

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



SISTEMA DUAL GAS-GASOLINA PARA UN
MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA MECANICA)

P R E S E N T A N :
ALFONSO OCHOA REYES
RODOLFO HURTADO RUIZ

DIRECTOR: ING. ARMANDO MALDONADO SUSANO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1994





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 está 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.

A NUESTRO ASESOR :

Ing. Armando Maldonado Susano

Por su comprensión, paciencia y valiosa guía para la elaboración de éste trabajo.

¡ Gracias !

A la UNAM, en especial a la Facultad de Ingeniería por ser el lugar donde nos preparamos para servir a México.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES :

Alfonso Ochoa Del Río y

Bertha Reyes Sierra

Por la comprensión y la confianza que tuvieron en mí para lograr el objetivo que me había propuesto.

A MIS HERMANOS :

Evelia, Manuel, Jaime, Jorge, Lety, Olga y Roxana.

Por su estímulo y apoyo moral que me brindaron durante toda la carrera.

A MI ABUELITA VIRGINIA Y MI TIO ARTURO :

Porque con su valiosa ayuda y sus sinceros consejos pude seguir adelante y concluir con mis estudios. ¡ Muchas gracias !.

A MI TIA :

Genoveva Cacho

Con cariño, por su desinteresada ayuda en los momentos más necesarios.

Alfonso

AGRADECIMIENTOS

CON INMENSO CARIÑO A MIS PADRES :

Enrique Hurtado Arroyo (en paz descanse)

Carmen Ruiz Ramírez

Hay personas que luchan un día y son buenas,

Hay personas que luchan un año y son muy buenas,

Hay quienes luchan muchos años y son mejores,

Hay quienes luchan toda la vida y esas son las indispensables...

¡ Gracias !

A MI ESPOSA GUADALUPE :

Con todo mi amor, por lo que hemos construido juntos y por el enorme apoyo y tolerancia que me diste durante la elaboración de este trabajo.

A MIS HERMANOS :

Graciela, Trinidad, Ofelia, Manuel, Lourdes, José, Lidia y Rosa.

Por compartir conmigo cada uno de mis triunfos y fracasos, alegrías y tristezas.

¡ Gracias !.

A MI TIO RODOLFO :

Por su desinteresada ayuda y apoyo en los momentos que más lo necesité.

Rodolfo

Queremos expresar nuestro agradecimiento y afecto a :

El Departamento de Termoenergía y Mejoramiento Ambiental, en particular al Laboratorio de Máquinas Térmicas.

El Centro de Cálculo de la Facultad de Ingeniería (CECAFI).

El Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Finalmente a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización del presente trabajo.

INDICE

CAPITULO	PAGINA
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1 MOTOR DE COMBUSTION INTERNA ENCENDIDO POR CHISPA	4
1.1 El motor de cuatro tiempos encendido por chispa	4
1.2 Control de la velocidad y la carga en los motores ECH	6
1.3 Partes y detalles del motor	8
1.4 El ciclo Otto de aire normal	13
1.5 El ciclo Otto real	16
1.6 El diagrama P-V real	17
CAPITULO 2 SISTEMAS DE LOS VEHICULOS DE COMBUSTION INTERNA	19
SISTEMA DE ENCENDIDO CONVENCIONAL	19
2.1 Intervención del encendido en el funcionamiento del motor ECH	19
2.2 Esquema básico de un sistema de encendido	21
2.3 Algunos problemas propios del encendido	25
2.4 Número de chispas por minuto	25
2.5 Momento del salto de la chispa	27
2.6 Detonación	32
2.7 Autoencendido	35
SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRONICO	37

SISTEMA DE CARBURACION	43
2.8 Carburación	43
2.9 Principios fundamentales del carburador	45
2.10 Requisitos de la relación aire-combustible	49
2.11 Circuitos del carburador	51
2.12 Otros dispositivos importantes en los carburadores	67
2.13 Sistema de inyección de combustible para un motor de gasolina	69
2.14 Ventajas de la inyección de gasolina	70
SISTEMAS ANTICONTAMINANTES	74
2.15 Convertidores catalíticos	74
2.16 Agentes catalíticos	76
2.17 Tipos de catalizador (características)	77
2.18 Convertidor catalítico con estructura de soporte granular	78
2.19 Convertidor catalítico con soporte cerámico	79
2.20 Convertidor catalítico con soporte metálico monolítico	81
2.21 Materiales y funcionamiento de los convertidores catalíticos	82
2.22 Material para soporte de elemento catalítico	83
2.23 Materiales catalíticos	84
2.24 Principio de funcionamiento de los convertidores catalíticos	85
2.25 Sistema catalítico oxidante	88
2.26 Sistema catalítico doble	88
2.27 Sistema catalítico de tres vías	90
2.28 Condiciones de funcionamiento	91
2.29 Envejecimiento de los catalizadores	94

CAPITULO	PAGINA
SISTEMAS PCV Y DE CONTROL DE LA EMISION DE VAPORES DE COMBUSTIBLE	95
2.30 Necesidad de un sistema de control de la emisión de vapores de combustible	98
2.31 Sistemas de control de la emisión de vapores de combustible	99
2.32 Sistema Lambda	103
CAPITULO 3 SISTEMA DE CARBURACION DE GAS L.P.	106
3.1 Obtención del gas L.P.	106
3.2 Propiedades físicas del gas L.P.	107
3.3 Carburación a gas L.P.	107
3.4 Partes que integran un sistema de carburación a gas L.P.	109
3.5 Ventajas del uso de gas L.P.	111
3.6 Emanaciones de gases	113
CAPITULO 4 SISTEMA DUAL GAS-GASOLINA	114
4.1 Descripción del equipo	114
4.2 Descripción de las pruebas	116
CAPITULO 5 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS	118
CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150
BIBLIOGRAFIA	152

INTRODUCCION

La contaminación del aire en la ciudad de México ha ido aumentando principalmente con el incremento de consumo de energía relacionado con el crecimiento mismo de la ciudad; el de su población, de la industria y la magnitud de los movimientos y traslados de personas y bienes.

