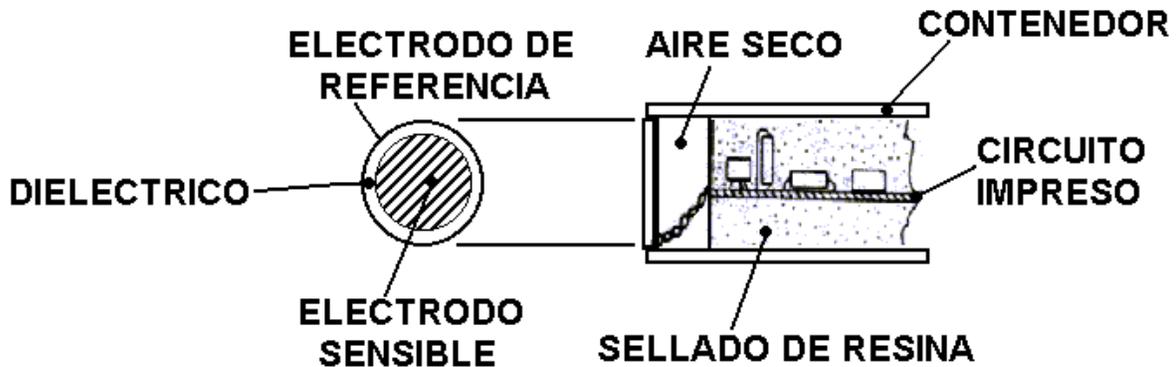


Figura 3.33 Sensor capacitivo.

El elemento sensor es un condensador constituido por un electrodo sensible y un electrodo de referencia (Figura 3.33). Estos electrodos pueden ser, por ejemplo, un disco y un anillo metálicos separados por un material dieléctrico. Una cavidad de aire seco se suele colocar detrás del elemento capacitivo para proporcionar aislamiento. El resto del sensor está constituido por circuitos electrónicos que pueden incluirse como una parte integral de la unidad, en cuyo caso suelen estar embebidos en una resina para proporcionar soporte mecánico y sellado.

Hay varios métodos electrónicos para detectar la proximidad basados en cambios de la capacidad. Uno de los más simples incluye el condensador como parte de un circuito oscilador diseñado de modo que la oscilación se inicie solamente cuando la capacidad del sensor sea superior a un valor umbral preestablecido. La iniciación de la oscilación se traduce luego en una tensión de salida, que indica la presencia de un objeto. Este método proporciona una salida binaria, cuya sensibilidad de disparo dependerá del valor umbral.

La capacidad varía como una función de la distancia para un sensor de proximidad basado en los conceptos anteriores. Es de interés destacar que la sensibilidad disminuye mucho cuando la distancia es superior a unos pocos milímetros y que la forma de la curva de respuesta depende del material objeto de detección. En condiciones normales, estos sensores son accionados en un modo binario, de modo que un cambio en la capacidad mayor que en un umbral preestablecido T indica la presencia de un objeto, mientras que los cambios por debajo del umbral indican la ausencia de un objeto con respecto a los límites de detección establecidos por el valor de T .

3.4.7 **Sensores Diversos**

La categoría de sensores diversos cubre los restantes tipos de sensores y transductores que podrían utilizarse para enclavamientos y otros fines. Esta categoría incluye dispositivos con la capacidad de detectar variables, tales como la temperatura, presión, flujo de fluido y propiedades eléctricas.

3.5 **CODIFICADORES ANGULARES DE POSICIÓN (ENCODERS)**

3.5.1 **Codificadores ópticos**

Un codificador es un dispositivo que produce una salida digital como resultado de un desplazamiento lineal o angular. Los codificadores de posición se clasifican en dos categorías: *codificadores de incremento*, los cuales detectan

cambios en la rotación a partir de una posición de datos y *codificadores absolutos*, que proporcionan la posición angular real.

Los codificadores ópticos, por ejemplo el HEDS-5000 de Hewlett Packard, vienen listos para su montaje y ejes, contienen una fuente luminosa con LED y disco de código. También existen circuitos integrados de interfaz para decodificar la salida del codificado, los cuales producen una salida binaria adecuada para usarlos en un microprocesador. En un codificador absoluto con 7 pistas en su disco codificador, cada una de ellas produce uno de los bits del número binario, por lo que existen 2^7 posiciones especificadas, es decir 128.

3.5.2 Codificadores o encoders Incrementales

Los codificadores ópticos o encoders incrementales se utilizan fundamentalmente para el cálculo de la posición angular. Constan, en su forma más simple, de un disco transparente con una serie de marcas opacas colocadas radialmente y equidistantes entre sí, de un sistema de iluminación (como un diodo LED) en el que la luz es colimada de forma adecuada, y de un elemento fotorreceptor. El eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco transparente. Con esta disposición, a medida que el eje gire se irán generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviese cada marca, y llevando una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje (figura 3.34).

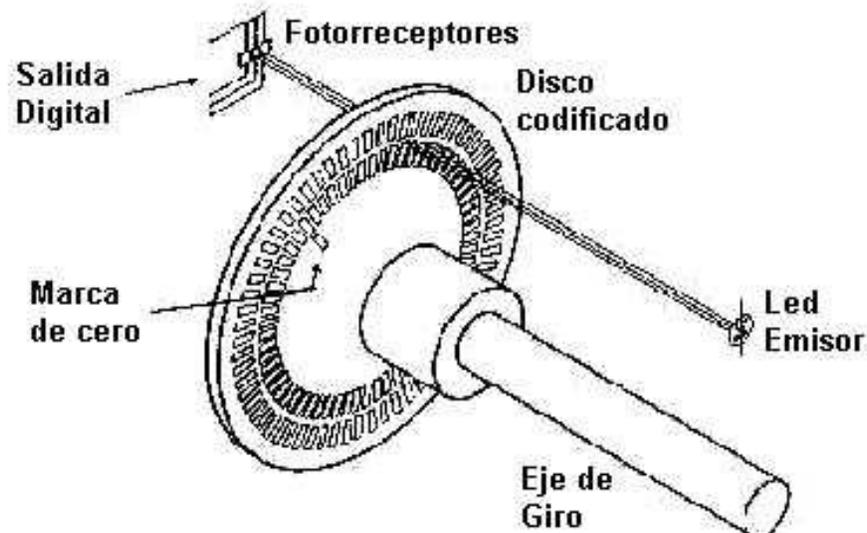


Figura 3.34 Codificador de incremento.

Sin embargo, existe el problema del desconocimiento, en un momento dado de si se está realizando un giro en un sentido o en el opuesto, pudiendo no estar contando adecuadamente. Una solución a este problema consiste en disponer de otra franja de marcas, desplazada de la anterior de manera que el tren de pulsos que con ella se genere esté desplazado 90° eléctricos con respecto al generado por la primera franja. De esta manera, con un circuito relativamente sencillo, es posible obtener una señal adicional que indique cuál es el sentido de giro y que actúe sobre el contador correspondiente indicándole que incremente o reduzca la cuenta que se está realizando. Es necesario además disponer de una marca de referencia sobre el disco que indique que se ha dado una vuelta completa y que, por tanto, se ha de empezar la cuenta de nuevo. Esta marca sirve también para poder comenzar a contar tras recuperarse de una caída de tensión.

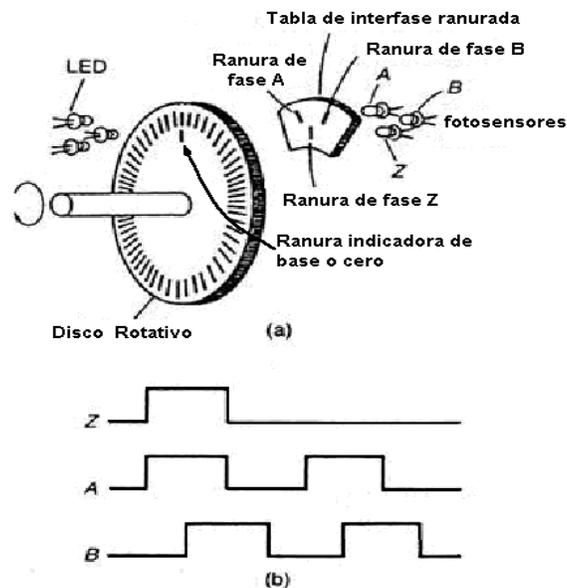


Figura 3.35 Esquema de funcionamiento del codificador angular de posición encoder a) elementos que lo constituyen, b) señales generadas

La resolución de este tipo de sensores depende directamente del número de marcas que se pueden poner físicamente en el disco. Un método relativamente sencillo para aumentar esta resolución es, no solamente contabilizar los flancos de subida de los trenes de pulsos, sino contabilizar también los de bajada, incrementando así la resolución del captador, pudiéndose llegar, con ayuda de circuitos adicionales, hasta 100.000 pulsos por vuelta.

La figura 3.36a muestra la configuración básica de un *codificador de incremento* para medir un desplazamiento angular. Un haz luminoso, al atravesar las ranuras de un disco, es detectado por un sensor de luz adecuado. Cuando el disco gira, el sensor produce una salida en forma de pulsos; la cantidad de pulsos es proporcional al ángulo que gira el disco. Así la posición

angular del disco, y por lo tanto del eje que gira con él, se determina mediante la cantidad de pulsos producidos desde una posición. En la práctica se utilizan tres pistas concéntricas con tres sensores (figura 3.36b). La pista interna solo tiene un orificio y sirve para ubicar la posición “de origen” del disco. Las otras dos pistas presentan una serie de orificios a igual distancia uno de otro y cubren toda la circunferencia del disco, solo que los orificios de la pista de en medio están separados, en relación con los de la pista externa, a la mitad del ancho de un orificio. Esta separación determina el sentido del giro. En un giro en el sentido de las manecillas del reloj los pulsos de la pista externa están adelantados en relación con los ejes de la pista interna; en un giro en sentido contrario a las manecillas del reloj, van atrasados. La resolución va definida por la cantidad de ranuras en el disco. Si durante una revolución aparecen 60 ranuras y dado que una revolución equivale a un giro de 360° la resolución correspondiente es de $360/60 = 6^\circ$.

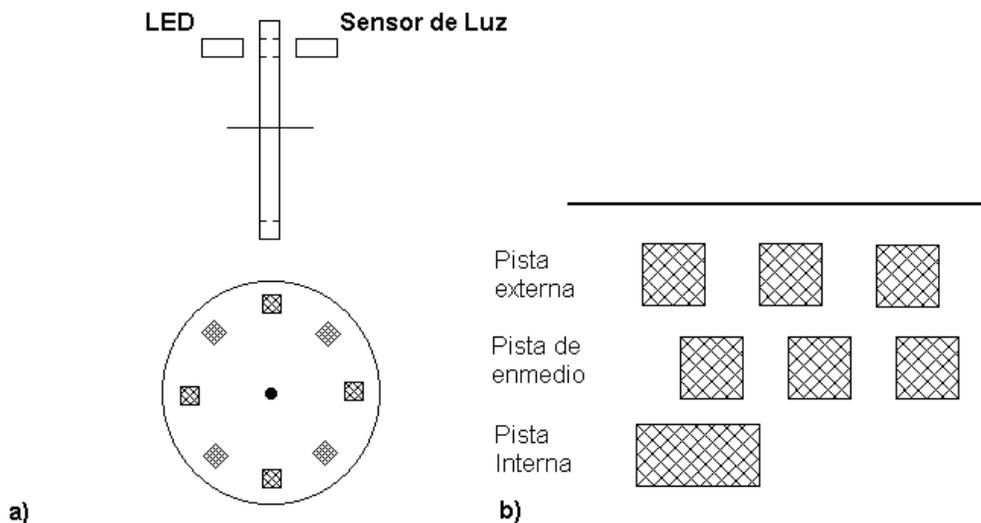


Figura 3.36 Codificador de incremento: a) principio básico, b) pistas concéntricas.

3.5.3 Codificadores o encoders Absolutos

El funcionamiento básico de los codificadores o encoders absolutos es similar al de los incrementales. Se tiene una fuente de luz con las lentes de adaptación correspondientes, un disco graduado y unos fotorreceptores. En este caso, el disco transparente se divide en un número determinado de sectores (potencia de 2), codificándose cada uno de ellos según un código binario cíclico (normalmente código de Gray) que queda representado por zonas transparentes y opacas dispuestas radialmente. No es necesario ahora ningún contador o electrónica adicional para detectar el sentido del giro, pues cada posición (sector) es codificado de forma absoluta. Su resolución es fija, y vendrá dada por el número de anillos que posea el disco graduado. Las resoluciones habituales van desde 2^8 a 2^{19} bits (desde 256 a 524288 posiciones distintas).

Normalmente los sensores de posición se acoplan al eje del motor. Considerando que en la mayor parte de los casos entre el eje del motor y el de la articulación se sitúa un reductor de relación N, cada movimiento de la articulación se verá multiplicado por N al ser medido por el sensor. Éste aumentara así su resolución, multiplicándola por N.

En algunos encoders absolutos se utiliza otro encoder absoluto más pequeño conectado por un engranaje reductor al principal, de manera que cuando éste gire una vuelta completa, el codificado adicional avanzará una posición. Son los denominados encoder absolutos multivuelta.

Esta misma circunstancia originará que en el caso de los codificadores incrementales la señal de referencia o marca de cero, sea insuficiente para detectar el punto origen para la cuenta de pulsos, pues habrá N posibles puntos de referencia para un giro completo de la articulación. Para distinguir cual de ellos es el correcto se suele utilizar un detector de presencia denominado sincronismo, acoplado directamente al eslabón del robot que se considere. Cuando se conecta el robot desde una situación de apagado, es preciso, ejecutar un procedimiento de búsqueda de referencias para los sensores (sincronizado). Durante su ejecución se leen los detectores de sincronismo que detectan la presencia o ausencia de eslabón del robot. Cuando se detecta la presencia o ausencia de pieza, o viceversa, se atiende al codificador incremental, tomándose como posición de origen la correspondiente al primer pulso de marca de cero que aquél genere. Los codificadores pueden presentar problemas mecánicos debido a la gran precisión que se debe tener en su fabricación. La contaminación ambiental puede ser una fuente de interferencias en la transmisión óptica. Son dispositivos particularmente sensibles a golpes y vibraciones, estando su margen de temperatura de trabajo limitado por la presencia de componentes electrónicos.

En la figura 3.37 se muestra la configuración básica de un *codificador absoluto* para medir desplazamientos angulares. La salida es número binario de varios dígitos que representa determinada posición angular. El disco giratorio tiene cuatro círculos concéntricos de ranuras y cuatro sensores para detectar los pulsos de luz. Las ranuras están dispuestas de manera que la salida sucesiva de los sensores es un número en código binario. Los codificadores típicos tienen hasta 10 o 12 pistas. La cantidad de bits del número binario corresponde al número de pistas. La cantidad de bits del número binario corresponde al número

de pistas. Por ello, si hay 10 pistas habrá 10 bits y la cantidad de posiciones que es posible detectar es de 2^{10} , es decir, 1024, con una resolución de $360/1024 = 0.35^\circ$.

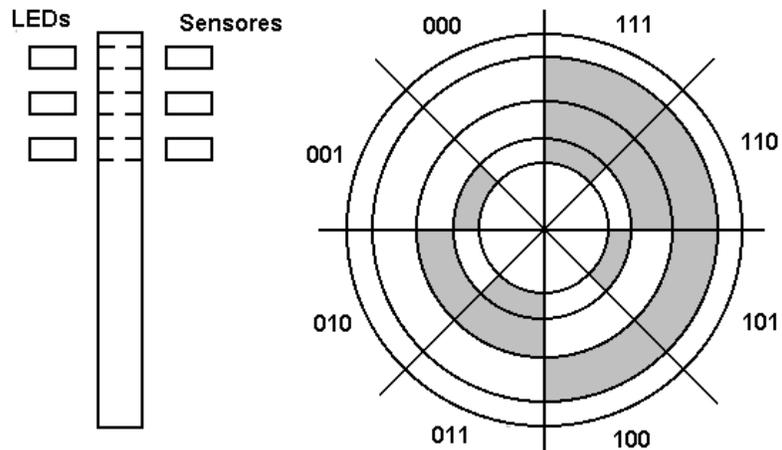


Figura 3.37 Codificador absoluto de 3 bits

	Binario normal	Código Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111

Figura 3.38 Códigos binario y Gray.

En general no se utiliza la forma normal del código binario porque al pasar de un número binario al siguiente podría cambiar más de un bit y si, por una desalineación, uno de los bits cambia en forma fraccionaria antes que otros, de momento aparecería un número binario intermedio y, al final, produciría un conteo erróneo. Para solucionar lo anterior, en general se utiliza el código Gray o código cíclico binario. Este sólo cambia un bit cuando se pasa de un número al siguiente. En la figura 3.38 se muestran la pista y sus respectivos códigos binario y Gray.

3.5.4 El tacogenerador

El tacogenerador sirve para medir la velocidad angular. Una de sus modalidades es el tacogenerador de reluctancia variable, el cuál está formado por una rueda dentada de material ferromagnético unida a un eje giratorio. En un imán permanente se enrolla un devanado de captación; conforme gira la rueda, los dientes pasan por la bobina y el volumen de aire entre bobina y material ferromagnético varía. Se tiene un circuito magnético con un espacio de aire que cambia de manera periódica. Por lo tanto, el flujo vinculado a la bobina captadora cambia. El cambio cíclico resultante en el flujo produce una FEM alterna en la bobina (figura 3.39).

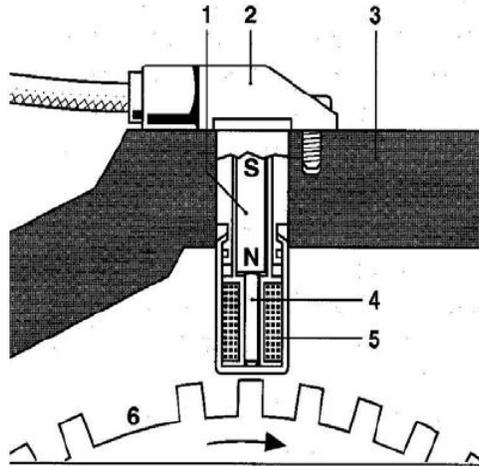


Figura 3.39 Funcionamiento de un tacogenerador.

Si la rueda contiene n dientes y gira a una velocidad angular ω , el cambio de flujo con el tiempo en la bobina (Φ) sería el siguiente:

$$\Phi = \Phi_o + \Phi_a \cos n\omega t \quad (3.7)$$

Donde Φ_o es el valor medio del flujo y Φ_a la amplitud de la variación del flujo. La fem inducida, e , en las N vueltas de la bobina captadora es, por lo tanto:

lo que también se puede expresar como:

$$e = E_{max} \sin n\omega t \quad (3.8)$$

Donde el valor máximo de la fem inducida, E_{max} , es $N\Phi_a n\omega$ y es, por lo tanto, una medida de velocidad angular.

En vez de usar el valor máximo de la fem como medida de la velocidad angular, se puede recurrir a un acondicionador de señal en forma de pulsos para transformar la salida en una secuencia de pulsos que un contador es capaz de llevar. La cantidad de pulsos contados en un cierto tiempo es una medida de la velocidad angular.