Según el censo realizado en 1990, en la zona metropolitana de la ciudad de México (ZMCM) viven 15 millones de habitantes (17% del país), 55% de ellos en el D.F., para el año 2010 se esperan tener 20 millones. La ZMCM genera 36% del PIB y consume 17% de la energía del país.

Diariamente se realizan 30 millones de viajes en 3 millones de autos privados, 56 mil taxis, 70 mil combis y microbuses, 11 mil autobuses urbanos, 8 líneas del metro con 2205 vagones.

Entre las 30 mil industrias y 12 mil establecimientos de servicio del valle 4 mil manejan procesos de combustión o de transformación con emisiones significativas al aire.

A parte de las actividades humanas, la contaminación en el Valle de México depende de características naturales, como son : ubicación y condiciones meteorológicas del valle y las sierras que lo rodean (radiación solar ; frecuencia, intensidad y dirección del viento o de precipitaciones).

La interacción entre los diferentes contaminantes y los componentes del aire modifican la química atmosférica (procesos fotoquímicos).

La combustión incompleta que se efectúa en los motores a gasolina se agudiza debido al menor contenido de oxígeno en la atmósfera en el valle (en comparación con el nivel del mar baja 23%).

Las frecuentes inversiones térmicas en el valle tienen especial relevancia en la concentración de contaminantes en el aire durante las primeras horas del día.

Por su altitud y latitud, así como por sus condiciones climáticas el Valle de México recibe intensa radiación solar que promueve la generación de compuestos fotoquímicos contaminantes.

Debido a las diversas condiciones que influyen en el proceso real de la combustión en el motor de un vehículo se generan sustancias tóxicas y agresivas en mayor y menor cantidad como : monóxido de carbono, plomo, dióxido de azufre, bióxido de carbono, etc.

Otros contaminantes se producen por reacciones secundarias, HC y NO_x reaccionan en la atmósfera en presencia de la luz solar (reacciones fotoquímicas) y forman otras sustancias todavía más agresivas; entre ellas la más importante es el ozono (O₃).

Los efectos de las sustancias generadas por la combustión son :

HIDROCARBUROS.- Contribuyen a la formación de ozono, irritan ojos y nariz, algunos (como el benceno) son cancerígenos.

MONOXIDO DE CARBONO.- Al ser inhalado tiene un efecto altamente tóxico ya en pequeñas concentraciones.

OZONO.- En concentraciones elevadas es dañino para la salud humana, la vegetación, la fauna y los materiales en general.

OXIDOS DE NITROGENO.- Puede ser fatal en concentraciones elevadas. A nivel de concentraciones medias irrita los pulmones, causa bronquitis, neumonía y disminuye la resistencia a infecciones respiratorias.

PLOMO.- Es altamente tóxico. Contamina la atmósfera y el suelo. Entra al organismo humano por la cadena de alimentos (carne, productos lácteos, etc.) o por las partículas de polvo en el aire.

DIOXIDO DE AZUFRE.- Es un irritante respiratorio que normalmente se absorbe por la nariz y en las vías respiratorias superiores. En combinación con la humedad del aire y las precipitaciones forma la llamada lluvia ácida que en mayores y prolongadas concentraciones afecta la vegetación y edificios.

BIOXIDO DE CARBONO.- No es tóxico, no obstante la creciente cantidad generada por la quema masiva de hidrocarburos en el mundo produce el efecto invernadero con la consecuencia de un incremento de la temperatura y el nivel de los mares.

Actualmente en la ZMCM se queman aproximadamente las siguientes cantidades de combustible en automóviles : gasolina 200 mbd (equivalente de 25% a 30% del consumo nacional) ; diesel 30 mbd (aproximadamente 16% del consumo nacional).

Debido a lo anteriormente expuesto se presenta este trabajo, el cual tiene como objetivo reducir las emisiones contaminantes de los vehículos automotores mediante el ahorro de gasolina. Para lograr éste ahorro se propone como alternativa suministrar gas L.P. ya que no contiene plomo ni otros aditivos, su combustión es casi completa y limpia, por lo tanto produce menos nivel de contaminación, además en comparación con otros combustibles es más barato. Esperamos que éste trabajo pueda contribuir para reducir los niveles de contaminación en la ciudad de México.

mbd : miles de barriles por día ; 1 barril = 120 litros.

CAPITULO 1

MOTOR DE COMBUSTION INTERNA ENCENDIDO POR CHISPA

1.1 El motor de cuatro tiempos encendido por chispa

La mayoría de los motores de combustión interna, utiliza el principio del émbolo recíprocante, según el cual, un émbolo se desliza en un cilindro con un movimiento alternante. Con este movimiento se obtiene una fuerza motriz mediante un simple mecanismo de biela manivela.