Otra modalidad del tacogenerador es el generador de CA, el cual está formado por una bobina, denominada rotor, que gira junto con un eje de rotación. Esta bobina gira en un campo magnético producido por un imán permanente estacionario o electroimán. De manera que en él se produce una fem alterna. La amplitud o frecuencia de esta fem alterna se utiliza como medida de la velocidad angular del rotor. La salida se puede rectificar para obtener un voltaje de CD cuya magnitud es proporcional a la velocidad angular. La no linealidad de estos sensores por lo general es del orden de $\pm 0.15\%$ del rango total, y sirven para medir giros de hasta 10 000 revoluciones/minuto.

3.6 **SELECCIÓN DE SENSORES.**

Al seleccionar un sensor para una aplicación en particular hay que considerar varios factores: el tipo de medición que se requiere, por ejemplo, la variable que se va a medir, su valor nominal, el rango de valores, la exactitud, velocidad de medición, confiabilidad requerida y las condiciones ambientales en las que se realizará la medición.

El tipo de salida que se requiere del sensor, lo cuál determinará las condiciones de acondicionamiento de la señal, a fin de contar con señales de salida idóneas para la medición.

Con base en lo anterior se pueden identificar algunos posibles sensores, teniendo en cuenta rango, exactitud, linealidad, velocidad de respuesta, confiabilidad, facilidad de mantenimiento, requisitos de alimentación eléctrica, solidez, disponibilidad y costo.

La elección de un sensor no se puede hacer sin considerar el tipo de salida que el sistema debe producir después de acondicionar la señal; por ello, es necesaria una integración idónea entre sensor y acondicionador de señal.

Considerando lo anterior, se llega a la conclusión de que se puede usar un sensor inductivo, ya que tienen una capacidad de respuesta, confiabilidad, disponibilidad y costo muy adecuados para implementar en el dispositivo. Existen en el mercado sensores de efecto Hall, como ya se ha mencionado, de uso automotriz, como el que se usa para determinar la velocidad de giro del cigüeñal o de las ruedas en los frenos de tipo ABS, que se instalan y controlan fácilmente con eficiencia comprobada en pruebas de campo de alto rendimiento.

Se consideró también el uso de un optoacoplador como elemento sensible de la posición angular, sin embargo, la sincronización de los elementos a controlar no implica una precisión muy alta, además de que los elementos

fotoeléctricos son dispositivos particularmente sensibles a golpes y vibraciones, estando su margen de temperatura de trabajo limitado por la presencia de componentes electrónicos reduciendo su confiabilidad, además del costo de la tecnología que si bien no varía mucho, no está tan disponible en el ramo como la del sensor de tipo inductivo.

3.7 **ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES.**

En la naturaleza, el conjunto de señales que percibimos son analógicas, así la luz, el sonido, la energía etc. son señales que tienen una variación continua. Incluso la descomposición de la luz en el arco iris se puede ver como se realiza de una forma suave y continua.

Como los ordenadores trabajan de forma discreta y no continua es necesaria la conversión de las señales analógicas en digitales y en la mayoría de los casos para su interpretación por los sentidos del hombre, la posterior conversión digital a analógica.

La digitalización consiste, básicamente. en realizar de forma periódica, medidas de la amplitud de la señal y presentarlas en formato binario. A partir de los anteriores conceptos, es necesario fijar los dos parámetros que permitan, una vez que tenemos la señal digitalizada, poderla reconstruir en analógica. Estos parámetros son:

Frecuencia de muestreo: Muestras que se toma por segundo.

Cuantificación: Precisión con que se realiza la medida.

Frecuencia de muestreo

Lo ideal es que el número de muestras sea el mayor posible, pero en aras de la eficacia, se utilizará la mínima frecuencia de muestreo, que permita reconstruir la señal original una vez digitalizada.

El *Teorema de Muestras* nos dice que; toda señal de banda limitada puede expresarse de modo único en función de sus muestras o valores puntuales a intervalos regulares T . El Valor de T es tal que $1/T$ es mayor ó igual a $2W$, siendo W la máxima frecuencia espectral de la señal.

O lo que es lo mismo, para poder reconstruir una señal analógica, se requiere que la frecuencia con que se toman las muestras sea mayor o igual que el doble de la máxima frecuencia que pueda contener la señal.

Cuantificación:

Esta relacionada directamente con el margen dinámico de la señal. Lo ideal es tener el máximo de niveles, pero esto no es posible. Lo que se hace, es fijar el número de bit que representarían el nivel máximo de la señal.

Es decir si el nivel máximo de la señal es 1 V y el número de bit es de 2, se dispone de 4 niveles diferentes para representar la señal. Esto equivale, a no conocer el valor real de la señal en las muestras que están por encima del nivel de decisión ya que se redondea al valor inmediatamente superior, en caso contrario se redondea al valor inferior.

A estos errores de precisión, se les denominan *errores de cuantificación*. A mayor número de niveles el rango de los escalones será menor y por tanto mayor la precisión.

Tanto el aumento de la frecuencia de muestreo, como el aumento de la resolución, generan una mayor fidelidad en la señal digitalizada. Aunque también, lógicamente requiere unos volúmenes mayores de almacenamiento, así como unos mayores anchos de banda en los dispositivos de almacenamiento y distribución

Como se deduce, si de manera práctica, no se puede convertir la señal de forma que cada valor analógico tenga un valor digital equivalente, se perderá información. Se puede decir por tanto que toda conversión analógica digital genera pérdidas.

La señal de salida del sensor de un sistema de medición en general se debe procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa de operación. La señal puede ser, por ejemplo, demasiado pequeña y sería necesario amplificarla. Podría contener interferencias que eliminar, ser no lineal y requerir su linealización, ser analógica y requerir su digitalización o viceversa; consistir en cambios de voltaje y convertirla en un cambio de corriente de magnitud adecuada etcétera. A todas estas modificaciones se les designa en general con el término acondicionamiento de señal. Por ejemplo, la salida de un sensor puede ser un pequeño voltaje de unos cuantos milivolts, por lo tanto es necesario utilizar un módulo acondicionador de señal para modificar dicha salida y convertirla en una señal de corriente de tamaño adecuado, contar con un medio para rechazar ruido o interferencias, lograr una linealización etcétera.

3.7.1 Interconexiones con un microprocesador

Los dispositivos de entrada y de salida están conectados con un sistema de microprocesador mediante “puertos”. El término interfaz se refiere a un elemento que se usa para interconectar diversos dispositivos y un puerto. Existen así entradas para sensores, interruptores, teclados y salidas para indicadores y actuadores. La mas sencilla de las interfaces podría ser un simple trozo de alambre. En realidad la interfaz cuenta con un acondicionamiento de señal y protección, esta última previene daños en el sistema del microprocesador. Por ejemplo, cuando es necesario proteger las entradas de voltajes excesivos o de señales de polaridad equívoca.

Los microprocesadores requieren entradas de tipo digital, por ello, cuando un sensor produce una salida analógica es necesario una conversión de señal analógica a digital. Sin embargo, muchos sensores solo producen señales muy pequeñas, a veces de unos cuantos milivots. Este tipo de señales es insuficiente para convertir de analógica a digital en forma directa, por lo que primero se debe amplificar. En las señales digitales también es necesario acondicionar la señal para mejorar su calidad. La interfaz requiere entonces varios elementos.

Hay que considerar también la salida del microprocesador, quizá para operar un actuador. Aquí también es necesaria una interfaz adecuada. Si el actuador requiere una señal analógica, la salida digital del microprocesador deberá convertirse en analógica. Podría también presentarse la necesidad de una protección para impedir que las señales que acaban de salir vuelvan a entrar al mismo puerto de salida, lo que dañaría al microprocesador.

3.7.2 Procesos del acondicionamiento de señales.

Los siguientes son algunos de los procesos que se pueden presentar en el acondicionamiento de una señal:

1. *Protección.* Para evitar daño al siguiente elemento, por ejemplo un microprocesador, como consecuencia de un voltaje o una corriente elevados. Para tal efecto, se colocan resistencias limitadoras de corriente, fusibles que se funden si la corriente es demasiado alta, circuitos para protección por polaridad etcétera.
2. *Convertir una señal en un tipo de señal adecuado.* Sería el caso cuando es necesario convertir una señal a un voltaje de corriente directa, o a una corriente alterna.
3. *Obtención del nivel adecuado de la señal.* En un sensor, la señal de salida es de unos cuantos milivots. Si la señal se va a alimentar de un convertidor analógico a uno digital para después entrar a un microprocesador, será necesario ampliarla en forma considerable, haciéndola de una magnitud de milivots a otra de volts. Aquí es común el uso de amplificadores operacionales.
4. *Eliminación o reducción del ruido o interferencias.* Para eliminar el ruido suelen utilizarse filtros.
5. *Manipulación de la señal.* Por ejemplo convertir una variable en una función lineal. Las señales que producen algunos sensores son alineales

y hay que usar un acondicionador de señal para que la misma que se alimenta, en el siguiente elemento sea lineal.

3.7.3 EL E.P.R.O.M.

Del inglés Electrical Programmable Read Only Memory (memoria de sólo lectura de programación eléctrica), son chips que permiten almacenar desde unos pocos bits hasta millones de ellos en pequeñas células transistorizadas. La información permanece inalterable indefinidamente y sólo permiten el borrado completo realizado mediante luz UV. Existen también de borrado eléctrico (figura 3.40).

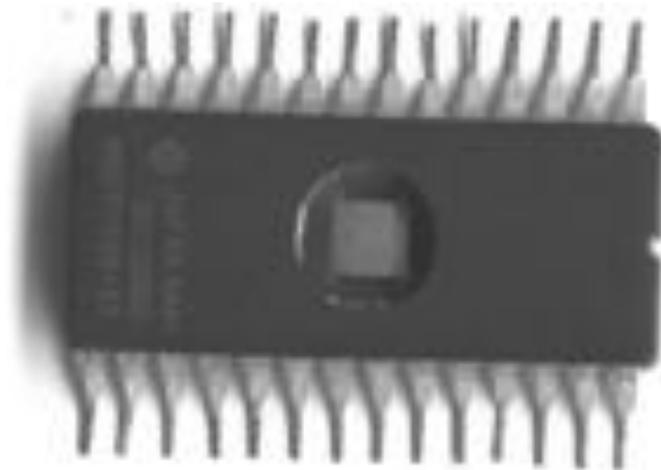


Figura 3.40 Chip programable del tipo EPROM. Aspecto físico.

3.7.4 EL U.C.E.

Unidad de Control Electrónico del motor. Es un sistema microprocesador con una memoria de programa y con unos interfaces para los distintos sensores del vehículo (temperatura, velocidad, presión, etc.) Según normativa vigente debe incorporar un sistema a través de interfaz para poder monitorear el estado del vehículo, es el conjunto de instrucciones OBD (Operative Binary and Digital) (figura 3.41).

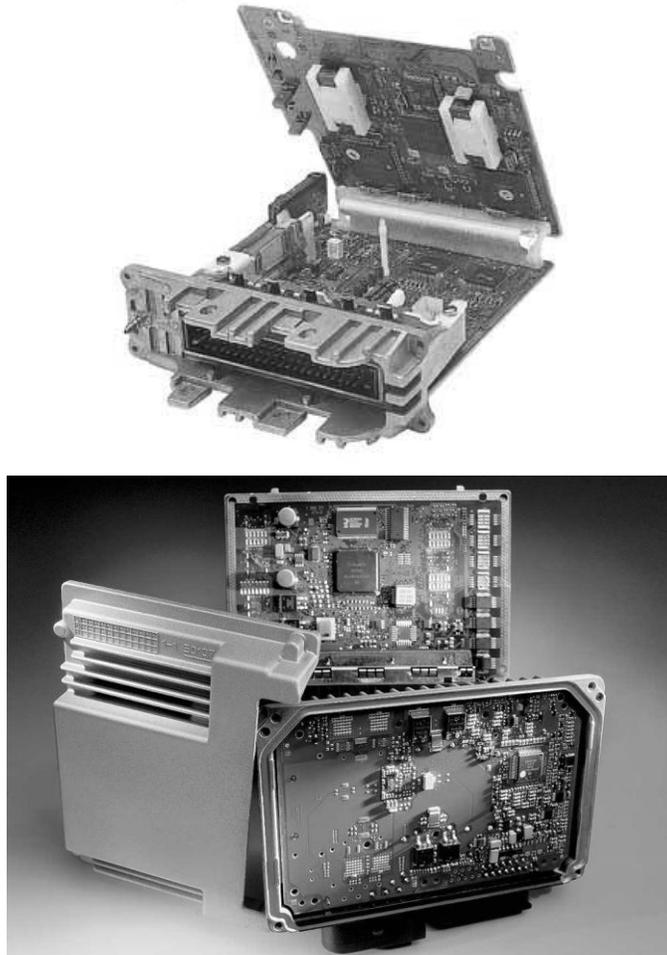


Figura 3.41 Aspecto físico de una unidad de control electrónico de motor.

3.7.4.1 Arquitectura de la U.C.E.

La UCE contiene, básicamente: un conformador de pulsos, un convertidor analógico digital, un bus digital de transmisión y un microordenador, que se compone de una unidad aritmético/lógica (ALU) de funcionamiento digital, tal y como se muestra en la figura 3.42.

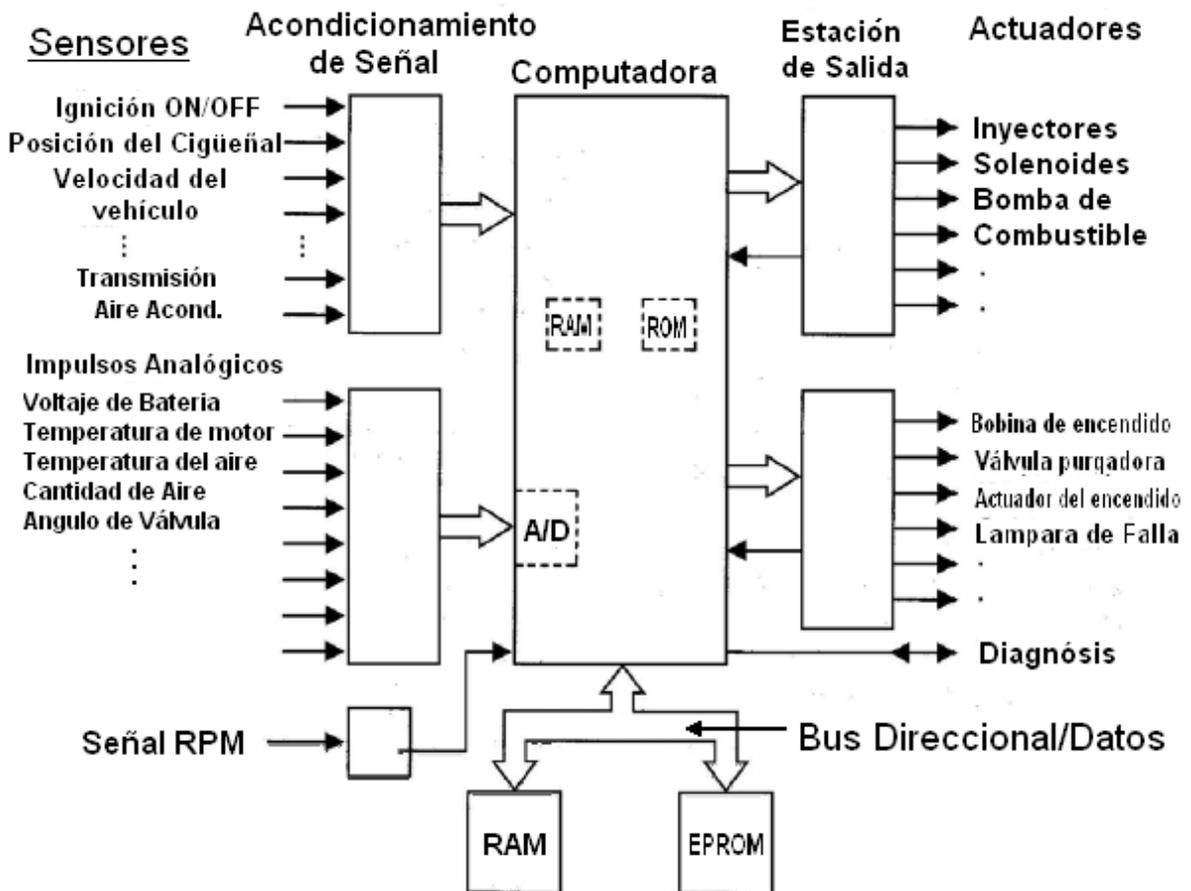


Figura 3.42 Arquitectura de la gestión electrónica del sistema de inyección modelo Motronic, de la casa alemana Bosch.

3.7.4.2 Conformador de impulsos.

Actúa para recibir los impulsos de tensión de los órganos de información. Estos impulsos son modificados en magnitud y en forma para dejarlos en condiciones que puedan ser procesados por el *microordenador*. Una vez hechas estas transformaciones pasan al circuito de entrada-salida.

3.7.4.3 Convertidor Analógico Digital.

Es el encargado de recibir las señales que se producen por variaciones de tensión y que corresponden al resto de la información producida por los sensores. Sin embargo, estas variaciones de tensión, que podrían ser procesadas de una manera analógica, son convertidas en señales digitales.

Desde las etapas de entrada, la información, ya preparada, pasa al interior del microordenador a través de su conducto entrada-salida. Desde este punto los datos redistribuyen según su frecuencia a través del intercambiador de datos que los transporta al *Bus*. El Bus está formado por un conjunto de líneas de transmisión que permiten el acceso a todas las unidades preparadas para la recepción. Son pues, las vías a través de las cuales se alimenta de información cada una de las unidades integradas fundamentales de la UCE. Estas unidades fundamentales son:

3.7.4.4 Microprocesador

Es la Unidad Central de Proceso (CPU) y contiene en su interior tres dispositivos fundamentales que son:

La Unidad Lógica de Cálculo (ALU). Realiza las operaciones aritméticas y las operaciones lógicas. Los programas y datos que precisa los obtiene de la memoria ROM, mientras los datos que ha de procesar le vienen de la memoria RAM que almacena los datos suministrados por los sensores.

El Acumulador. Es una memoria intermedia que le permite a la ALU guardar datos mientras trabaja con otros que tendrá relación con lo que está procesando.

La Unidad de Control. Es el elemento activo que solicita los datos, controla las entradas, las salidas y el desarrollo de las operaciones.

Memoria ROM. Como en todos los ordenadores, la memoria ROM mantiene grabados los programas contados los datos, cartografías, valores teóricos, etc. con los que ha de funcionar el sistema. Esta memoria regularmente no puede borrarse.

Memoria RAM. Es memoria de acceso aleatorio en la que se acumulan los datos de funcionamiento. Aquí están almacenados los datos que

proporcionan los sensores hasta el momento en que son requeridos por la CPU, en cuyo momento son sobregrabados con los nuevos datos que se reciben de los sensores. Este trabajo se efectúa de manera constante durante el funcionamiento de la UCE, y todo se borrará al desconectar la instalación.

Finalmente los datos elaborados se envían al exterior a través de las etapas de salida, que envían señales eléctricas elaboradas a los actuadores físicos (electrobomba, bobina de encendido, inyectores, solenoides, etc.).

CAPÍTULO IV

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES.



4.1 **PROCESO DE DISEÑO**

El campo de diseño en Ingeniería es muy extenso, quizá tanto como lo sea la imaginación humana, de tal suerte que se abarca el estudio de materiales, mecanismos, comportamientos bajo condiciones especiales, fenómenos físicos, etc., además de que se debe enfocar todo en una misma dirección para satisfacer alguna necesidad humana. Para esto también el diseñador usa toda la información y el conocimiento que posee para poder llegar a algo definido, procurando llevar un procedimiento lógico - científico que facilite el camino hacia el objetivo.

En el desarrollo del presente trabajo se han seguido los siguientes pasos; se tiene el conocimiento de la existencia de motores de combustión interna que se utilizan principalmente para el transporte de personas a grandes distancias en poco tiempo. Posteriormente se busca información acerca del funcionamiento de este tipo de máquinas, como el análisis de sus componentes más elementales y el ciclo Otto, una vez que se ha comprendido el funcionamiento de esta clase de mecanismos, se concluye que para poder mejorar la potencia de un motor, sin alterar sus propiedades físicas o químicas, se puede enriquecer la mezcla que participa en la combustión. Entonces, para poder tener una mezcla más rica se deben optimizar los tiempos de entrada de combustible y salida de desperdicios para que la carrera de potencia sea mayor, obteniendo así un motor más eficiente.

Existen diversos tipos de mecanismos que se pueden aplicar a un solo diseño, algunos más eficientes que otros aparentemente, pero un análisis de

factibilidad puede descartar fácilmente a gran parte de estos. Este análisis puede incluir facilidad de elaboración y manufactura del mecanismo, sencillez de instalación y mantenimiento, estudio de materiales, eficiencia, etc.

El desarrollo de un proyecto de diseño puede proceder aún más técnicamente aún en el ámbito laboral. A continuación se enumera una lista con una recomendación de pasos a seguir en cualquier proceso de diseño:

Etapa 1A: Confrontación: La confrontación no es un mero enunciado del problema, sino más bien el encuentro del ingeniero con una necesidad de actuar. Usualmente contiene poca información y demanda a menudo más conocimientos básicos y experiencia que las que tiene el ingeniero en ese momento. Además, la necesidad real puede no ser obvia en el primer encuentro con una situación indeseable. En este caso la confrontación al problema es la necesidad de mejorar un motor de combustión interna para elevar su eficiencia

Etapa 1B: Fuentes de información. Las fuentes de información disponibles para el ingeniero abarcan todo el conocimiento humano. Tal vez la mejor fuente sean otras personas en campos relacionados. La información proveniente de bases de datos es una útil ayuda por parte de las computadoras en esta etapa. Los catálogos de partes e información de diseño pueden obtenerse fácilmente en la computadora como parte de sistemas expertos. Las fuentes de información utilizadas aquí son principalmente libros, manuales y conocimientos prácticos de mecánica automotriz, así como la consulta a gente relacionada en el medio.

Etapa 2A: Formulación del problema. Como la confrontación suele ser muy indefinida, el ingeniero debe aclarar el problema que debe resolverse: Es necesario averiguar la necesidad real y definirla en términos cuantitativos concretos adecuados a la acción de ingeniería. La necesidad real de crear un dispositivo electrónico para la mejora de un motor de combustión interna es la de tener un elemento de transporte óptimo. Para definirla en términos cuantitativos y concretos se realizan cálculos adecuados para el eficaz funcionamiento del dispositivo en operación.

Etapa 2B: Preparación de la información e hipótesis. De la vasta variedad de información, el diseñador debe seleccionar las áreas aplicables, incluido el conocimiento teórico y empírico, donde falte información, suplir la carencia con hipótesis de ingeniería razonables.

Etapa 3: Generación y selección de los conceptos de diseño. Aquí, los conceptos básicos desarrollados por la preparación anterior son aplicados al problema como fue justamente formulado y todos los conceptos de diseño concebibles son preparados en esqueleto en forma esquemática, apoyándose cuanto sea posible en campos relacionados.

Etapa 4: Síntesis. El concepto seleccionado de diseño es un esqueleto. Se debe imprimirle sustancia: llenar los espacios en blanco con parámetros concretos con el uso de métodos de diseño sistemáticos, guiados por la intuición. La intuición guiada por la experiencia es el procedimiento tradicional. El presente trabajo es una síntesis de lo investigado, procurando llevar una secuencia tal, que cubra todos los posibles elementos de alcance.

Etapa 5: Modelo analizable. Aún el sistema o componente físico más simple es usualmente demasiado complejo para ser directamente analizable. Este debe representarse por un modelo susceptible de evaluación analítica o empírica. Al abstraer tal modelo, el ingeniero debe tratar de presentar tantas características significativas del sistema real como sean posibles, en proporción con el tiempo y con los métodos y medios de análisis o técnicas experimentales disponibles. Entre los modelos típicos se cuentan: versiones físicas simplificadas, analogías electromecánicas, modelos basados en equivalencia adimensional, modelos matemáticos, diagramas de cuerpo libre y diagramas cinemáticos esqueléticos. La presentación física de un dispositivo electromecánico en el motor de combustión no se realiza en el presente trabajo, dejando los modelos y diseños lo más específicos posibles para su posterior análisis y construcción.

Etapa 6: Experimento, análisis, optimización. El objetivo aquí es determinar y mejorar el desempeño esperado del diseño propuesto. La experimentación, el análisis y la optimización forman una etapa de circuito cerrado en el proceso de diseño. El circuito mismo tiene que ser interactivo y los resultados pueden dar lugar a retroalimentaciones e iteraciones que impliquen cualquiera o todas las etapas previas, incluyendo un posible cambio a otro concepto de diseño.

Etapa 7: Presentación. Ningún diseño puede considerarse completo hasta que ha sido presentado a dos grupos de personas (y aceptado por ellos)

- a) Quienes van a hacer uso de él, y
- b) Quienes van a fabricarlo.

La presentación del ingeniero debe entonces ser comprensible para los posibles usuarios, y contener todos los detalles necesarios para permitir la manufactura, y realizar un prototipo por el fabricante que se interese en el proyecto y poder registrar la mejora en la dependencia correspondiente. La preparación de documentos como planos, versiones en perspectiva, modelos y animación del sistema físico son ayudas útiles en esta etapa final.

Iteraciones. Está claro que el diseño creativo no es un esfuerzo en una sola dirección y de un solo paso, a menudo debe uno regresar sobre sus propios pasos: retroalimentaciones e iteraciones pueden ocurrir en cualquier etapa. Si en la etapa de análisis se descubren respuestas no deseadas y una síntesis no puede corregirlas, tal vez convenga elaborar un nuevo concepto. Si no puede generarse ningún concepto adecuado, tal vez el problema tenga que ser redefinido. El diseñador no debe desanimarse frente a esas dificultades sino considerarlas mas bien como oportunidades para crear diseños superiores con base a una mejor información. Las estructuras de datos bien pensadas permiten guardar numerosos diseños potenciales que más tarde pueden ser de utilidad.

En capítulos anteriores se han analizado diversos elementos posibles para el uso de un sistema de accionamiento de electroválvulas, como los electroimanes, los sensores y sus modos de uso. Ahora ya solo queda diseñar el mecanismo basándose en las mejores opciones que se presenten.

En la actualidad, existen motores de combustión interna que utilizan inyectores electromecánicos para proveerlos de combustible para funcionar (fig 4.1). Del mismo modo, se ha tomado una idea probada en campo que ha funcionado, para aplicar una mejora a los motores de combustión interna.



Figura 4.1 Inyector de gasolina.

4.2 DISEÑO DE ELECTROVÁLVULAS CON FORMA DE CILINDRO

4.2.1 Características

El diseño en este tipo de sistema consiste en crear un tipo de válvula que controle la entrada y salida de combustible en motores de combustión interna con un dispositivo de diseño distinto a lo convencional, innovador, procurando su eficacia óptima tanto en desempeño como en su elaboración.

Se tomará como base un motor monocilíndrico de cuatro tiempos (figura 4.2) en el cual se puede apreciar con relativa sencillez el proceso del ciclo Otto, por lo que se puede suponer que si es confiable para un solo cilindro, podrá ser

aplicado a un número mayor de ellos. Esta suposición es aplicable para todos los diseños que el presente trabajo tiene para su análisis.

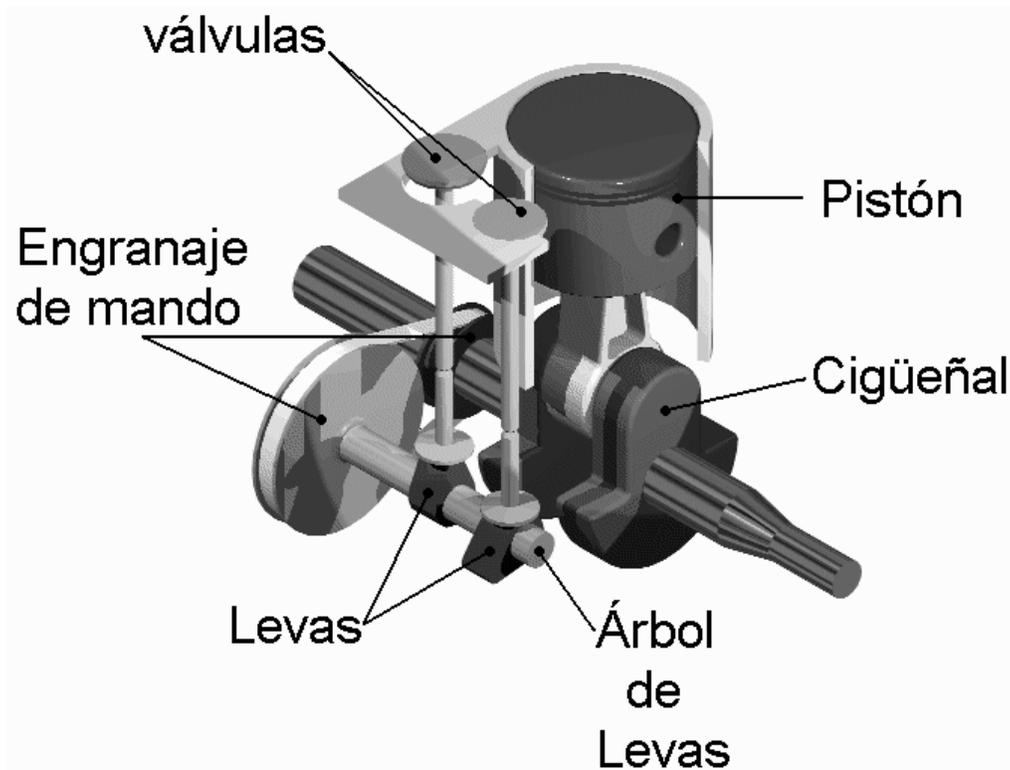
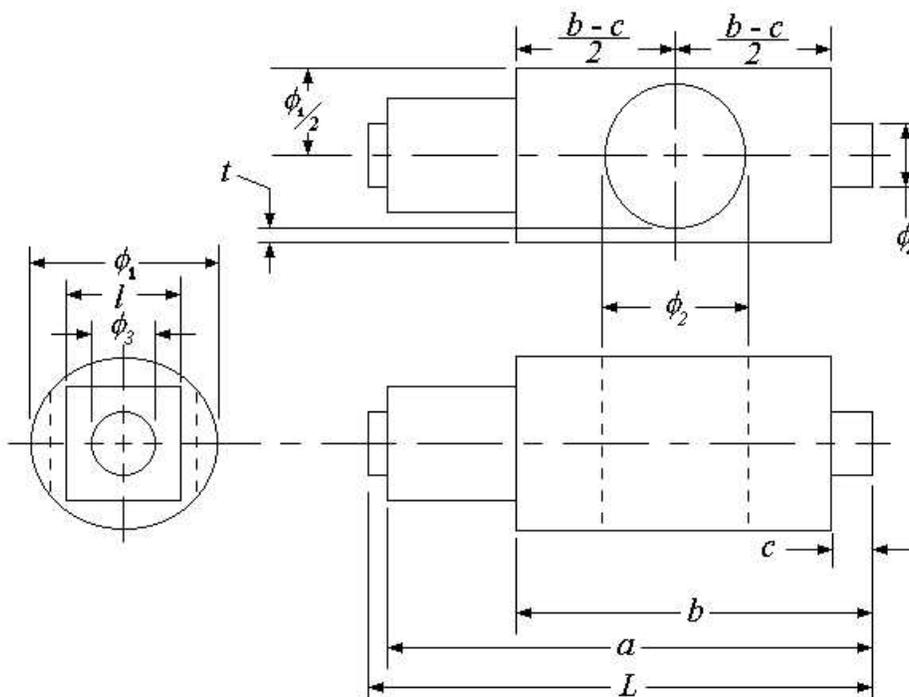


Figura 4.2 Motor monocilíndrico.

El diseño de electroválvulas cilíndricas puede explicarse de la siguiente manera; consiste en controlar el paso de combustible con un cilindro de metal con un orificio transversal, este último del tamaño de la entrada o salida del conducto a controlar. El cilindro es controlado por una extensión cuadrada del mismo pero de menor diámetro, a modo de armadura o rotor como de los usados en motores eléctricos. Esta armadura interactúa a su vez con un estator que contiene un campo generador de campo controlado por un sensor que le da la señal de actuación. (Figura 4.3 y 4.4)

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

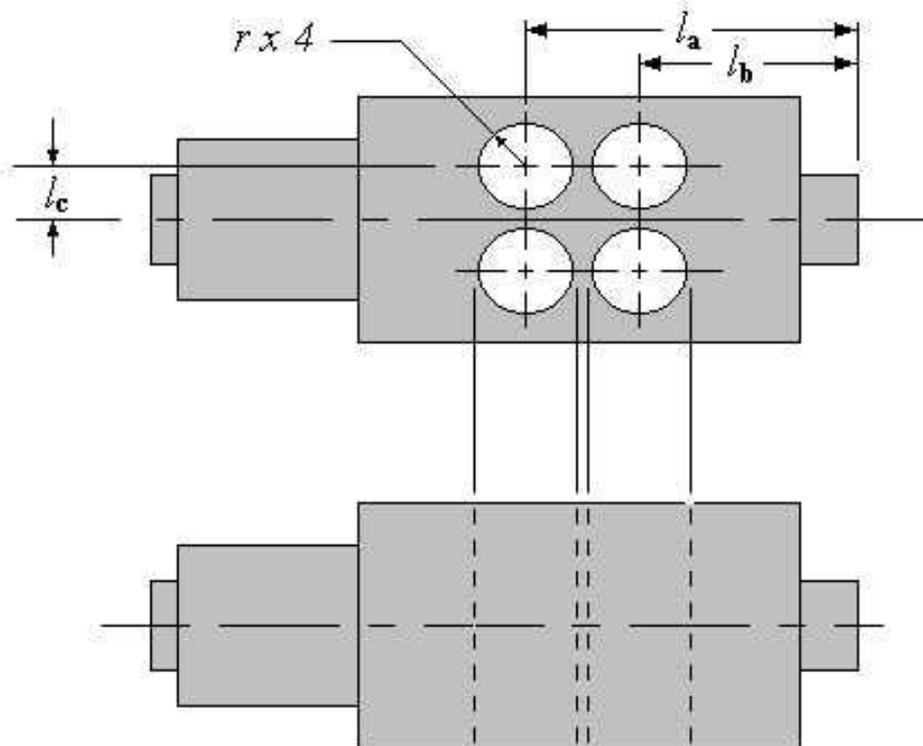
Cuando el sensor le indica, el campo genera una corriente que hace girar al cilindro 90° permitiendo la comunicación en los conductos de entrada o salida. Cuando el sensor no manda señal, el cilindro vuelve a su posición original con un muelle o resorte de torsión helicoidal enrollado en el rotor. Todo el mecanismo se encuentra ubicado en la culata, a la altura del contacto con el monoblock, dejando el sistema eléctrico fuera para facilitar su instalación y mantenimiento.



- ϕ_1 = Diámetro total de válvula.
- ϕ_2 = Diámetro de entrada o salida de conductos.
- ϕ_3 = Diámetro de entrada de rodamiento.
- ϕ_4 = ϕ_3 .
- L = Longitud total del dispositivo.
- c = Diámetro de entrada de rodamiento.
- l = Longitud de lado de cuadrado.
- t = Tolerancia de pared.

Figura 4.3 Diseño de válvula con forma cilíndrica.

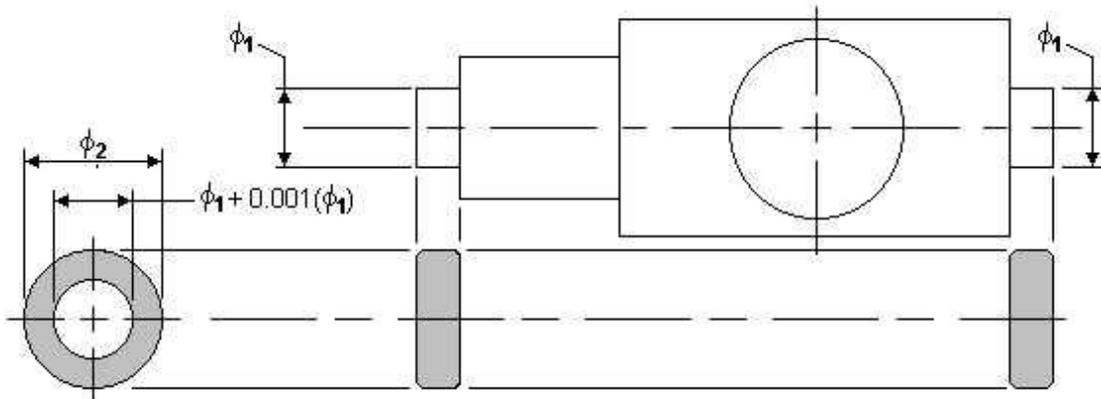
HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES



- r = Radio de cada una de las entradas. Se proponen cuatro entradas, pero el número puede variar.
- l_a = Distancia de la parte anterior del dispositivo al centro de la primera entrada.
- l_b = Distancia de la parte anterior del dispositivo al centro de la segunda entrada.
- l_c = Distancia desde el centro de cualquier entrada al centro del dispositivo.

Figura 4.4 Diseño alternativo de válvula cilíndrica con entrada múltiple para absorción de impacto.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES



- ϕ_1 = Diámetro del dispositivo para entrada del buje.
- ϕ_2 = Diámetro exterior del buje.
- $\phi_1 + 0.001(\phi_1)$ = Diámetro interior del buje con tolerancia.

Figura 4.5 Bujes o rodamientos para válvula cilíndrica.

El material con que se van a fabricar los bujes o rodamientos (figura 4.5) ha de tener, entre otras, las siguientes propiedades:

- **Resistencia a la Fatiga**, o la aptitud de soportar cargas repetitivas.
- **Incrustabilidad**, o la capacidad de absorción de películas extrañas o suciedad.
- **Resistencia a la temperatura**, capacidad de mantener su dureza aun cuando su temperatura de funcionamiento sea elevada.
- **Resistencia a la corrosión**, Para poder evitar los ataques de productos corrosivos, como los formados por la descomposición de aceites malos a altas temperaturas.

No es posible encontrar un material que reúna todas las características a la vez, ya que algunas de ellas son opuestas. Por ejemplo, un material no puede ser a la vez duro para soportar altas cargas de trabajo y blando para poder absorber partículas de suciedad. Por eso, algunas veces los rodamientos se fabrican por capas de distintos materiales.

El resorte para hacer regresar el dispositivo a su posición original una vez que el sensor ha dejado de enviar la señal de activación es del tipo de resorte de torsión, o de potencia (figura 4.6). Como su nombre lo indica, un resorte de torsión se utiliza para aplicar un torque conforme el resorte se deflexiona al girar alrededor de su eje. Las fuerzas de empuje o de tracción pueden ejercerse mediante resortes de torsión conectando sus extremos a la pieza que debe actuar.