En 1862, Beau de Rochas propuso la secuencia de funcionamiento para el motor de émbolo recíprocante, que aún hoy en día es típica de la generalidad de los motores encendidos por chispa, y que es:

- 1.- Una carrera de admisión para inducir una mezcla combustible hacia el interior del cilindro del motor (válvula de admisión abierta).
- 2.- Una carrera de compresión, para elevar la temperatura de la mezcla (ambas válvulas cerradas).
- 3.- Al final de la carrera de compresión, se produce la chispa por medio de una bujía, encendiendo la mezcla homogénea y liberando energía que aumenta la temperatura y la presión de los gases; en seguida desciende el émbolo en la carrera de expansión o de potencia (ambas válvulas cerradas). Ver figura 1.1
- 4.- Una carrera de escape, para arrojar al exterior los gases quemados, producidos por la explosión en el cilindro.

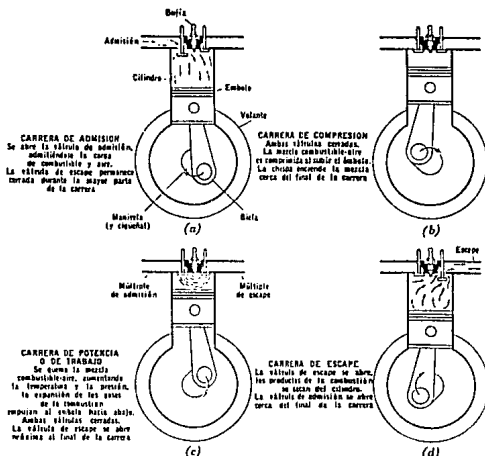


Fig. 1.1 Ciclo de cuatro tiempos encendido por chispa (ECH). Cuatro tiempos, girando el cigüeñal 180 grados por cada una, ó 720 grados por ciclo.

En 1876, Otto, un ingeniero alemán, aprovechando el principio de Beau de Rochas, construyó un motor con ciclo de trabajo de cuatro tiempos que resultó muy afortunado, habiéndose conocido el ciclo de sucesos, como ciclo Otto.

Al tratar sobre el motor de émbolo reciprocante, se emplean frecuentemente los términos: desplazamiento, volumen de compresión y relación de compresión ó de expansión.

El desplazamiento (D), es el volumen (en cm^3 ó plg^3) barrido por el émbolo en una carrera (n veces este valor para un motor con n cilindros); el volumen de compresión (c), es el volumen de los gases comprimidos y es también el

volumen de la cámara de combustión; la **relación de compresión o de expansión** (r_v) es igual a :

$$r_v = (c + D) / c \quad (1.1)$$

La mayoría de los motores encendidos por chispa (ECH) tienen relaciones de compresión muy próximas de 8 a 1 aunque en la actualidad ya son muy comunes las relaciones de compresión de 10 a 1.

En todos los motores de émbolo recíprocante, éste llega necesariamente a una completa inmovilidad, en dos posiciones particulares del cigüeñal antes de invertir la dirección de su movimiento

Cuando el émbolo ha llegado al límite inferior de su carrera descendente se tiene una posición "muerta" llamada **punto muerto inferior (PMI)**. Existe una posición "muerta" semejante pero en el lugar opuesto, es decir, el **punto muerto superior (PMS)**. Debido a esta posición "muerta"; la combustión de la mezcla en el motor Otto ocurre prácticamente a volumen constante. Debido a que la carrera de potencia solo ocurre en una parte del tiempo total del ciclo, se emplea un volante para hacer uniformes dichos impulsos, obteniendo así, esencialmente, una rotación uniforme del cigüeñal.

1.2 Control de la velocidad y de la carga en los motores ECH

Como una chispa puede encender solamente a una mezcla combustible, si se desea que la flama se propague a través de ella, deberán estar presentes en toda la cámara de combustión, las cantidades de aire y combustible en una proporción razonablemente definida (y homogénea) (aproximadamente 15 partes de aire por una de combustible en peso). Un carburador, es el medio usual para obtener la relación aire-combustible. En la figura 1.2 se ilustran las partes básicas de un carburador simple: un venturi, una tobera para combustible

con orificio medidor, un recipiente para combustible en la cámara del flotador, un acelerador y un ahogador.

Más adelante se explica con mayor detalle el funcionamiento del carburador.

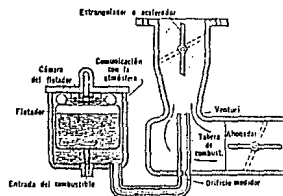


Fig. 1.2 Elementos de un carburador simple, de succión ascendente.

El esfuerzo de giro aplicado al cigüeñal, depende de la masa de la mezcla quemada en cada cilindro, por ciclo, y se controla, restringiendo la cantidad de mezcla (pero no necesariamente la relación aire-combustible), que entra al cilindro en la carrera de admisión. Esto se consigue mediante el empleo, en el carburador, de una válvula llamada estrangulador o acelerador, para obstruir el paso hacia el múltiple de admisión. En la carrera de admisión, si el acelerador está casi cerrado, entrará al cilindro solamente una pequeña cantidad de mezcla y la presión dentro de él estará muy por debajo de la atmosférica, con las correspondientes presiones de compresión y combustión, también bajas. La velocidad resultante del motor será lenta y si el cigüeñal no está acoplado a una carga externa, se dice que el motor está en vacío (ralentí).

Cuando el acelerador se abre gradualmente, la velocidad del motor irá aumentando hasta un valor determinado por la carga externa acoplada a la flecha motriz. (la carga es un freno opuesto a la rotación de la flecha y puede ser suministrada, por ejemplo, por la resistencia de las ruedas motrices de un

vehículo sobre la carretera o bien, por la resistencia de una hélice girando en el agua o en el aire). Por lo tanto, la velocidad del motor se controla mediante las posiciones del estrangulador o acelerador, y también, por la magnitud de la carga. Puede mantenerse una velocidad definida, variando la posición del estrangulador con relación a la carga; o pueden obtenerse diferentes velocidades manteniendo constante la posición del estrangulador y haciendo variaciones en la carga.