Virtualmente cualquier material elástico puede utilizarse para fabricar un resorte. No obstante en la mayor parte de las aplicaciones mecánicas se emplea alambre metálico, ya sea acero al alto carbón (el más común) o acero con aleación acero inoxidable, latón, bronce, cobre con berilio o aleaciones con base de níquel. Casi todos los materiales para fabricar resortes se fabrican de conformidad con las especificaciones de la ASTM. La tabla 4-1 presenta algunos de los usos más comunes.

La tensión permisible que puede utilizarse en un resorte depende del tipo de carga, del material con que se fabrique y del tamaño del alambre. Por lo regular, la carga se clasifica en tres tipos:

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

- Servicio ligero: cargas estáticas hasta de 10,000 ciclos de carga con una tasa baja de carga (sin impacto)
- Servicio promedio: situaciones de diseño típicas para maquinaria; tasa de carga moderada y hasta un millón de ciclos.
- Servicio severo: ciclaje rápido para más de un millón de ciclos; posibilidad de carga por impacto o choque; los resortes para válvulas de motores son un buen ejemplo.

Existen materiales que en temperaturas altas se vuelven dúctiles o frágiles, por lo que también se deben considerar los rangos de temperatura en los que puede trabajar el material del resorte sin que afecten considerablemente su vida útil.

La resistencia para un material particular es mayor para tamaños más pequeños. La válvula necesita un control para servicio severo, las características del resorte para el dispositivo se muestran en la figura 4.6.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

Tipo de material	No. ASTM	Costo relativo	Límites de temperatura
Aceros al alto carbón			
Extruido en frío	A227	1.0	0-250
Acero para uso general con 0.60% a 0.70% de carbón; bajo costo			
<i>Alambre para instrumentos musicales</i>	A228	1.0	0-250
Acero de alta calidad con 0.80% a 0.95% de carbón; muy alta resistencia; excelente acabado superficial; extruido duro; buen rendimiento en cuanto a fatiga; se usa sobre todo en tamaños pequeños de hasta 0.125"			
<i>Templado en aceite</i>	A229	1.3	0-350
Acero de uso general con 0.60% a 0.70% de carbón; se utiliza sobre todo en tamaños grandes por arriba de 0.125"; no es bueno para choque o impacto.			
<i>Aceros con aleación: Cromo y Vanadio</i>	A231	3.1	0-425
Buena resistencia, resistencia a la fatiga, resistencia al impacto, rendimiento de alta temperatura: calidad de resortes para válvulas.			
<i>Cromo y Silicio</i>	A401	4.0	0-475
Muy alta resistencia y buena resistencia a la fatiga y al choque.			
<i>Aceros Inoxidables Tipo 302</i>	A313 (302)	7.6	< 0-550
Muy buena resistencia a la corrosión y rendimiento a alta temperatura; casi magnético; extruido en frío; los tipos 304 y 316 también caen en esa categoría ASTM; tienen mayor susceptibilidad para ser trabajados pero su resistencia es más baja.			
<i>Tipo 17-7 PH</i>	A313 (631)	11.0	0-600
Buen rendimiento a altas temperaturas			
Aleaciones de Cobre			
Todos tienen una buena resistencia a la corrosión y conductividad eléctrica.			
Latón para resortes	B314	Alto	0-150
Bronce con fósforo	B159	8.0	< 0-212
Cobre con Berilio	B197	27.0	0-300
Aleaciones con base de Níquel			
Todas son resistentes a la corrosión, tienen buenas propiedades de alta y baja temperatura, son amagnéticos o casi magnéticos (marcas comerciales de la International Nickel Company)			
Monel	-	-	(-100-425)
K-Monel	-	-	(-100-450)
Inconel	-	-	arriba de 700
Inconel-X	-	44.0	arriba de 850

Tabla 4-1 Materiales para resortes.

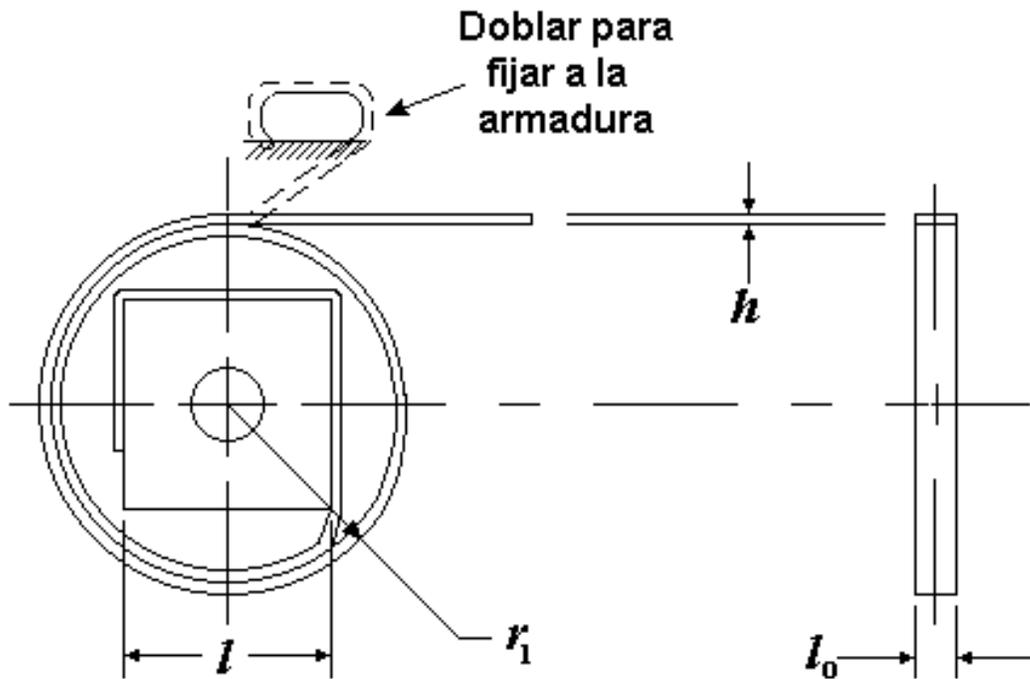
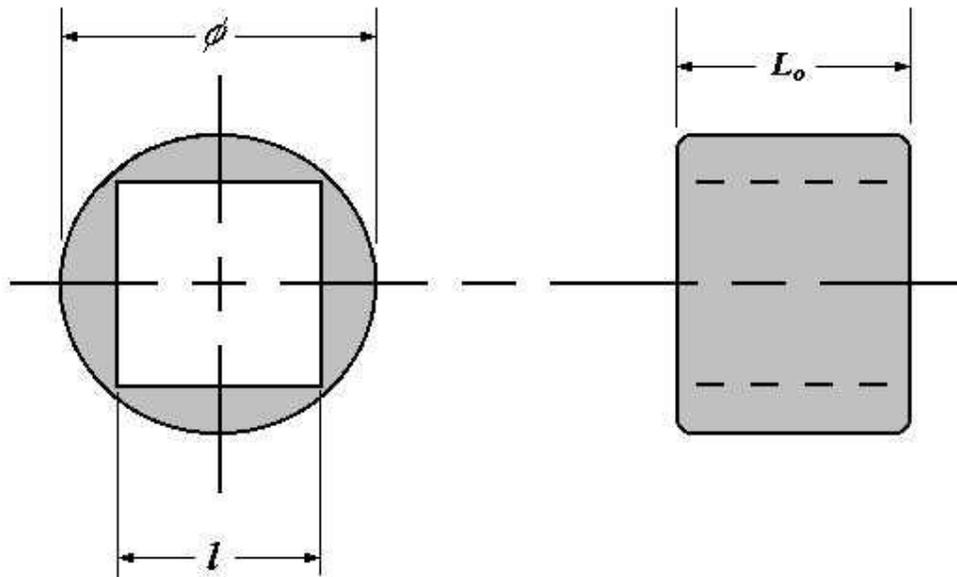


Figura 4.6 Muelle de fuerza constante para retorno de válvula cilíndrica.

El sistema de actuación eléctrica en el dispositivo de válvula cilíndrica puede analizarse haciendo una analogía con los motores eléctricos, ya que la fuerza que se requiere es de un par de torsión que haga girar la válvula 90 grados, y un mecanismo similar a un motor eléctrico es el dispositivo más común para generar una fuerza de este tipo en el sentido que se necesita.

Una imagen básica para observar las necesidades de acoplamiento es la que se muestra en la figura 4.7, donde se puede apreciar que el eje es cuadrado para evitar el deslizamiento del embobinado y mayor agarre superficial.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES



- ϕ = Diámetro de embobinado.
 l = Longitud de lado de cuadrado.
 L_o = Profundidad de embobinado.

Figura 4.7 Esquema de embobinado en forma de anillo para montarse en la parte cuadrada de la válvula cilíndrica.

Un motor de DC típico normalmente consiste de: armadura, un hueco aéreo, polos, apoyos y un yugo que forman la estructura principal que proporcionan el apoyo mecánico de un embobinado fijo, cepillo y un conmutador que forman el circuito eléctrico. Lo anterior puede verse en la figura 4.8.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

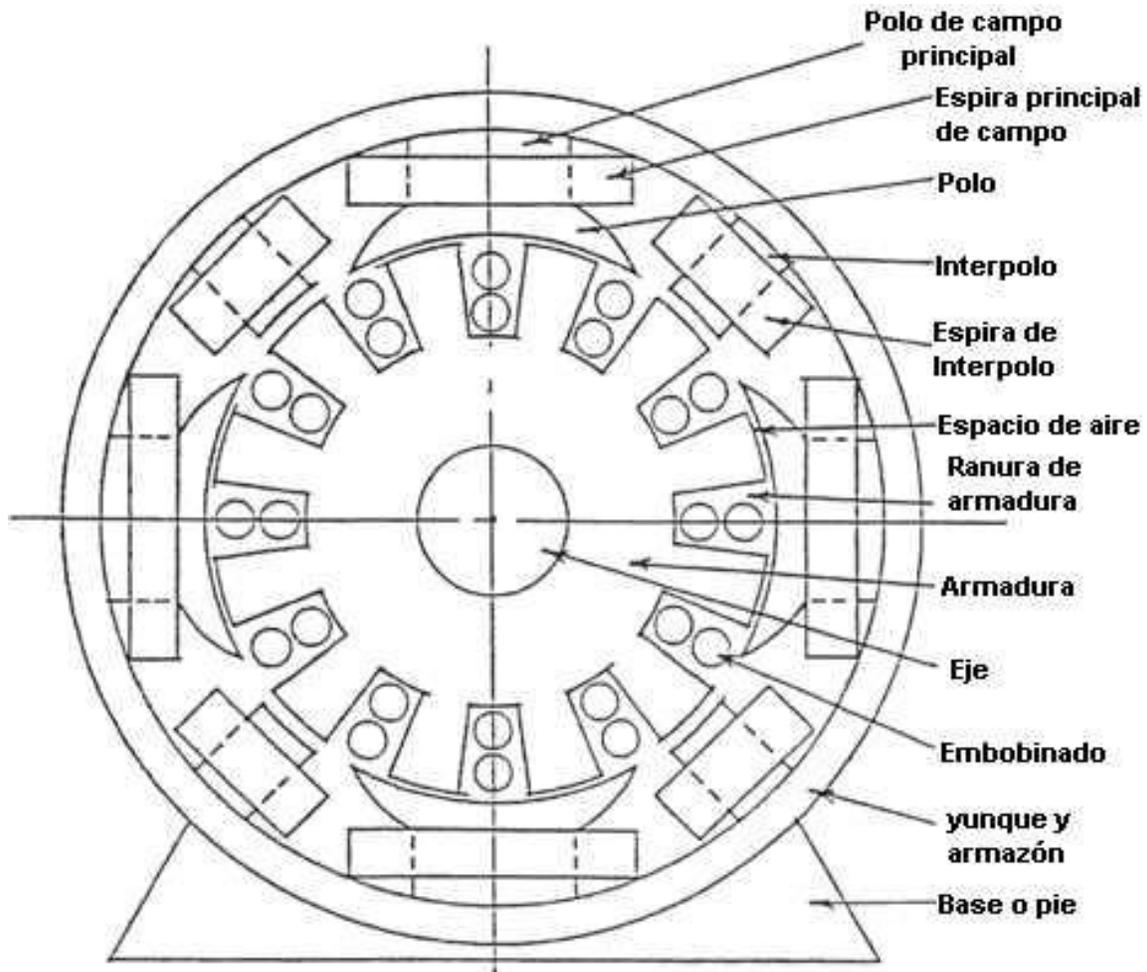


Figura 4.8 Partes principales de un motor de CD.

El dispositivo tiene dos partes eléctricas básicas: un "estator" y un "rotor" como se muestra en la figura 4.8. El estator es el componente eléctrico estacionario. Consiste en un grupo de electroimanes individuales colocados de tal manera que forman un cilindro, con un polo de cada imán que enfrenta hacia el centro del grupo. El término "estator" se deriva de la palabra estacionario. El estator es entonces la parte estacionaria del dispositivo. El rotor es el componente eléctrico giratorio. También consiste en un grupo de electroimanes

colocados alrededor de un cilindro, con los polos que enfrentan hacia los polos del estator. El rotor, obviamente, se localiza dentro del estator y está montado en el eje de la válvula. El término "rotor" se deriva de la palabra girar. El rotor (figura 4.9) es entonces la parte giratoria del motor. El objetivo de estos componentes del dispositivo es hacer girar el rotor, que a su vez hará girar el eje de la válvula. Esta rotación ocurrirá debido al fenómeno de magnetismo; los polos magnéticos diferentes se atraen y los polos iguales se rechazan.

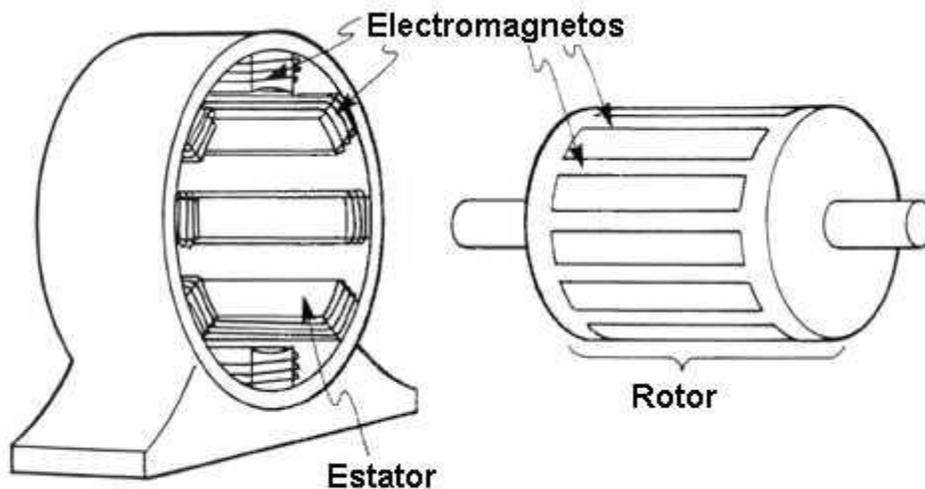


Figura 4.9 Estator y Rotor

El embobinado en la posición AB, en la figura 4.10, adjunta la cantidad máxima de flujo. El flujo disminuye como los movimientos del embobinado hacia la posición CD y se vuelve a cero en CD, desde arriba del embobinado es paralelo al campo magnético. Entonces el flujo aumenta en la dirección opuesta, mientras que alcanza un máximo negativo a BA y disminuye para poner a cero a DC de nuevo. El flujo se invierte y aumenta de nuevo en la dirección original

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

para alcanzar un máximo a AB. La fem depende en la proporción de cambio de flujo o la proporción de corte de las líneas de flujo.

Si el embobinado en la figura 4.10 se girara a una velocidad constante en un campo magnético uniforme, se obtendría una gráfica senoidal de voltaje. Esto se muestra en la figura 4.11 donde la cantidad de flujo y la fem inducida se trazan contra el tiempo.

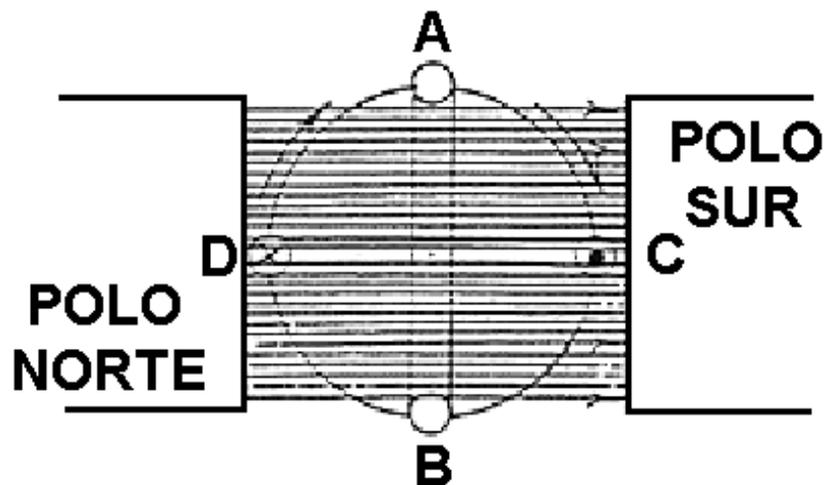


Figura 4.10 Embobinado rotativo en un campo magnético

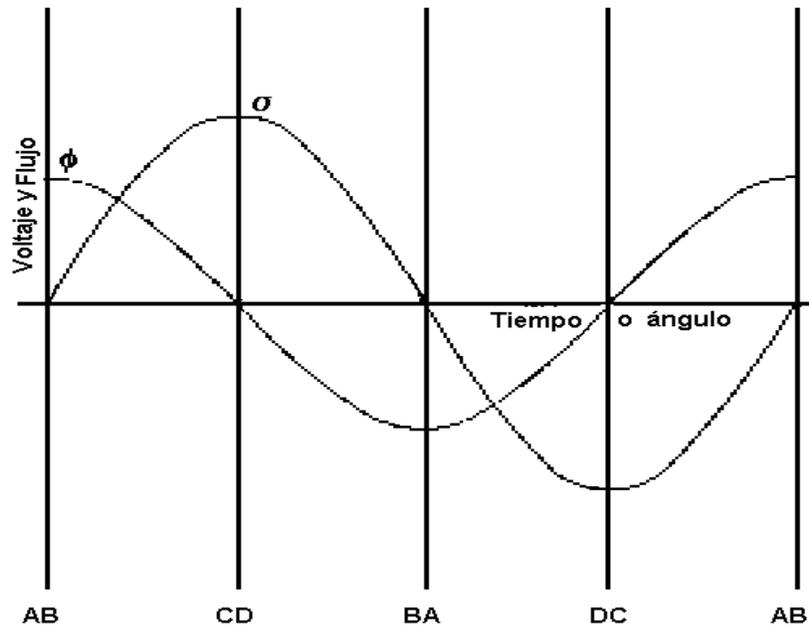


Figura 4.11 Onda senoidal de voltaje producida por la rotación de un embobinado a velocidad constante en un campo magnético uniforme.