El ahogador permite al motor recibir una cantidad adicional de combustible (mezcla "rica") para el arranque, cuando está frío. Nótese que al cerrar el ahogador, la succión del motor se ejerce directamente en la tobera del combustible, mientras que se restringe la entrada de aire.

1.3 Partes y detalles del motor

Las partes componentes del motor de combustión se construyen de diferentes materiales, en esta sección serán analizadas brevemente las funciones que realizan. (ver figura 1.3).

Conjunto de los cilindros. Los cilindros se mantienen en posición fija mediante el "monoblock" "g" el cual, en los motores pequeños, forma una sola pieza con el "cárter" "k" para obtener mayor rigidez. Esta estructura se hace generalmente de hierro fundido aun cuando en algunos casos se forma mediante placas de acero soldadas. "Los ductos" "j" pueden ser hechos mediante corazones en el bloque al fundirlo y sirven para distribuir la lubricación a presión hasta los "cojinetes principales" "y". Para motores de trabajo pesado se instalan camisas que pueden reemplazarse cuando se desgastan. Dichas camisas son del tipo "húmedas" "w", estas deben independizar las "camisas de agua de enfriamiento" "v" del "depósito de aceite" "z".

Tanto para las camisas, como para los cilindros, el material usual es la fundición gris por su buena resistencia al desgaste (que puede mejorarse mediante la

adición de pequeñas cantidades de níquel, cromo y molibdeno).

Aparentemente, esta resistencia al desgaste se alcanza por la habilidad del hierro fundido para formar una superficie tersa, durísima, cuando es sometido a fricción por deslizamiento. Así, cuando el motor es armado por primera vez, se sugiere correrlo a bajas velocidades y con cargas ligeras, para facilitar la formación de esa capa protectora. La duración de este período de "asentamiento" aumenta cuando las superficies en contacto son ásperas, pues con superficies ásperas sobreviene la soldadura superficial del metal (rayaduras). Para evitar las rayaduras y facilitar el período de asentamiento, se les da a los cilindros, levantaválvulas, émbolos y anillos para émbolo, un tratamiento químico y se recubren superficialmente con estaño, cadmio o cromo.

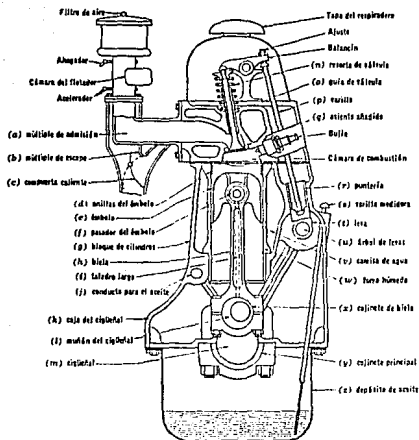


Fig. 1.3 Sección transversal de un motor ECH, ciclo de cuatro tiempos con válvulas en la cabeza.

El "cigüeñal" "m" es, generalmente, una pieza de acero forjado, sin embargo, el advenimiento de cigüeñales largos y rígidos en motores multicilíndricos con esfuerzos relativamente bajos, permiten emplear el hierro fundido como sustituto, con objeto de reducir costos. El cigüeñal se apoya en los "cojinetes principales" "y"; en los motores de servicio pesado, el número de cojinetes principales es igual al número de cilindros más uno.

Después de la parte concéntrica del cigüeñal sigue el "muñón" "l" que conecta al "cojinete" "x" de la biela. Los cojinetes de las bielas y los principales son suplementos reemplazables con la parte posterior de acero o de bronce y con

babbit (aleación de plomo, estaño y antimonio), cobre-plomo o aleaciones de cadmio usadas frecuentemente como materiales antifricción.

Un "depósito para aceite" "z" de acero estampado sella el conjunto del bloque y sirve como colector de aceite o recipiente para el aceite lubricante. Una "varilla medidora" "s" resulta un buen recurso para comprobar el nivel del aceite.

Conjunto de los émbolos y las bielas.- El "émbolo" "e" se construye de aluminio, acero fundido o hierro siendo su función principal la de transmitir a la "biela" "h" la fuerza originada en el proceso de combustión. Al realizar esto, las posiciones angulares de la biela permiten que se ejerza un esfuerzo considerable en un lado de las paredes del cilindro y este empuje es creado por el faldón del émbolo, esto es la sección debajo de los anillos.

El émbolo se provee de cuando menos tres anillos. Los anillos superiores se llaman de compresión porque su función es la de detener los gases a alta presión dentro del cilindro y evitar en esa forma el escape de ellos hacia el interior del cárter en las carreras de compresión y de potencia. El anillo inferior generalmente es el controlador de aceite. El objeto de este anillo es el de quitar el aceite sobrante de la pared del cilindro y transferirlo a través de ranuras en el anillo hasta los agujeros de drenaje en el émbolo que permitan al aceite regresar al depósito.

La "biela" "h" de acero forjado, con sección de viga en I, une al émbolo y al cigüeñal. Puede tener un taladro a todo lo largo para conducir el aceite lubricante desde el "cojinete" "x" de la biela hasta el "perno" "f" del émbolo.

Mecanismo de las válvulas.- La válvula ilustrada en la figura 1.3 es una válvula de vástago, pero algunos motores se construyen con válvulas deslizantes o válvulas rotatorias.