El principio básico de todos los motores que usan dos electroimanes y un imán permanente se puede mostrar fácilmente. La corriente pasa a través del embobinado No. 1 en dirección norte y a través del embobinado No. 2 en dirección polo sur. Un imán permanente con un polo norte y un polo sur es la parte móvil de este motor simple. En la Figura 4.12 por ejemplo, el polo norte del imán permanente está opuesto el polo norte del electroimán. Semejantemente, los polos sures están en situación opuesta. Como los polos magnéticos se rechazan, el imán permanente móvil empieza a moverse. Después de que se da la vuelta, la fuerza de atracción entre los polos diferentes se vuelve bastante fuerte para seguir girando los imanes permanentes. El imán continúa girando volviéndose hasta que los polos diferentes coincidan. A estas alturas el rotor normalmente se detendría debido a la atracción entre los polos diferentes.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

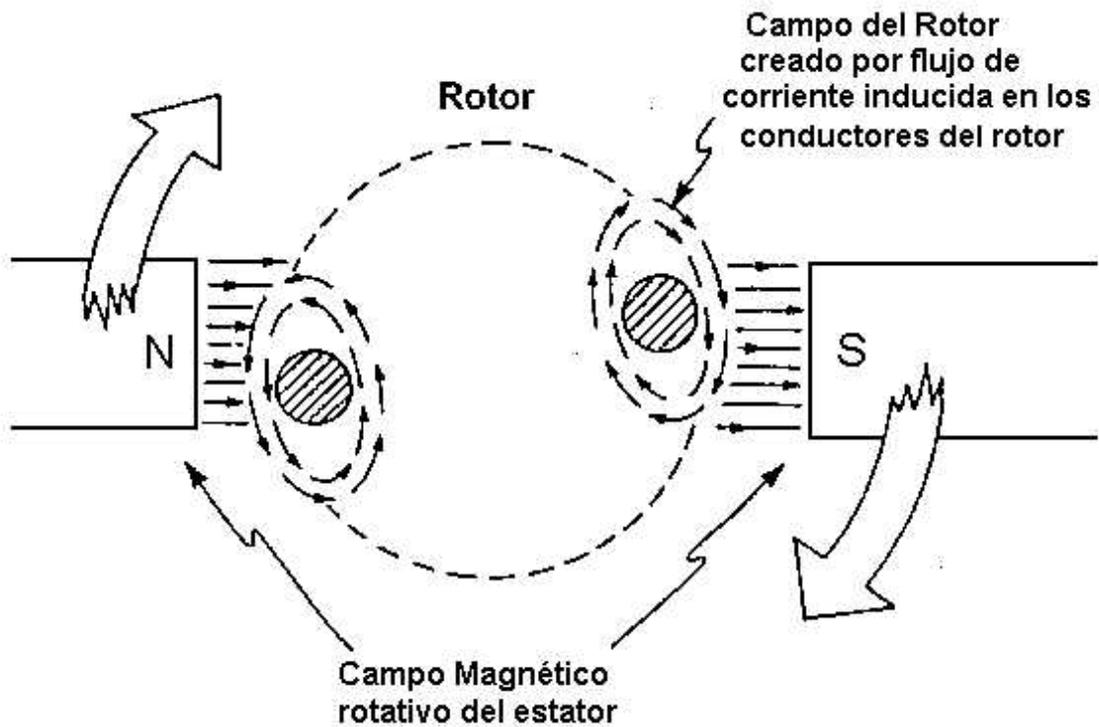


Figura 4.12 Campo magnético del rotor en relación con el estator.

Utilizando la teoría del funcionamiento de motores eléctricos es como se puede elaborar un diseño de dispositivo que permita el movimiento angular por medio de la producción de una fuerza torsional mecánica a partir de energía eléctrica. Existen varios tipos de armaduras de motores eléctricos, tres de los cuáles se muestran en la figura 4.13.

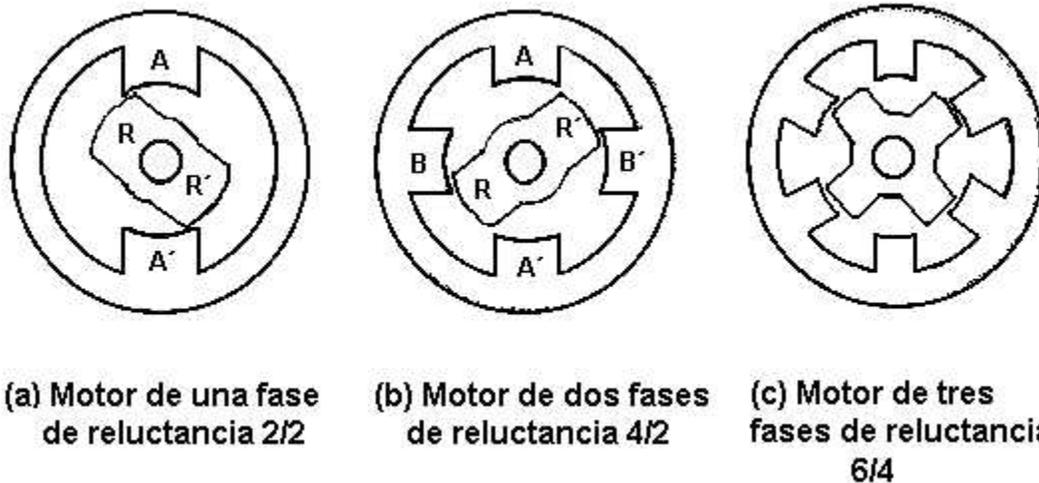


Figura 4.13 Tres tipos de construcciones básicas de armaduras en motores eléctricos.

Los motores eléctricos tienen la capacidad de mantener una fuerza de torsión constante que hace girar el eje del rotor, en el dispositivo propuesto no se requiere de una fuerza constante, mas bien se requiere de una fuerza aplicada en intervalos intermitentes controlados con una fuerza angular que permita vencer la fuerza mecánica del resorte a tan sólo 90 grados. Por lo tanto, el dispositivo a crear no requiere de un diseño tan complejo como el motor de dos o tres fases de reluctancia, de tal suerte que se pueda usar el diseño de armadura de motor eléctrico más simple como el mostrado en la figura 4.13a tomando en cuenta que un motor real es más complejo que el dispositivo simple mostrado, pero el principio es el mismo.

4.2.2 Ventajas

Las ventajas que ofrece este sistema son las siguientes: En primer lugar ofrece un diseño innovador de actuación electromecánica que permite regular el ciclo de combustión optimizando el sistema eliminando tiempos muertos entre apertura y cierre de válvulas, es decir, la válvula no pasa a través de un camino de leva para abrir o cerrar, sino que el sensor le indicará si lo debe hacer en tiempos de respuesta casi inmediatos.

Otra de las ventajas es que la forma básica que toma el cilindro, es fácilmente manufacturable para una producción en grandes cantidades, ya que cualquier torno o fresa pueden fácilmente maquinar los componentes mayores de este dispositivo. El diseño que ofrece este tipo de válvula también otorga resistencia a las condiciones en las que se puede usar, como altas temperaturas, corrosión, así como evita también alabeo y desajuste por su erosión continua.

4.2.3 Posibles desventajas

Una de las grandes desventajas que se encuentra en este sistema es el uso de material, ya que el cilindro debe ser mayor que la circunferencia de entrada o salida, lo que condiciona crear un elemento de tamaño medio con un dispositivo de control relativamente pequeño

El sistema eléctrico requiere de tiempos de actuación menores que el uso de levas, pero más amplios que mecanismos instantáneos como solenoides, siendo esto otro factor de desventaja en el dispositivo.

El factor de desventaja más importante en este diseño es que el dispositivo sufre una expansión molecular debida al intercambio de calor con el motor y a la fricción constante por movimiento. El dispositivo debe controlar la entrada de combustible y salida de gases de manera eficiente, pero también debe sellar herméticamente la cámara de combustión para que el ciclo del motor se lleve a cabo correctamente, sin permitir una tolerancia de holgura. Por otra parte, si el dispositivo se construye de tal modo que sea hermético, una constante de dilatación provocará que el dispositivo falle inminentemente debido a que el dispositivo no permite tolerancias.

Es principalmente por lo anterior que el dispositivo de electroválvulas cilíndricas queda descartado como una opción de mejora en el control de ingreso y salida de combustible en motores de combustión interna.

4.3 *DISEÑO DE ELECTROVÁLVULAS CON SOLENOIDES INTEGRADOS*

4.3.1 Características

Las características en este sistema son las siguientes: primero se toma como base el sistema de válvulas de copa convencional. La modificación principal que posee es que la válvula esta diseñada de manera que actúa como

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

elemento de “armadura” o “rotor” como en los motores eléctricos. La válvula cuenta con un anillo que interactúa con el campo emitido por el solenoide en el cuerpo del dispositivo, impulsando la válvula verticalmente venciendo la resistencia del resorte de acuerdo a la señal del sensor. De este modo se abre o cierra la válvula en sincronía con el cigüeñal (figura 4.14).

La válvula debe tener las siguientes características contempladas: debe cubrirse con un material aislante en la unión del anillo y la válvula, esto para que evite una ignición atrasada o adelantada al hacer la comunicación eléctrica con la cámara de combustión. Preferentemente debe estar rellena de Sodio o algún otro material semiconductor, para que la transmisión de calor a través de la misma sea mínima y de este modo proteger el barniz del embobinado y al sistema eléctrico en general.

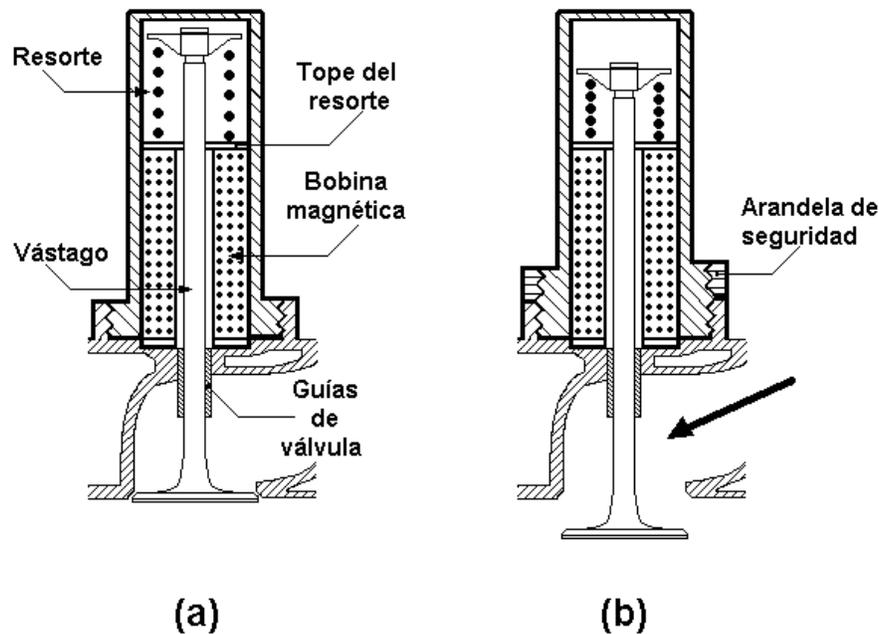


Figura 4.14 Diseño de válvulas activadas con solenoide integrado en el cuerpo. a) válvula cerrada; componentes básicos, b) válvula abierta y propuesta de arandela de seguridad contra vibraciones.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

Siguiendo las mismas características de una válvula común de copa, deben estar formadas por una cabeza mecanizada por toda su periferia con una inclinación que hace cierre hermético sobre el orificio de la culata. La válvula de admisión suele tener la cabeza de mayor diámetro que la de escape. Unido a la cabeza lleva una cola o vástago cilíndrico y alargado que tiene por misión servir de guía en su desplazamiento, centrar la cabeza en su asiento y evacuar el calor generado durante la combustión. En la parte alta de la cola lleva unas ranuras para el anclaje y retención de la válvula sobre la culata.

En la figura siguiente se muestra un diseño con solenoides integrados alternativo.

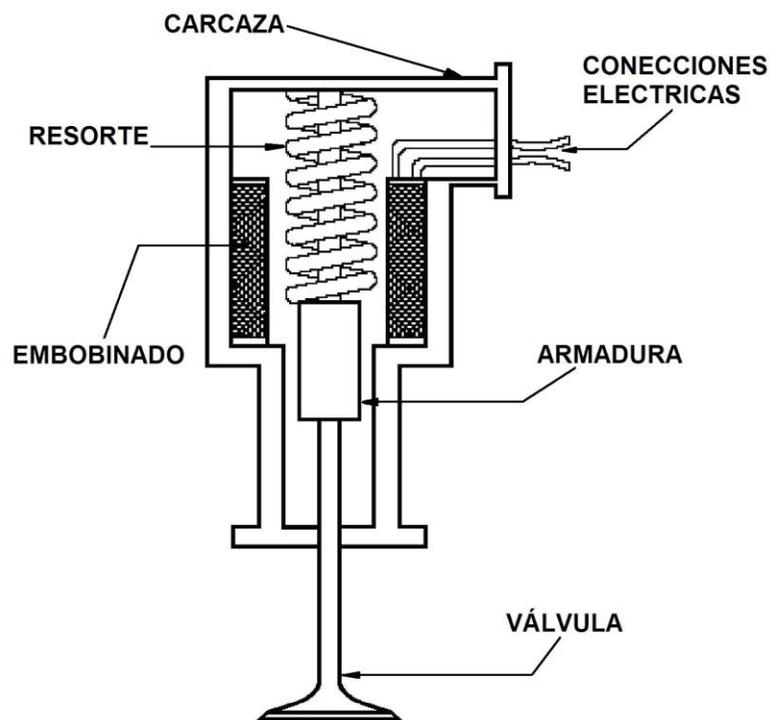


Figura 4.15 Diseño alternativo de válvulas activadas con solenoide integrado en el cuerpo.

Las temperaturas que alcanzan en la combustión son muy altas, por ello, las válvulas se ven muy directamente afectadas por esta condición ya que constantemente están expuestas a la brusquedad térmica en cada ciclo de trabajo, sobre todo en la de escape, que recibe directamente los gases más calientes de la combustión y que son del orden de 800°C (la de admisión recibe 400 a 500°C) (figura 4.15). También el aumento de presión es un factor más a añadir a las condiciones adversas en que se encuentran las válvulas.

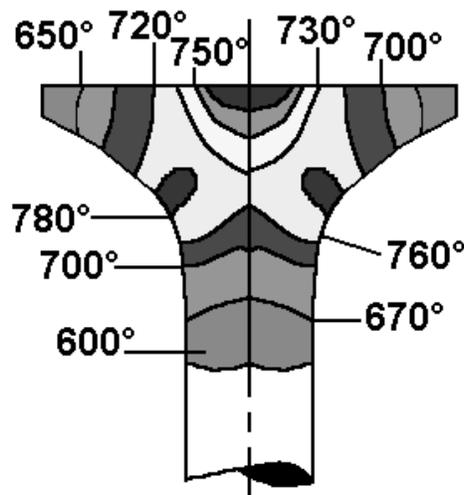


Figura 4.15 Temperaturas alcanzadas en una válvula de escape.

El tamaño de la cabeza de las válvulas influye directamente en la cantidad de superficie expuesta a la temperatura de trabajo.; a mayor superficie, mayor temperatura, por ello las válvulas de escape se fabrican de menor diámetro. Por el contrario, las de admisión, al estar en contacto con la pared de la culata en el momento de la combustión, pueden evacuar mejor el calor que recibe; al mismo tiempo, los gases frescos de la admisión ayudan a refrescarla en el momento de la admisión. Se construyen con aceros aleados de gran resistencia mecánica a altas temperaturas y resistentes también a la oxidación y corrosión. Las aleaciones varían según se trate de las de admisión o las de escape.

En algunos casos para facilitar la refrigeración se construyen válvulas con vástago hueco y rellenas de sodio para dispersar mejor el calor. Las válvulas de admisión suelen ser más grandes que las de escape con el fin de facilitar la entrada de los gases.

Asientos de válvula.

La superficie de la culata donde se apoya la cabeza de válvula al cerrar se llama asiento de válvula. Este asiento forma un ángulo con el plano de la cabeza de válvulas determinado por el fabricante en función del diseño del motor.

Muelles de válvula.

Los muelles o resortes son los encargados de mantener cerradas las válvulas en sus asientos. Son de tipo helicoidal y pueden montarse, según las necesidades constructivas del motor, utilizando muelles simples, y que suelen ser con carga elástica de tensión gradual o con muelles dobles, cuya finalidad es la de evitar en los motores rápidos el fenómeno de rebote que podría aparecer por los movimientos vibratorios debidos a una excesiva elasticidad.

Guías de válvula.

Las guías de válvula son unos casquillos cilíndricos que se insertan en la culata y tienen como finalidad mantener centrada la válvula en su

desplazamiento para un correcto asiento. También realizan la misión de evacuar el calor que está recibiendo del vástago de la válvula, hacia la culata.

Van colocadas con ajuste forzado y la holgura entre el vástago y la guía suele estar comprendido entre 0.004 y 0.007 mm para la de admisión. La de escape es un poco mayor (0.007 a 0.01 mm) debido a la mayor dilatación que experimenta. En la parte superior de la guía es donde se suele colocar un retén para que regule el paso de aceite al interior de la guía y así, evitar fugas hacia la cámara de compresión. El “estator” o contenedor de los solenoides o electroimanes se puede diseñar de tal manera que sea un dispositivo fácil de maquinar en torno y/o fresadora, y de fácil instalación y mantenimiento. El embobinado debe ser lo suficientemente fuerte como para vencer la fuerza de oposición del resorte que mantiene la válvula arriba y la cámara de combustión cerrada herméticamente y además procurar que no sea un dispositivo que ocupe demasiado volumen en el motor.

4.3.2 Ventajas

Entre las ventajas que nos ofrece este tipo de sistema de electroválvulas se pueden mencionar el uso de elementos comunes a los que ya existen en el mercado, la forma de válvula de copa permite cerrar herméticamente la cámara de combustión soportando las condiciones más agresivas de la misma. Otra ventaja que puede ofrecer este mecanismo es la sencillez de manufactura, mantenimiento e instalación del dispositivo, así como las pocas modificaciones que hay que realizar en el motor en general.

4.3.3 Posibles desventajas

La desventaja en este diseño es el uso de un embobinado para generar los campos magnéticos que hagan que el mecanismo funcione; vibraciones y/o el calor pueden provocar fallos en el dispositivo, ya que estos elementos pueden dañar la estructura física del cable magneto usado en esta clase de dispositivos.

Otra posible desventaja es el uso de válvulas demasiado largas. El dispositivo eléctrico sugerido implica un embobinado relativamente grueso y alargado, de tal manera que si se toma una válvula de copa convencional esta debe ser también más larga para incluir un generador de campo efectivo para vencer la fuerza del resorte.