El mecanismo completo consta de un "árbol de levas" "u" que es movido por el cigüeñal mediante engranes o con una cadena de transmisión. Cada válvula en el motor es accionada mediante una "leva" "l" por separado. La leva levanta a la "puntería" "r" (que es un miembro importante para absorber el empuje impuesto por la leva). La válvula es obligada a seguir el movimiento de la leva mediante el "resorte de válvulas" "n" (siendo común emplear dos resortes). En los motores de cabeza en I se requieren otros eslabones adicionales como son: un levantaválvulas tubular "p" y un balancín. Se mantiene un pequeño juego en el conjunto de la válvula mediante un ajuste en el balancín.

La válvula de admisión se hace de una aleación de acero al cromo-níquel, en tanto que la válvula de escape que es menor y que trabaja a temperaturas más elevadas (aproximadamente 660°C) se hace de una aleación de cromosilicio (silchrome). La válvula de escape realiza un trabajo particularmente severo porque se abre cuando los gases de la combustión están arriba de 1650 °C y esta corriente de gases calientes pasa por su cara.

Lubricación.- Los motores modernos son lubricados ya sea mediante un sistema de circulación alimentado a presión o mediante una combinación de alimentación a presión y salpicadura. En un sistema completamente a presión, el aceite se pasa por un filtro antes de pasar a la bomba del aceite que es movida por el árbol de levas. El aceite proveniente de la bomba se divide en dos o más flujos; uno de ellos entra al filtro y regresa al depósito de aceite, un segundo flujo va hasta los cojinetes principales y mediante conductos taladrados a través de los brazos del cigüeñal hacia los cojinetes de las bielas, un tercer flujo continúa hasta los cojinetes del cigüeñal; puede llegar un cuarto flujo a una flecha hueca que soporta a los balancines, de ahí a los cojinetes de ellos y a la junta de los balancines y el levantaválvulas. El aceite que escurre por el levantaválvulas lubrica las punterías y las levas. Las paredes del cilindro

reciben suficiente aceite de los sobrantes por exceso provenientes de los cojinetes de las bielas. Por esto, un cojinete de biela flojo puede sobrecargar a los anillos que controlan el aceite, como para que surja una falla de la bujía.

En vista de que es costoso el barrenado del cigüeñal y de las bielas, se pueden colocar debajo de cada biela, artesas que se mantendrán llenas de aceite proveniente de la bomba. Una saliente en el extremo de la biela, se sumerge en la artesa y forma un rocío de aceite para lubricar el cojinete de la biela, las paredes del cilindro y el perno del émbolo.

1.4 El ciclo Otto de aire normal

No obstante que el motor de combustión no funciona de manera estricta de acuerdo con un ciclo termodinámico, el concepto del ciclo sigue siendo una herramienta muy útil para mostrar los efectos de los cambios en las condiciones de operación, para indicar el rendimiento básico y para comparar un tipo de motor de combustión con respecto a otro.

Cuando en un ciclo hipotético se presupone que el fluido motriz es aire solamente, se le conoce como "ciclo de aire normal".

El ciclo Otto de aire normal presenta los siguientes procesos:

- 1.- Comenzando con el émbolo en el PMI, la compresión se efectúa isoentrópicamente de 1 hacia 2 (proceso adiabático reversible).**
- 2.- Se agrega calor a volumen constante de 2 a 3 (proceso isométrico).**
- 3.- La expansión se produce isoentrópicamente de 3 a 4.**
- 4.- El calor es cedido a volumen constante de 4 hacia 1.**

Las figuras 1.4a y 1.4b muestran los diagramas P-V y T-s correspondientes al ciclo. La masa de aire permanece constante durante todo el ciclo. Esto difiere del que se presenta en los motores de combustión interna reales.

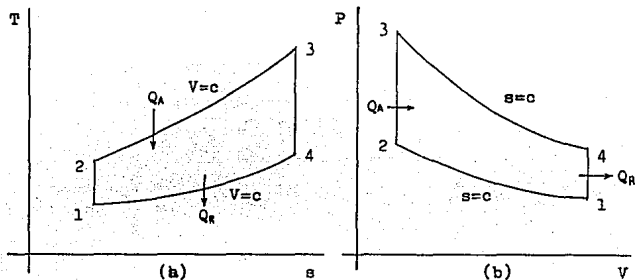


Fig. 1.4 (a) Diagrama T-s para un ciclo Otto de aire normal. (b) Diagrama P-V que corresponde al ciclo anterior.

Para este ciclo, por unidad de peso de aire se tiene:

$$Q_{A \text{ rev}} = C_v (T_3 - T_2) \quad (1.2)$$

$$Q_{R \text{ rev}} = C_v (T_1 - T_4) \quad (1.3)$$

Calculando la eficiencia térmica del ciclo Otto. La eficiencia térmica se define como el trabajo producido dividido entre el calor agregado.

$$E_t = (Q_A - Q_R) / Q_A = 1 - [(T_4 - T_1) / (T_3 - T_2)]$$

$$E_t = 1 - [T_1 (T_4 / T_1 - 1) / T_2 (T_3 / T_2 - 1)] \quad (1.4)$$

Las temperaturas se hallan relacionadas por un proceso isoentrópico entre los estados 1-2 y 3-4 por lo tanto:

$$T_2 / T_1 = (v_1 / v_2)^{k-1} \quad ; \quad T_3 / T_4 = (v_4 / v_3)^{k-1} \quad (1.5)$$