4.4 *DISEÑO DE ELECTROVÁLVULAS CON SOLENOIDE EN LA PARTE SUPERIOR*

4.4.1 Características

El diseño de electroválvulas con los solenoides o electroimanes sobre el dispositivo (figura 4.16) puede ser de manera similar al diseño anterior, salvo que la diferencia principal radica en la ubicación del embobinado actuador, como su nombre lo dice, en la parte superior.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

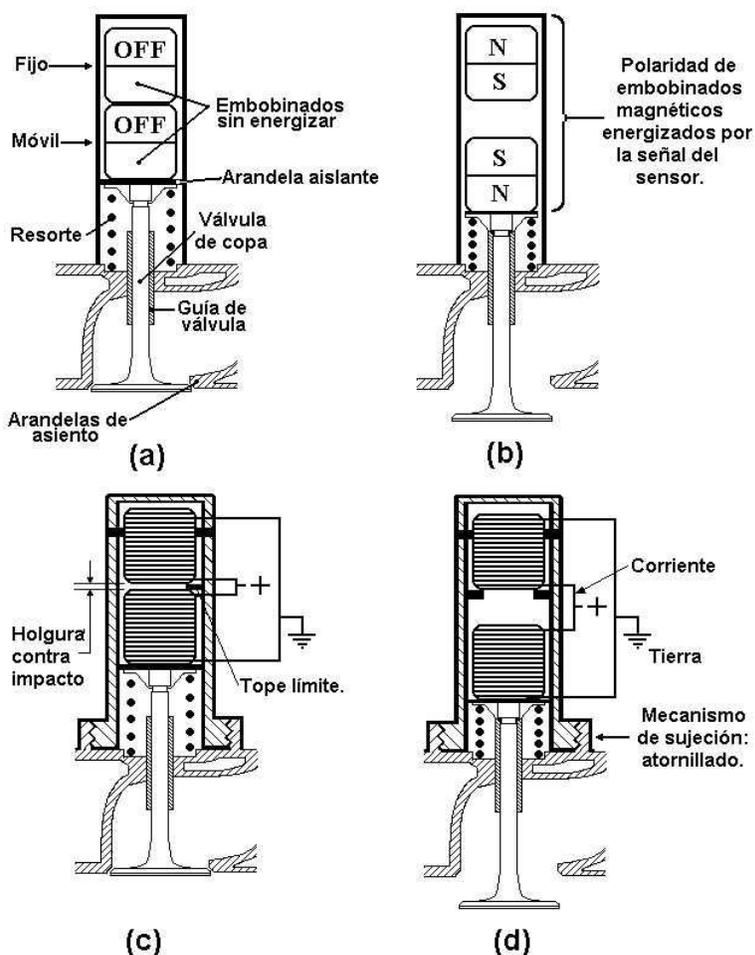


Figura 4.16 Esquema básico de funcionamiento de electroválvula superior.

Mientras el sensor no indique que se requiera entrada de combustible de acuerdo a la posición del cigüeñal, los embobinados no tienen energía y se mantiene la válvula cerrada (a y c). Una vez que el sensor recibe la señal indicada de la posición del cigüeñal, las bobinas se energizan y se separan por efecto de repulsión magnética (b y d).

Se utilizan las válvulas de copa convencionales para controlar la entrada de combustible y salida de desperdicios en la cámara de combustión, además tiene un resorte que mantiene cerradas herméticamente los accesos a la misma. El mecanismo actuador superior consta de dos embobinados cilíndricos (figura

4.16c y 4.16d) que forman los electroimanes, los cuáles se mantienen juntos cuando no existe excitación (fig 4.16a), y separados por repulsión magnética (Fig 4.16b), cuando el sensor indica una posición determinada del cigüeñal que permita la entrada a tiempo del combustible en el tiempo de admisión o el escape de los gases según sean las necesidades del ciclo.

4.4.2 Ventajas

Entre las ventajas que posee este diseño podemos contar el uso de elementos comerciales que han probado su eficacia, como el diseño de las válvulas de copa para mantener cerrada la cámara de combustión herméticamente al momento de la carrera de potencia, así como el uso del resorte como medio mecánico de regresión de actuación.

El diseño ha sido elaborado para que pueda tener facilidad en la instalación y mantenimiento, así como evitar modificaciones considerables a los actuales tipos de motores.

La posición de los solenoides sobre el dispositivo, hace que el mecanismo de actuación eléctrico se mantenga lo más alejado posible de los efectos más agresivos del motor que se localizan en la cámara de combustión, como el calor excesivo, proporcionando mayor seguridad en la eficiencia del dispositivo, así como su tiempo de vida útil.

4.4.3 Posibles desventajas

Las desventajas que se pueden presentar en este diseño son muy similares a las del dispositivo anterior. El embobinado magnético que hace actuar al mecanismo puede sufrir daños debido a las condiciones de calor y vibraciones del motor. Se sabe que el calor reduce la fuerza electromagnética en un imán, de tal manera que la válvula convencional en este dispositivo debe ser especial, capaz de evitar lo menos posible la conducción de calor a través del cuerpo de la misma. Para ello se rellenan con un elemento cerámico o semiconductor, como los silicatos. Sin embargo, la posibilidad de daño aún es latente debido a las condiciones tan severas en las que se encuentra un motor de combustión.

4.5 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.

La actuación de electroimanes o solenoides que sean capaces de vencer la fuerza del resorte diseñado para mantener cerrada herméticamente la cámara de combustión, requiere de un sistema de alimentación con la suficiente potencia, pero usando los recursos a la mano.

La batería suministra electricidad al sistema de encendido (Figura 4.16), al motor de arranque, a los faros, a los indicadores de dirección y al resto del equipo eléctrico del automóvil, está compuesta por una serie de elementos, cada uno de los cuales producirá algo más de dos volts (V), unidos entre sí por unas barras metálicas. Las baterías del automóvil tienen tres elementos con una tensión total de 6 V., o seis elementos con un voltaje total de 12 V.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

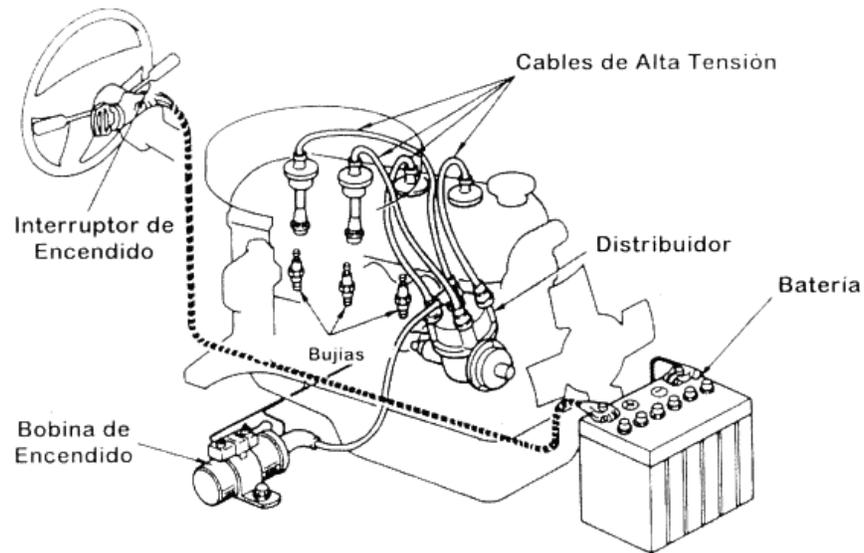


Figura 4.16 Configuración del sistema de encendido.

Cada elemento comprende dos series de placas (electrodos). Uno de los electrodos es de peróxido de plomo y el otro de óxido de plomo (plomo esponjoso) separados por aislantes de celulosa (Figuras 4.17 y 4.18).

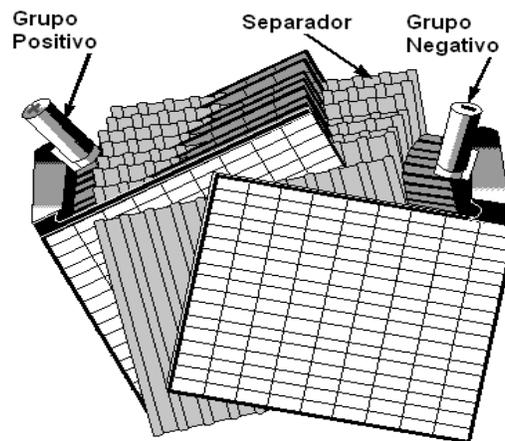


Figura 4.17 Estructura de la batería eléctrica.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

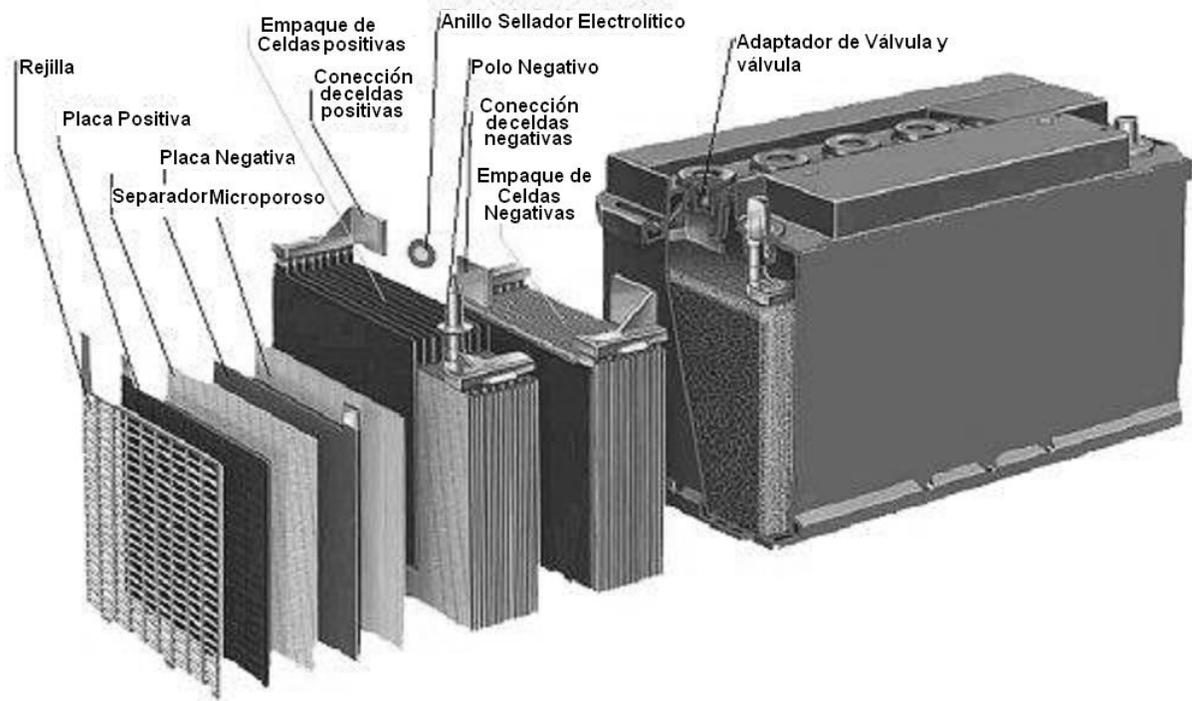


Figura 4.18 Detalle de Batería eléctrica.

Cuando un elemento está en funcionamiento, el ácido reacciona con las placas y convierte la energía química en energía eléctrica. En el electrodo de peróxido de plomo se produce carga positiva, y en el óxido de plomo una carga negativa. La corriente eléctrica que se mide en amperios, pasa de las placas negativas, por el circuito, hasta las positivas y retorna al electrolito. Al persistir la reacción química, en la superficie de ambos electrodos se forma sulfato de plomo, y el ácido sulfúrico se convierte en agua. Cuando las superficies de ambas placas se hayan convertido totalmente en sulfato, la batería se habrá

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

descargado. Si se carga de nuevo, los electrodos volverán a su estado primitivo y se regenerará el ácido sulfúrico.

El trabajo máximo se le exige a la batería al arrancar el coche. Una vez que el motor funciona, el dínamo suministra corriente a la batería, con lo que ésta se recarga.

La batería es el elemento básico de reserva de la energía necesaria para el arranque del motor y para el funcionamiento de las luces cuando aquel está parado. Su capacidad se mide en amperios/hora. Una batería de 56 amperios /hora deberá ser capaz de suministrar una corriente de un amperio durante 56 horas o de 2 amperios durante 28 horas, etc. Pueden hacer falta hasta 360 amperios para arrancar el motor, mientras que para una sola luz de posición solo hace falta medio amperio.

Así, las baterías de automóvil producen corriente de 6 o 12 Volts, pero para generar las chispas que inflaman la mezcla de gasolina y aire se precisan tensiones miles de veces más elevadas.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

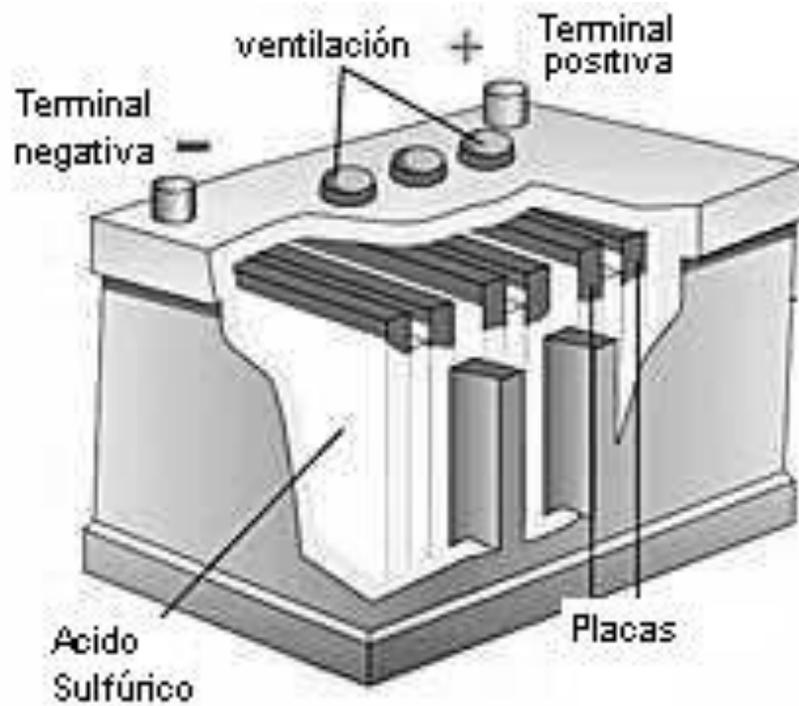


Figura 4.19 Detalle de Batería armada.

La bobina (Figura 4.20) eleva la corriente de baja tensión procedente de la batería y la transforma en corriente de alta tensión para las bujías. En un coche de tipo medio, la bobina suministra a las bujías corriente de hasta 30,000 Volts.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

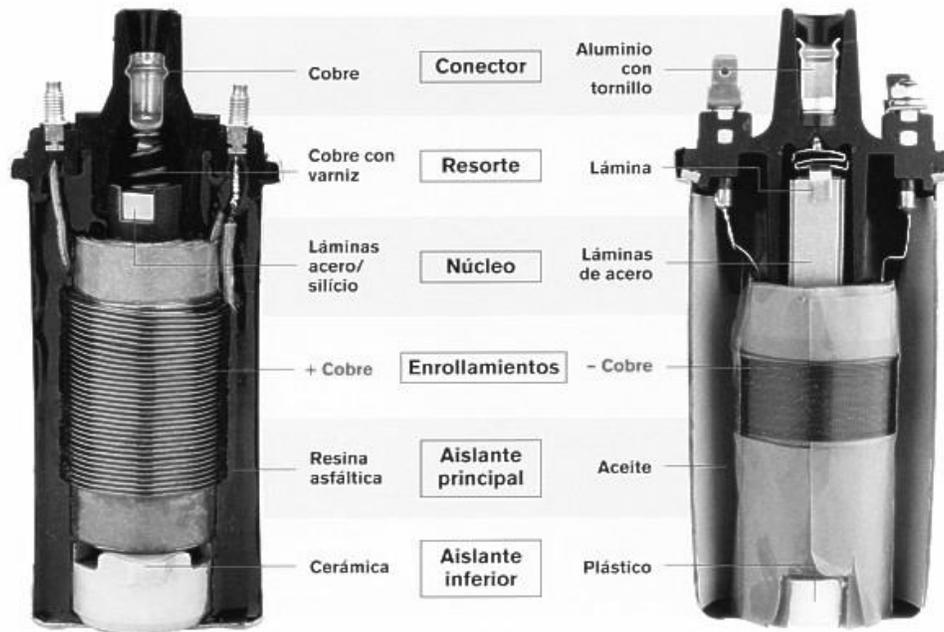


Figura 4.20 Estructura interna de una bobina de encendido.

Su funcionamiento se basa en el principio de que al pasar corriente por una bobina se produce un campo magnético; y al interrumpirse un campo magnético se genera una corriente eléctrica en cualquier bobina que se encuentre en las líneas de fuerza del campo. Para elevar una tensión determinada basta con disponer dos bobinas, una con más espiras que la otra.

Los dos arrollamientos de la bobina rodean un núcleo de hierro dulce que concentra el campo magnético. El arrollamiento primario consta de vario hilos cientos de vueltas de hilo relativamente grueso. Esta es la parte correspondiente a baja tensión, y se alimenta de la corriente procedente de la batería. El arrollamiento secundario esta formado por miles de vueltas de hilo

fino (unos dos kilómetros). Esta es la parte de la bobina correspondiente a alta tensión, que suministra corriente a las bujías. Al cerrar la llave de contacto, pasa corriente desde la batería hasta una terminal de la bobina, atraviesa el arrollamiento primario y por el otro terminal del mismo arrollamiento llega hasta los contactos del distribuidor.

Si los contactos están cerrados, la corriente los atraviesa, convirtiendo al arrollamiento primario y al núcleo de hierro en un electroimán que, como tal, producirá un campo magnético. En estas condiciones, la corriente completa su circuito a través de la carrocería del coche y vuelve a la batería. Al abrirse los contactos del ruptor, deja de pasar corriente por el primario y se interrumpe el campo magnético que atraviesa los miles de vueltas del secundario. Esto produce una tensión muy elevada en el arrollamiento secundario. Cuanto mayor sea el número de vueltas del hilo que forma y más rápidamente se interrumpa el campo magnético, más alta será la tensión eléctrica que se genera. La corriente de alta tensión generada en el secundario pasa a las bujías a través del distribuidor (Figura 4.21) y vuelve a la bobina atravesando en su recorrido la carrocería del coche.

Los dispositivos de este trabajo pueden tener entonces su fuente de energía en la bobina que también alimenta a las bujías, aprovechando al máximo la potencia eléctrica que se obtiene de la misma.

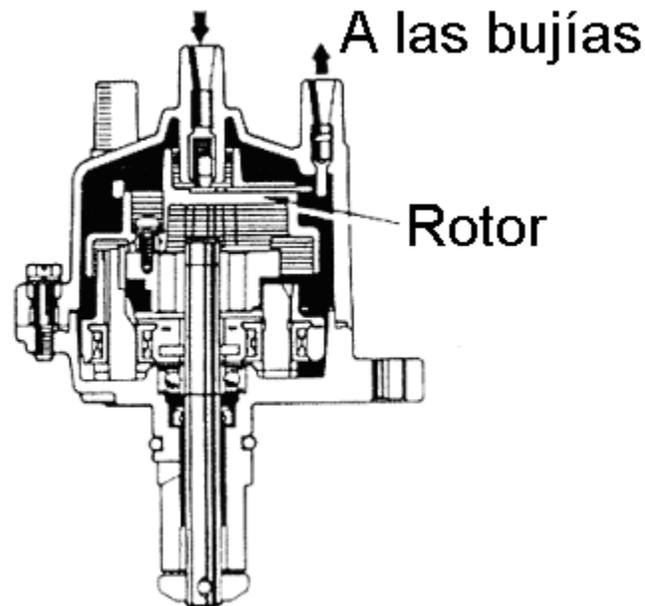


Figura 4.21 Sección en corte de un distribuidor.