Como las relaciones de compresión y expansión son iguales:

$$(v_1 / v_2)^{k-1} \quad \text{relación de compresión}$$

$$(v_4 / v_3)^{k-1} \quad \text{relación de expansión}$$

$$(v_1 / v_2)^{k-1} = (v_4 / v_3)^{k-1} = r^{k-1}$$

De manera que:

$$T_2 / T_1 = r^{k-1} \quad ; \quad T_3 / T_4 = r^{k-1} \quad (1.6)$$

$$T_2 / T_1 = T_3 / T_4 \quad , \quad \text{o sea que} \quad T_4 / T_1 = T_3 / T_2$$

Sustituyendo éste resultado en la ecuación de la eficiencia térmica del ciclo Otto con aire normal (ec. 1.4) se encuentra que:

$$E_t = 1 - (T_1 / T_2) = 1 - (v_2 / v_1)^{k-1} = 1 - (1 / r^{k-1}) \quad (1.7)$$

De manera que la eficiencia térmica del ciclo Otto únicamente es función de la relación de compresión. Conforme se incrementa dicha relación, sucede lo mismo con la eficiencia.

En un motor real la compresión está limitada por la temperatura del estado 2. Si tal temperatura fuera demasiado elevada, la mezcla aire-combustible se encendería espontáneamente y en el momento impropio.

La eficiencia del ciclo Otto de aire normal es mucho mayor que la de un motor real.

La figura 1.5 muestra la gráfica de la eficiencia en función de la relación de compresión para dos valores de k , e indica dónde puede hallarse la eficiencia del motor real.

El valor de la eficiencia térmica correspondiente a $k = 1.4$ se denomina "eficiencia estándar de aire caliente".

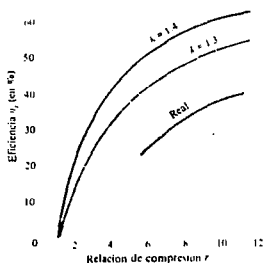


Fig. 1.5 Eficiencia térmica de motores ideales y reales en función de la relación de compresión.

1.5 El ciclo Otto real

Uno de los conceptos más difíciles en el análisis de un motor de combustión interna es el del ciclo según el cual funciona. El que se emplea para analizar un motor de aire normal, no es un ciclo real o de existencia práctica. En realidad, la masa de aire y los productos de la combustión experimentan un cambio continuo. Como se sabe, es imposible volver a usar el aire admitido, de modo

que un suministro de aire nuevo tiene que proporcionarse continuamente al motor, eliminando también en forma continua los productos de la combustión.

1.6 El diagrama P-V real

El diagrama p-V correspondiente a un motor ECH se ilustra en la figura 1.6, donde se muestra la superposición de las líneas que corresponden al ciclo Otto. El proceso de compresión de 1 a 2 no es adiabático, de manera que la presión real es menor que la ideal. La ignición se produce antes de que el pistón llegue al punto muerto superior, dando un cierto tiempo para que la combustión se lleve a cabo. El proceso de combustión no se efectúa a volumen constante; se produce una pérdida de energía hacia las paredes del cilindro y la cabeza del émbolo, y este último se desplaza hacia abajo. De manera que la presión máxima es menor que la del ciclo ideal. El proceso de expansión no es adiabático, y a esto se deben las menores presiones del estado 3 al 4.

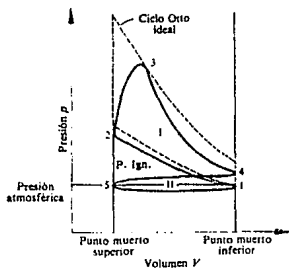


Fig. 1.6 Diagrama P-V para un motor ECH en el que se tiene superposición del ciclo Otto ideal. (P. Ign. = punto de ignición).

Se observa que la apertura de la válvula de escape se realiza antes de que el pistón llegue al punto muerto inferior, y lo anterior reduce la potencia desarrollada (se reduce el área I).

¿Porqué sucede esto ? El área II representa el trabajo que el motor tiene que realizar para la expulsión de los gases de escape, del estado 4 al 5, y permitir la entrada de una nueva carga de aire, de 5 a 1. Aquí debe llevarse a cabo una transacción que permita que el área neta (I - II) tenga un valor máximo. Si la válvula de escape se abre demasiado rápido, entonces la reducción del área I no podrá compensar la disminución resultante del área II . En tales condiciones, es menor la presión de escape en el estado 4, y la línea 4 - 5 se acerca más a la horizontal. Si la válvula de escape se abriera demasiado tarde, el trabajo necesario para expulsar los gases de combustión sería mayor debido a la mayor presión en el estado 4 . Esto lo indica el incremento en el área II .

CAPITULO 2

SISTEMAS DE LOS VEHICULOS DE COMBUSTION INTERNA

SISTEMA DE ENCENDIDO CONVENCIONAL

2.1 Intervención del encendido en el funcionamiento del motor ECH

El motor térmico en general tiene la misión de convertir la energía calorífica que contiene el combustible en energía mecánica. Esta conversión se realiza en la cámara de combustión del motor.

Para llevar a cabo la inflamación de la mezcla en el momento preciso es necesario acudir a un sistema de encendido.

En la figura 2.1 se observa el dibujo de una cámara de combustión propia de un motor de explosión de cuatro tiempos.

El encendido provocado a la mezcla se realiza por procedimientos eléctricos. En efecto: en los motores de explosión el salto de la chispa eléctrica de alta tensión entre los electrodos de una bujía (B) es la primera causa de que se inicien los fenómenos químicos de la combustión.

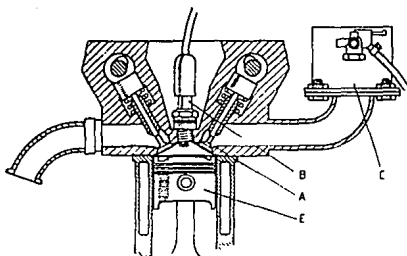


Fig. 2.1 La cámara de combustión es el lugar en el que se produce el intercambio de energías. A, válvula de admisión. B, bujía. C, carburador. E, émbolo.

En la figura 2.2 se tiene una representación del momento en que salta la chispa eléctrica entre los electrodos de la bujía.

La mezcla aumenta considerablemente su temperatura y se expande empujando al émbolo con gran fuerza: es el momento útil o de trabajo y corresponde al tiempo denominado de " explosión " en este ciclo de cuatro tiempos. Posteriormente la válvula de escape se abrirá y los residuos de la combustión pasarán a la atmósfera preparándose la cámara nuevamente para recibir mezcla nueva y, ante la presencia de una nueva chispa eléctrica, producir otro tiempo de explosión.

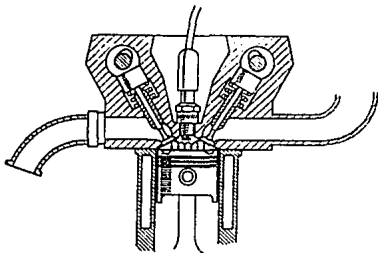


Fig. 2.2 El punto culminante se produce cuando la mezcla está comprimida y se produce el salto de la chispa entre los electrodos de la bujía.

Para ser efectiva, la chispa eléctrica debe cumplir con las siguientes condiciones: En primer lugar debe alcanzar una elevada tensión eléctrica pues al hallarse comprimida la mezcla, la atmósfera en el interior de la cámara de combustión resulta muy densa y de difícil penetración. Esta tensión debe ser, como mínimo, de alrededor de los 14, 000 voltios. En segundo lugar, debe disponer de una cantidad de energía eléctrica de cierta consideración que debe encontrarse, aproximadamente, entre los 0.04 a 0.06 amperios. Y en tercer lugar, el salto de esta chispa debe encontrarse perfectamente sincronizado con el giro del cigüeñal del motor para que la combustión se inicie y produzca exactamente en el punto muerto superior del émbolo, al final del tiempo de compresión e inicio del tiempo de explosión, a pesar de los cambios en la velocidad del émbolo a que un motor de este tipo está sometido.

2.2 Esquema básico de un sistema de encendido

En la actualidad existen varios sistemas por medio de los cuales se consiguen los objetivos que se acaban de mencionar, pero los más comunes son aquellos que utilizan procedimientos eléctricos, o bien electrónicos, siendo de hecho

cada día más importante el sistema de encendido electrónico. También existen encendidos que funcionan con sistemas piezoeléctricos.

De todos estos sistemas, el más sencillo y fácil de comprender es el sistema convencional que utiliza distribuidor y platinos, y que es conocido normalmente con el nombre de encendido por platinos y condensador o convencional.

En la figura 2.3 se presenta un dibujo que muestra la constitución general de uno de estos circuitos. Consta de los siguientes elementos: la batería (1) que alimenta de corriente eléctrica al circuito (también puede estar sustituida por el alternador cuando el motor está en marcha. La llave de encendido (2), desde la que la electricidad se reparte por los principales circuitos del automóvil. Uno de ellos es formado por la bobina de encendido (3), la cual posee dos arrollamientos: uno grueso (A), que forma el circuito de baja tensión , y otro muy fino de muchas vueltas (B) que forma el circuito de alta tensión.

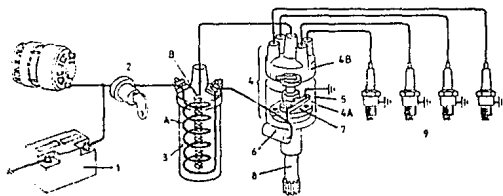


Fig. 2.3 Esquema general del funcionamiento de un sistema de encendido electromecánico.

La corriente recibida por la bobina desde el interruptor de encendido pasa a través del arrollamiento (A) hasta el distribuidor (4) que, en su parte baja (4A) consta de un interruptor, que recibe el nombre de platinos (5), el cual es capaz de interrumpir el circuito de baja tensión cuando sus contactos se separan. Esta parte del distribuidor va provista también de un condensador (6) y de un avance de encendido (7), y, por otra parte, lleva un eje, cuyo

extremo vemos en (8), que está accionado por el motor y sincronizado con el giro de éste, de modo que el distribuidor conoce en todo momento la posición exacta de los pistones del motor.

Por otro lado, y a partir de la bobina (3) se tiene el arrollamiento de hilo fino (B) que constituye el circuito de alta tensión. Cuando, por medio del fenómeno de la inducción se establece la corriente de alta tensión, ésta pasa a la tapa del distribuidor (4B) por medio de una escobilla y desde allí se distribuye a las bujías (9) siguiendo el mismo orden que corresponde al orden de encendido de los pistones de modo que salte la chispa entre los electrodos de las bujías en el mismo momento en que los émbolos alcanzan cada uno de ellos sus respectivos PMS al final del tiempo del ciclo llamado compresión.