4.6 **VENTAJAS INHERENTES A TODOS LOS SISTEMAS EVALUADOS**

El fenómeno del electromagnetismo surge de una corriente eléctrica a través de un material conductor. Fuerzas atractivas o repulsivas son generadas en la región adyacente al conductor y resultan proporcionales al flujo de corriente. De aquí resulta posible construir estructuras que junten y enfoquen fuerzas electromagnéticas y se manejen para obtener movimiento.

Independientemente de su factibilidad absoluta, posibles errores de cálculo y/o diseño, o aun una alternativa no contemplada, los sistemas anteriormente analizados poseen algunas ventajas comunes que los hacen

interesantes como proyecto vanguardista, científico, o hasta en un determinado grado ecologista.

Por mencionar algunas de las ventajas comunes, se encuentra la del aumento de fuerza del motor. El prescindir del árbol de levas quiere decir la supresión de cargas parásitas que mecánicamente restan potencia al demandar una cierta cantidad de energía. De esto también se puede derivar que el costo de material de un sistema de electroválvulas en algunos casos es menor al del costo de un sistema de árbol de levas.

Otro factor común que poseen las electroválvulas es su respuesta inmediata. Los campos electromagnéticos surgen y desaparecen rápidamente, lo cual permite que los dispositivos tengan una velocidad de accionamiento alta. La utilización de sistemas electrónicos para el desempeño de éstas hace que la actuación del sistema sea tan rápida que optimice la utilización de recursos combustibles. En otras palabras, la agilización del sistema hace que se mejore el proceso de combustión, lo cual es un factor importante para mejorar la potencia de un motor.

De lo anterior también se puede decir algo más. Una mezcla de combustible de uso óptimo en un motor hace que los elementos contaminantes se reduzcan asegurando el mejor balance posible entre los niveles de Hidrocarburos y Óxidos de Nitrógeno durante todas las condiciones de operación del motor.

Una importante ventaja de estos dispositivos es su alta eficiencia en el dominio microscópico para convertir energía eléctrica en trabajo. Esto se traduce en un menor consumo de energía desde la fuente de potencia.

Una ventaja más que se puede obtener de un sistema electromecánico de este tipo es la sencillez de instalación y mantenimiento del dispositivo. En ocasiones, para dar mantenimiento a un dispositivo mecánico de válvulas de admisión y escape, se tiene que desarmar el motor debido a la localización del árbol de levas, siendo esto un procedimiento largo y tedioso. El uso de elementos como los que se estudiaron, hace que el trabajo sea mucho más sencillo debido a que están diseñados para que la persona encargada de reparar o dar mantenimiento lo haga tan sencillo como atornillar un elemento y conectar un arnés sin necesidad de desmontar todo el motor.

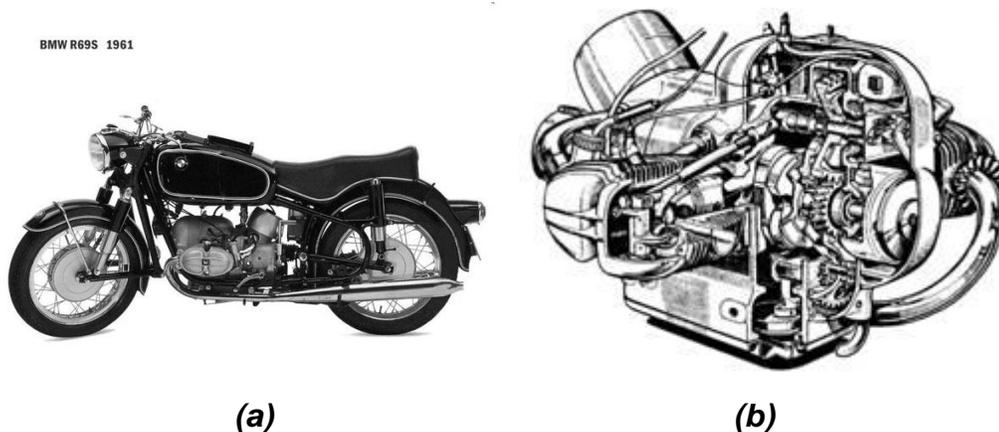
Por último, se puede manejar el costo, se ha demostrado que automatizar un elemento de maquinaria reduce los costos variablemente desde un 20 hasta un 70 por 100 del costo de un sistema anterior. Esto suele ser una gran ventaja en el mercado debido a que el uso de tecnología le agrega una gran plusvalía al producto, o valor agregado, debido al aumento de eficiencia del sistema, y el desplazamiento de materiales por diferencia de precio o de uso de material, es decir, se simplifica el sistema de tal modo que se ocupa menos material en su fabricación, elevando el costo solo por uso de tecnología, pero reduciéndolo por uso de menos material.

De este modo, se pretende eliminar un sistema de elementos de hierro, por tarjetas electrónicas con elementos económicos que hacen más eficiente un motor de combustión intrínseca.

4.7 ENSAMBLE DE MOTOR MONOCILINDRICO DE MOTOCICLETA BMW-R69S CON POSIBLE APLICACIÓN DE DISPOSITIVO.

A continuación se ilustra paso a paso el desensamble de un motor de motocicleta BMW-R69S, esto con el propósito de ilustrar mas profundamente el mecanismo de apertura y cierre de válvulas en un motor monocilíndrico de gasolina con sistema mecánico convencional.

En las fotografías 4.1(a) y (b) se muestra una motocicleta BMW-R69S con un motor de un cilindro por cada lado.



Fotografías 4.1(a) Motocicleta BMW-R69S y 4.1(b) detalle de cabeza de cilindro antes del desensamble.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

En la fotografía 4.2 se ha desmontado la tapa de punterías que cubre al sistema de árbol de levas dejando a la vista el mismo.



Fotografía 4.2 Detalle de tren de válvulas una vez retirada la tapa de punterías.

En la fotografía 4.3 se ilustra el paso siguiente; se procede a desmontar el mecanismo del árbol de levas (balancín y empujadores), liberando la presión ejercida sobre el resorte.



Fotografía 4.3 Detalle de balancín retirado dejando a la vista el resorte de válvula.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

En la Fotografía 4.4 ya se ha desmontado la cabeza del motor y se puede apreciar el pistón, dispositivo que comprime la mezcla de aire y combustible.



Fotografía 4.4 Detalle de pistón dentro de monoblock.

En la cabeza desmontada de motor (Fotografía 4.6) se encuentran las válvulas tanto de admisión como de escape así como su mecanismo de actuación [empujadores y resortes en el sistema mecánico convencional, Fotografía 4.7 (a) y (b)], y es donde se ubica de igual modo el dispositivo hipotético de acuerdo al diseño en el presente trabajo.



Fotografía 4.6. Cabeza de motor o culata.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES



(a)



(b)

Fotografía 4.7(a) Cabeza de motor sin resortes y válvulas de admisión y escape al descubierto. (b) mecanismo mecánico convencional de balancines y empujadores.

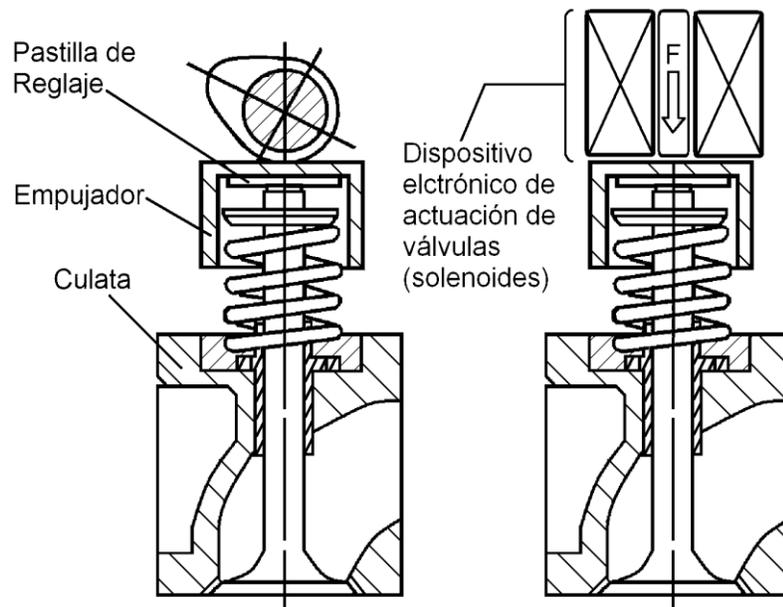


Figura 4.22 Imagen comparativa entre el diseño mecánico convencional de árbol de levas y el diseño hipotético de solenoides o imanes.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

A continuación se muestran ilustraciones de el montaje de un dispositivo diseñado en el presente trabajo sobre la cabeza de motor de una motocicleta BMW-R69S

En la figura 4.23 se aprecia el corte lateral derecho del monoblock y de la electroválvula señalando las partes mas elementales del sistema.

En la figura 4.24 se muestra una vista superior del monoblock donde originalmente se encuentra el mecanismo mecánico de apertura y cierre de válvulas, y en la figura 4.25 la misma vista superior pero con un solenoide instalado sobre la válvula sustituyendo al mecanismo convencional de árbol de levas, empujadores y balancines.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

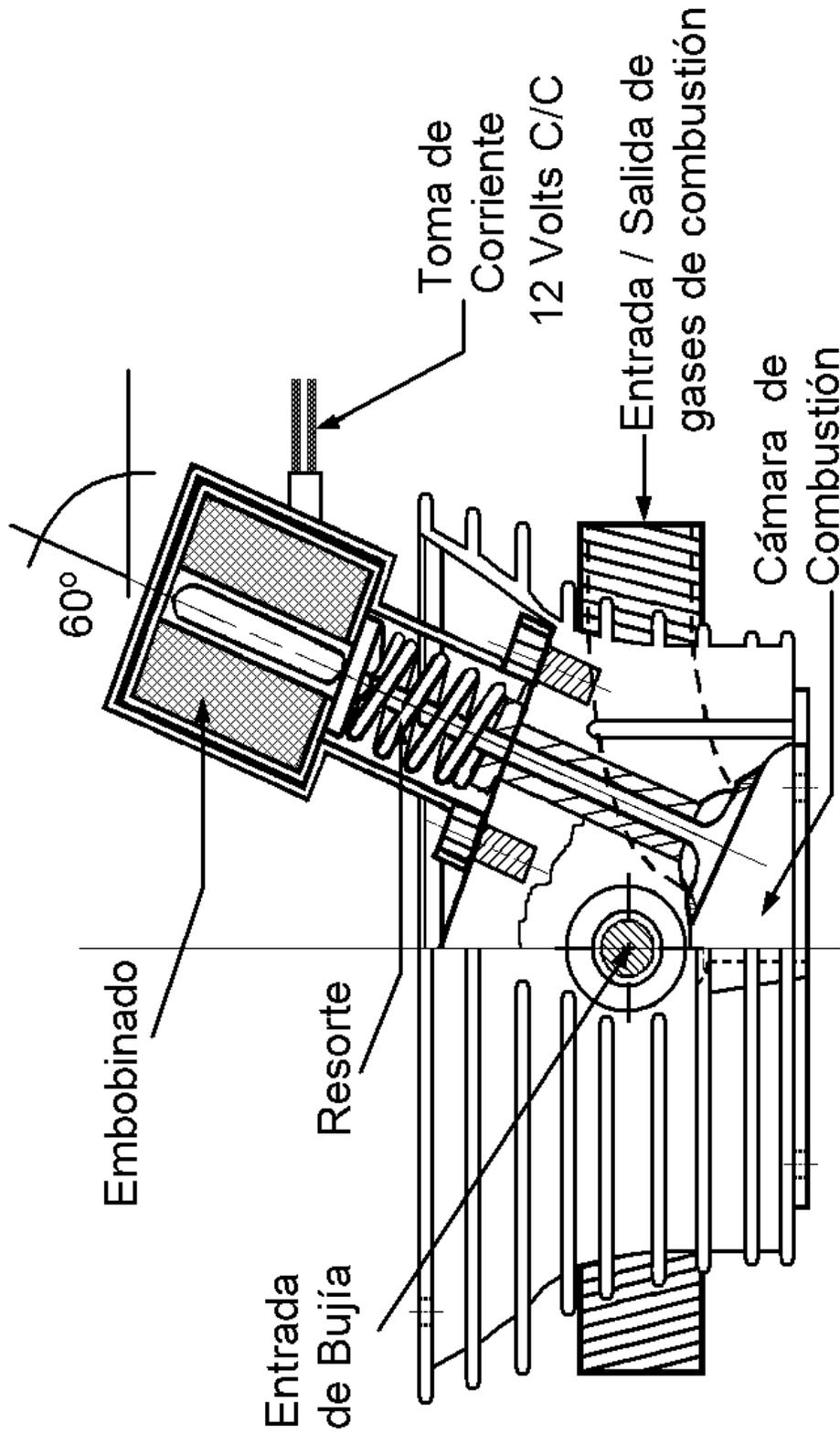


Figura 4.23 Ilustración de dispositivo sobre monoblock de motocicleta BMW-R69S.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

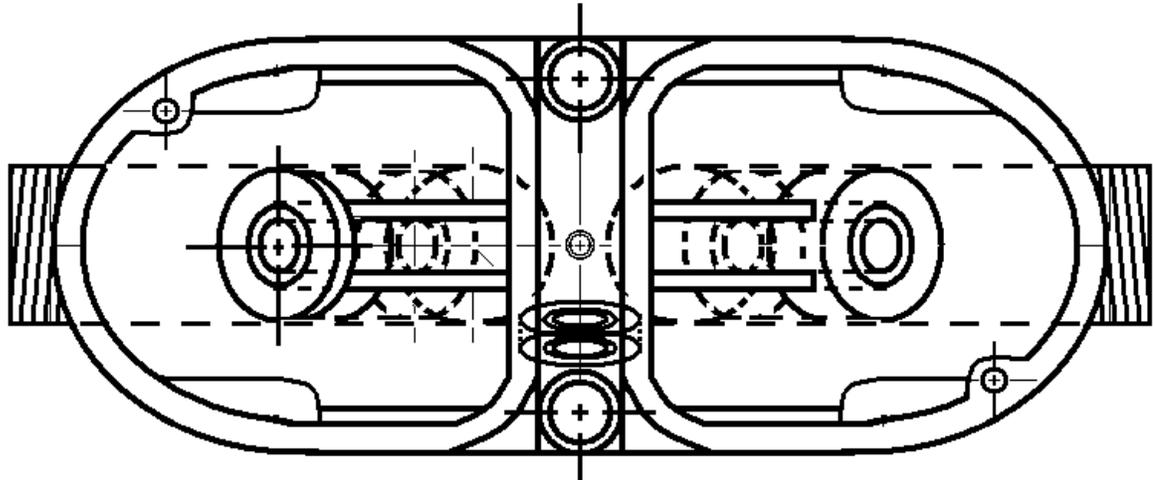
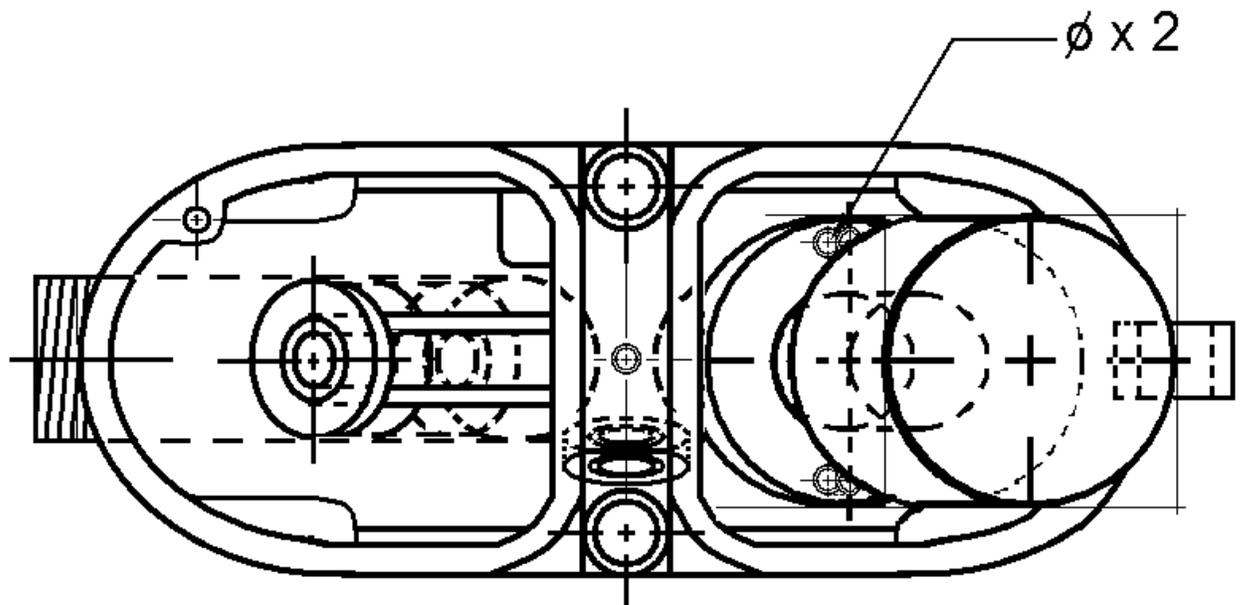


Figura 4.24 Vista superior de monoblock de motocicleta BMW-R69S.



*Figura 4.25 Ilustración de dispositivo sobre monoblock de motocicleta
BMW-R69S. Vista superior.*

Las imágenes anteriores contemplan solamente un diseño de monoblock de manera muy básica (motor de un solo cilindro). Sin embargo, el montaje de un sistema de control de apertura y cierre de válvulas por medio de electroimanes o solenoides en un motor de combustión interna es sumamente flexible, con la posibilidad de aplicación a motores mucho mas grandes y con un mayor número de cilindros tanto en sistemas a gasolina, diesel, o de cualquier elemento en el que intervenga el árbol de levas.

A continuación se ilustra el diagrama de flujo que manejaría el sistema (Figura 4.26). El sensor envía información sobre la posición de giro del cigüeñal, con el cuál se determina también la posición del pistón. A un determinado número de pulsaciones, la Unidad de Control Electrónico E.C.U. registra y procesa la información para que se genere la señal de actuación del solenoide en el momento preciso para que se abra o cierre la válvula permitiendo el ingreso de mezcla para la combustión, o el escape de los gases residuales según sea el caso.

Como caso especial, si el voltaje enviado por el sensor esta fuera del rango normal definido, la E.C.U. puede emitir un aviso al usuario generando un código de falla activo evitando una falla mayor en componentes mecánicos. Este paso y el proceso de manejo de la información recibida en la E.C.U. se deja para objeto de estudio posterior, debido a la variación en la codificación del idioma seleccionado para programar al módulo según el fabricante o proveedor.

HIPÓTESIS PARA CONTROLAR UN MOTOR SIN ÁRBOL DE LEVAS CON
ACTUACIÓN DE VÁLVULAS MEDIANTE ELECTROIMANES O SOLENOIDES

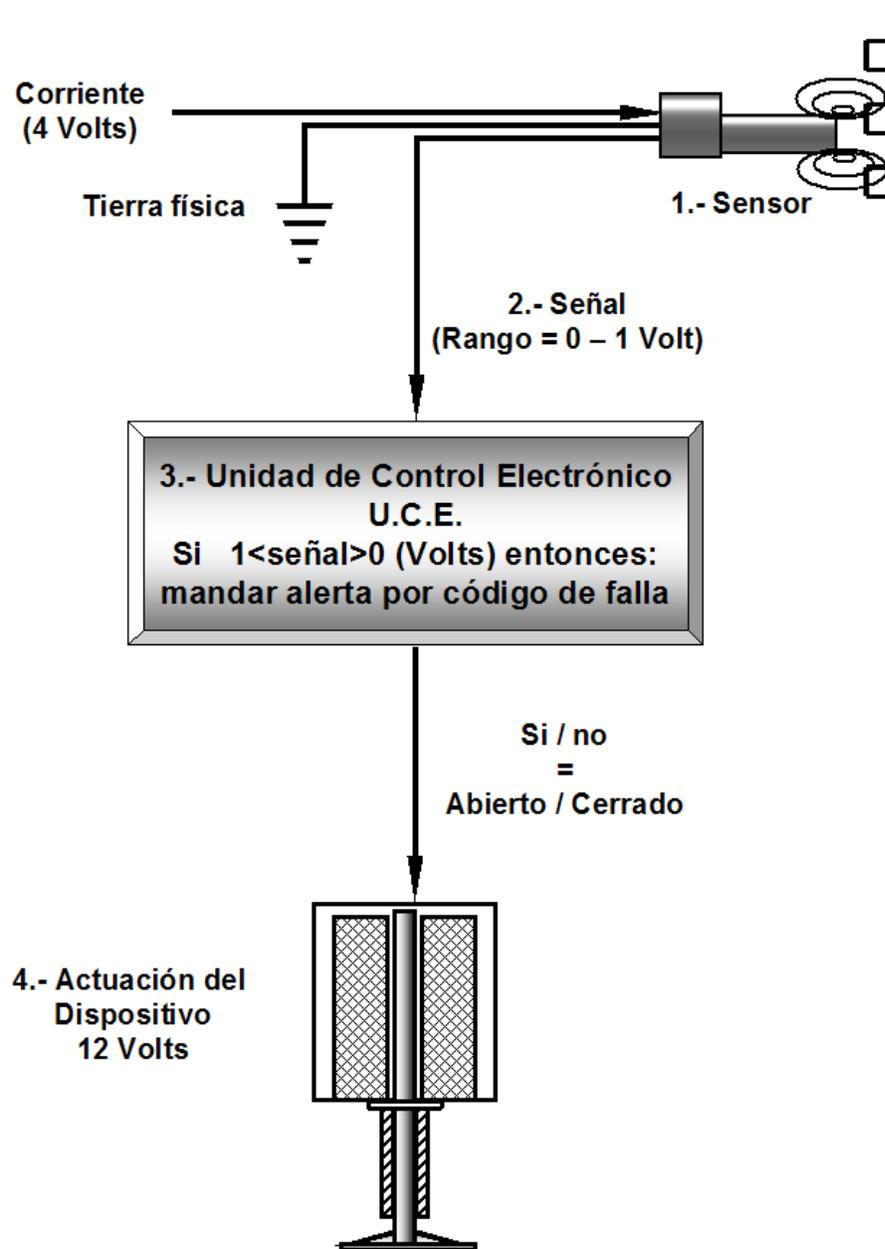


Figura 4.26 Diagrama de flujo de actuación de dispositivo.

CONCLUSIONES

Analizando los elementos encontrados se puede llegar a las siguientes conclusiones:

Se analizaron distintos tipos de sensores, de ultrasonido, infrarrojos, fotoeléctricos, dispositivos mecánicos y eléctricos, resultando ser el más confiable el sensor de capacitancia eléctrica, debido a que es un sensor de uso común en el mercado automotor con eficacia comprobada, sencilla elaboración y bajo costo, aparte de su confiabilidad y precisión requerida bajo condiciones extremas como lo son las de un motor de automóvil.

Se estudiaron tres tipos de sistema de actuación de válvulas por medio de electroimanes o solenoides y sensores:

El sistema de actuación de válvulas de admisión y escape por medio de válvulas cilíndricas con sensor inductivo. Este sistema resultó no ser eficaz debido a que en el estudio se contempló la posibilidad inminente de fallo por efecto de dilatación de material en la válvula, atorando el dispositivo, siendo esto la principal desventaja para descartar el sistema.

El sistema de válvulas con solenoide en el cuerpo y sensor inductivo se analizó como una posible opción para el desarrollo del proyecto, ya que se utilizan elementos comunes que están en el mercado, como válvulas de copa, resortes y elementos mecánicos de actuación con eficacia comprobada, con el

posible defecto de la utilización de válvulas con una longitud mayor a las que comúnmente se usan, provocando vibraciones indeseadas y fragilidad en el dispositivo.

El tercer dispositivo analizado es el de válvulas de admisión y escape con solenoide en la parte superior y sensor inductivo, resultando éste como el diseño más viable. Este sistema usa elementos comunes como el diseño anterior, pero con la diferencia de que el electroimán o solenoide se encuentra en la parte superior de la válvula, estando más protegido de los elementos agresivos de la cámara de combustión gracias a su posición. Otra ventaja es que no hay que realizar grandes modificaciones en el motor.

El desarrollo de un proyecto requiere no solo de la investigación de escritorio, es importante desarrollar físicamente lo analizado para poder comprobar los datos obtenidos, evaluarlos, y poder cubrir elementos no contemplados, así como las interacciones en campo y las constantes retroalimentaciones para mejorar el dispositivo. Sin embargo, un desarrollo de este tipo será más sencillo si se tiene la mayor información relativa condensada y ordenada de manera que cubra todos los puntos posibles. Es por esto que el presente trabajo constituye un esfuerzo por converger todos los elementos suficientes para un posterior estudio y construcción física de tal suerte que

pueda llegar a ser posible su creación y puesta en marcha con el fin de obtener un automotor más eficiente que posea las ventajas mencionadas en capítulos anteriores para beneficio de una empresa y/o usuario del transporte automotor.

GLOSARIO

Acumulador. Pila reversible que acumula energía durante la carga y la restituye parcialmente durante la descarga.

Alternador. Dínamo generadora de corriente alterna.

Aleación. Un metal que contiene dos o más elementos.

Analógico. Se dice que un sistema es analógico cuando las magnitudes de la señal se representan mediante variables continuas, esto es *análogas* a las magnitudes que dan lugar a la generación de esta señal. Un sistema analógico contiene dispositivos que manipulan cantidades físicas representadas en forma analógica. En un sistema de este tipo, las cantidades varían sobre un intervalo continuo de valores.

Balancín. Pieza o barra dotada de un movimiento oscilatorio que regula generalmente otro movimiento o le da un sentido o amplitud diferentes

Calor específico. Relación entre la capacidad calorífica de un material y la capacidad calorífica del agua.

Campo coercitivo. Campo eléctrico necesario para eliminar la polarización residual.

Capacitancia. Se produce por el almacenamiento de cargas en un sistema formado por dos conductores separados por una pequeña distancia.

Coercitividad. Una medida de la dificultad para desmagnetizar a un imán hecho con hierro dulce.

Compresibilidad. Propiedad que presentan los cuerpos materiales de disminuir su volumen cuando se aumenta la presión ejercida sobre ellos. Es mucho mayor en los gases que en los líquidos y sólidos. El modulo de compresibilidad es el cociente, cambiado de signo, entre la variación de presión que experimenta un cuerpo y la variación relativa de volumen correspondiente.

Concatenar. Relacionar.

Cóncavo. Que forma una cavidad.

Conductor. Que deja pasar fácilmente a través de su masa el calor o la electricidad.

Convexo. Esférico.

Corriente. (Eléctrica) Continuación de movimiento de una carga a través de un conductor cuando se mantiene un campo eléctrico a través del mismo. Cuando un conductor se ubica en el interior de un campo eléctrico, las cargas en el interior del conductor se reagrupan de modo que el campo en el interior del conductor sea una región libre de campo, es decir el potencial en el interior del conductor es constante. El movimiento de las cargas eléctricas en el proceso de reagrupamiento constituye una corriente eléctrica; pero este proceso de reagrupamiento de cargas es de corta duración y se denomina *corriente transitoria*. Si nuestra intención es de mantener una corriente eléctrica permanente en el conductor debemos mantener continuamente un campo es decir mantener un gradiente de potencial dentro de él. Si el campo mantiene el mismo sentido aunque pueda variar su intensidad, la corriente eléctrica generada en el conductor se denomina corriente continua. Si el campo se invierte periódicamente, el flujo de carga se invierte también y la corriente generada se denominará corriente alterna.

Corrosión. Deterioro y desgaste por ataque químico.

Coulomb. Unidad de carga eléctrica equivalente a la cantidad de electricidad que pasa por la sección de un conductor en 1 segundo con una corriente de 1 amperio de intensidad. Símbolo C.

Coulomb, ley. Las interacciones (atracción o repulsión) entre dos cargas eléctricas son directamente proporcionales al producto de estas, e inversamente al cuadrado de la distancia que las separa.

Culata. En los motores de explosión, pieza metálica que cierra el cuerpo de los cilindros

Densidad. Masa dividida entre el volumen.

DOHC. (ing. *Double Over Header Crankcase*) Siglas en inglés para designar al sistema de árbol de levas doble sobre la culata.

E.C.U. (ing. *Electrónica Computer Unit*) Unidad de control de sensores computarizado.

Electroimán. Barra de hierro dulce que se imanta artificialmente por la acción de una corriente eléctrica que pasa por un hilo conductor arrollado a la barra. Sinónimo: electromagneto.

Electromagnetismo. Magnetismo producido por una corriente eléctrica. Parte de la física que trata de las relaciones entre el magnetismo y la electricidad.

Electromecánica(o). Técnica que trata de las aplicaciones de la electricidad a la mecánica. Dispositivo mecánico dirigido mediante electricidad.

Embobinado. Conjunto de espiras.

Émbolo. Disco o pieza cilíndrica de metal que se ajusta o mueve alternativamente en el interior de un cuerpo de bomba o de un cilindro de una máquina de vapor o de combustión para enrarecer o comprimir un fluido o para recibir movimiento de él.

Encoders. Sistemas de cálculo para posición angular.

Energía. Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, etc.

Entropía. Magnitud física que multiplicada por la temperatura absoluta de un cuerpo da la energía degradada, es decir, la que no puede convertirse en trabajo, sino entra en contacto con un cuerpo más frío.

Espira. Vuelta de una bobina o solenoide.

FEM. Fuerza Electro Motriz. Fuerza que genera un trabajo a partir de principios eléctricos y/o magnéticos.

Ferromagnetismo. Propiedad en virtud de la cuál ciertos materiales presentan una gran permeabilidad magnética; como el hierro y el acero.

Fuerza electromotriz (FEM). La fuerza que origina el flujo de corriente. Diferencia de potencial entre las terminales.

Fluido. Cuerpo cuyas moléculas tienen entre sí poca o ninguna coherencia y que toma siempre la forma del recipiente que lo contiene.

Fotodiodo. Diodo semiconductor que convierte la energía luminosa en eléctrica.

Fotoconductividad. Propiedad por la que varía la conductividad eléctrica de un material por la acción de la luz o por una radiación electromagnética.

Frecuencia. Número de ondulaciones por segundo de un movimiento vibratorio.

Generador. Máquina o aparato reproductor de energía. Máquina que transforma la energía mecánica en eléctrica.

Gradiente. En las magnitudes cuyo valor es distinto en los diversos puntos de una región del espacio, proporción en la que varía la

magnitud en función de la distancia a lo largo de la línea en que esta variación es máxima.

Hidráulica. Parte de la mecánica de fluidos que trata de las leyes que rigen los movimientos de los líquidos.

Histéresis. Un desfase de la respuesta al campo magnético aplicado. Retraso del efecto debido a la inercia de la materia cuando varía la intensidad de la causa que actúa sobre él.

Imán. Óxido natural de hierro que atrae al hierro y otros metales.

Inducción. Producción de corrientes en un circuito cuando este se encuentra en un campo magnético variable. Se produce por el almacenamiento de cargas en un sistema formado por dos conductores separados por una pequeña distancia.

Inyector. Dispositivo para introducir un fluido en los motores endotérmicos.

Isooctano (*Isooctane*). Hidrocarburo parafínico de ocho átomos de carbono, (2-2-4-trimetilpentano) definido como valor 100 en la escala de número de octano.

Isoterma. Línea de temperatura constante.

L.A.S.E.R. (ing. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation); Amplificador y Oscilador que utiliza la energía interna de los átomos para originar haces luminosos coherentes de una determinada frecuencia y con una mínima dispersión.

Leva. Dispositivo para transformar el movimiento rotatorio continuo en movimiento rectilíneo alternativo. Pieza de una máquina empleada para imprimir un movimiento repetitivo lineal o alternativo a una segunda pieza denominada palpador. Las levas se utilizan. Por ejemplo, para abrir y cerrar las válvulas de admisión y escape de un motor de automóvil o para controlar una secuencia de

interruptores de control en equipos eléctricos y muchas otras máquinas. En ocasiones son necesarias levas de formas complejas para obtener el movimiento deseado.

Ley. Regla universal a la que están sujetos los fenómenos de la naturaleza; relación constante entre términos.

Lubricar. Suministrar lubricante (a un mecanismo para que sus piezas se deslicen mejor).

Lumbrera. Orificio de entrada o salida del vapor de ciertas máquinas.

Masa. Propiedad intrínseca de un cuerpo, que mide su inercia, es decir, la resistencia del cuerpo a cambiar su movimiento. La masa no es lo mismo que el peso, que mide la tracción que ejerce la tierra sobre una masa determinada. La masa inercial y la masa gravitacional son idénticas. El peso varía según la posición de la masa en relación con la tierra, pero es proporcional a la masa; dos masas iguales situadas en el mismo punto de un campo gravitatorio tienen el mismo peso.

Mecánica. Parte de la física que trata del movimiento y el equilibrio de las fuerzas que los producen.

Miscible. Mezclable.

Monoblock. Se dice del aparato hecho de una sola pieza, y especialmente del motor cuyos cilindros forman parte de una misma pieza o *block*.

Número de Octano. Índice de calidad de las gasolinas para motor, el cual se obtiene por comparación con el isooctano.

Octanaje. Resistencia que presenta una gasolina a ser comprimida dentro de un cilindro del motor y se determina por la medición del golpeteo que produce la gasolina con respecto al golpeteo que

produce una sustancia patrón, ambas sometidas dentro de un motor estándar.

Octano *Octane*. Octavo de la serie de los hidrocarburos parafínicos o saturados. **Índice de octano (IO), número de octano (NO), *octane number (ON)***; escala utilizada para caracterizar numéricamente las propiedades antidetonantes de un combustible para motor del ciclo Otto. Índice de octano o número de octano refiere al isoctano, el uso de la palabra octano es una simplificación.

OHC. Siglas en inglés para designar el sistema de válvulas sobre la culata (Over Header Crankcase).

Permeabilidad (magnética). En el campo magnético, cociente de dividir la inducción por el poder imanador.

Permisividad. En el campo eléctrico, cociente de dividir la inducción por la intensidad.

Peso específico. La cantidad de calor necesario para elevar un grado la temperatura de un kilogramo de sustancia, se conoce con el nombre de calor específico de la sustancia, la cuál puede ser muy bien un gas.

Picado. Aumento rápido y local de la presión en un punto distante de la chispa, resultando ondas de presión violentas, cuya evidencia audible consiste en un tic tac metálico o golpeteo cuando estas ondas chocan con la pared del espacio de combustión.

Poiseville. Unidad de viscosidad dinámica.

Preignición. Encendido anticipado, que se caracteriza por iniciación de la combustión antes del encendido de la chispa.

Presión. Fuerza entre unidad de área, $P = F/A$ en N/m^2

Presostato. Regulador de presión.

Proporcionalidad. Relación o correspondencia debida a las partes con el todo, o de una parte con otra, en cuanto a magnitud, cantidad o grado.

Relación de compresión. Es la relación de volumen antes de la compresión entre el volumen después de la compresión.

Rendimiento. Trabajo útil de un motor.

Rotámetro. Medidor de caudal o flujo.

RPM. Revoluciones por minuto, número de vueltas o ciclos en un minuto.

Sensor. Dispositivo para determinar el valor actual de una magnitud controlada de un sistema

Solenoid. Alambre arrollado en forma de hélice, que se emplea en varios aparatos eléctricos. Cuando circula una corriente continua se comporta como un imán.

Strobotac. Instrumento con el cuál se mide y se observa la frecuencia.

Tensión. Tendencia de una carga eléctrica a pasar de un cuerpo a otro de menor potencial.

Teoría. Es un conjunto de razonamientos ideados para explicar provisionalmente un determinado orden de fenómenos. Síntesis comprensiva de los conocimientos que una ciencia ha obtenido en los estudios de un determinado orden de hechos.

Toroide. Bobina o transformador que tiene la forma de un anillo cerrado.

Valvetrónico: Sistema de gestión del motor de BMW que elimina la mariposa de admisión. A través de un sistema de levas, y un gestor eléctrico a solicitud del acelerador, la apertura de las válvulas se regulan de menos a más para cargar de aire los cilindros, siendo la apertura mínima cuando es así la solicitud al

acelerador, como por ejemplo al ralentí. El beneficio de este sistema se nota sobre todo en los consumos a regímenes bajos. El primer motor en montar este sistema ha sido el BMW Compact 316 TI en el año 2001.

Válvulas. Obturadores colocados en el cilindro de un motor cuya función es abrir y cerrar los conductos que comunican el interior de la cámara con los colectores (admisión y escape). También han de mantener perfectamente hermética la cámara en la fase de compresión y explosión hasta el momento de abrirse la válvula de escape.

Vástago. Varilla o barra que transmite movimiento. Vástago de la válvula.

Velocidad. Relación entre el espacio recorrido y el tiempo empleado en recorrerlo.

Viscosidad. Relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad.

Volt. Unidad de diferencia de potencial. Es igual al trabajo de un Joule por Coulomb.

Voltaje. Símbolo que se emplea para designar la FEM. Potencial eléctrico expresado en voltios.

Volumen específico. Volumen de la unidad de peso expresado en metros cúbicos sobre kilogramos (m^3/kg).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. "EL LIBRO DEL AUTOMOVIL"

Selecciones del Reader's Digest.

Impresora y Editora Mexicana S.A. de C.V.

2. "EN MARCHA"

Selecciones del Reader's Digest.

Impresora y Editora Mexicana S.A. de C.V.

3. "TERMODINAMICA"

Virgil M. Faires.

Editorial UTEHA.

4. "FISICA"

RESNIK.

Editorial Prentice Hall.

5. "MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES"

I. L. KOSOW.

Editorial Reverté.

6. "MATERIALES PARA INGENIERÍA"

Lawrence H. Van Vlack.

Compañía Editorial Continental.

7. "ROBOTICA INDUSTRIAL; TECNOLOGIA PROGRAMACIÓN Y
APLICACIONES"

Varios Autores.

Editorial Mc Graw Hill. 1990.

8. "MECATRÓNICA, SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO EN INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELECTRICA"

W. Bolton. 2ª Edición.

Editorial Alfaomega.

9. "DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS"

Robert L. Mott, 2ª Edición.

Editorial Prentice Hall.

10. "DISEÑO DE MAQUINARIA"

Robert L. Norton.

Editorial Mc Graw hill.

11. "MANUAL DEL AUTOMOVIL, REPARACIÓN Y MATENIMIENTO ; EL MOTOR
DE GASOLINA"

D. Hermógenes Gil Martinez.

Editorial Ibérica Grafic. Ed.2003.