El funcionamiento eléctrico de este sistema queda representado en las figuras 2.4 y 2.5 para cada uno de los circuitos de baja y alta tensión respectivamente. En la primera figura se tiene el momento del paso de la corriente por el arrollamiento primario gracias a que los contactos de los platinos se encuentran cerrados. Así pues, la corriente procedente de la batería o bien del alternador pasa a través del switch de encendido, circula por el arrollamiento primario de la bobina y pasa al distribuidor en donde, a través de los platinos que se hallan cerrados, puede pasar a tierra y establecer de esta forma su circuito natural de circulación.

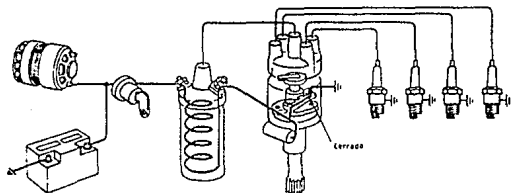


Fig. 2.4 Recorrido de la corriente de baja tensión.

Pero cuando, en virtud del mecanismo de que dispone el eje del distribuidor, los platinos se separan, el circuito que se acaba de ver queda abierto y la corriente interrumpe bruscamente su paso por el arrollamiento primario de la bobina. Este es el momento en que, dentro de ésta se induce una nueva corriente cuando las líneas magnéticas creadas por el arrollamiento primario citado cortan las muchísimas espiras del arrollamiento secundario. La corriente así generada tiene una intensidad mucho menor pero una tensión muy elevada, superior a los 14, 000 voltios, de modo que se trata de una corriente de alta tensión . Este es el momento que se ha representado en la figura 2.5 .

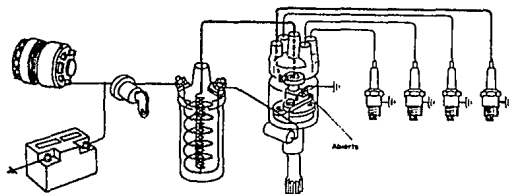


Fig. 2.5 Recorrido de la corriente de alta tensión.

La corriente de alta tensión que sale por el borne central superior de la bobina va a la tapa del distribuidor. Desde allí y por medio de la escobilla se va distribuyendo a cada una de las bujías para que salte en ella la chispa que ha de inflamar la mezcla. El eje del distribuidor es accionado por el cigüeñal (en muchos casos por el mismo árbol de levas). El giro del eje está siempre relacionado con la posición del cigüeñal y por lo mismo, con la posición de los émbolos dentro del cilindro. De acuerdo con ello, cuando el eje del distribuidor interrumpe el cierre de los platinos es porque un émbolo determinado se encuentra a punto de alcanzar su PMS, en el tiempo de explosión. Este es el

mismo momento en que se interrumpe el paso de la corriente por el arrollamiento primario de la bobina de modo que en ella se produce la corriente de alta tensión. Esta corriente de alta tensión pasa a la tapa del distribuidor y de allí a la escobilla que es solidaria del mismo eje del distribuidor y, como tal, conoce cual es el cilindro en el que el émbolo está a punto de llegar a su PMS. El distribuidor manda, pues, la corriente al cilindro indicado y la chispa es recibida por su bujía correspondiente en el momento preciso en que la mezcla está comprimida y el émbolo en su PMS.

2.3 Algunos problemas propios del encendido

Resulta muy importante analizar algunas particularidades especiales que este circuito presenta. Se trata de considerar una serie de fenómenos según los cuales el funcionamiento práctico resulta diferente del funcionamiento teórico que se acaba de mencionar.

En primer lugar se encuentra el problema de la alta velocidad de desplazamiento que tienen los émbolos dentro de sus cilindros respectivos, velocidad que, por otra parte, resulta muy variable, desde el régimen de giro del motor a ralenti (que pueden ser unas 600 a 800 RPM) hasta el giro a máxima potencia (entre 5,800 a 6,300 RPM), existe una gran diferencia de condicionamientos para unos mecanismos estudiados para producir una chispa eléctrica que debe producirse en momentos muy estrictos y precisos.

A continuación se analizan los problemas que se presentan en la práctica en el funcionamiento de los circuitos de encendido.

2.4 Número de chispas por minuto

El número de chispas por minuto que se precisan para el funcionamiento de un motor depende, en primer lugar, de su número de cilindros y también del régimen de giro del motor.

En los motores de cuatro tiempos, en los que cada dos revoluciones del cigüeñal se produce una explosión en cada uno de sus cilindros, puede hacerse fácilmente el siguiente cálculo, suponiendo que el motor fuera de cuatro cilindros, como es lo más frecuente en los automóviles medios y pequeños. Cuando este motor gira al régimen de 4,000 RPM, la producción de chispas a cargo del circuito de encendido resulta necesariamente de $4,000 / 2 = 2,000$ tiempos de trabajo que producidos por cada uno de los cuatro cilindros de que consta el motor, significarán $2,000 \times 4 = 8,000$ chispas por minuto.

Esto quiere decir que los platinos deben abrir y cerrar 8,000 veces en un minuto, y 8,000 veces también se debe producir la inducción en la bobina así como todo el resto del trabajo encomendado al resto de los elementos que componen el circuito de encendido.

El tiempo de que dispone un circuito de encendido en las condiciones descritas será, lógicamente, de $60 / 8,000 = 0.0075$ segundos para realizar todas las operaciones descritas para cada una de las chispas que produce.

De esta brevedad en el tiempo necesario exigido para el funcionamiento correcto del motor el elemento que recibe las consecuencias de un modo más directo es, sin duda, la bobina; y menos afectados, aunque también de gran importancia, quedan los platinos y el condensador. Esta brevedad de tiempo para efectuar su trabajo que empieza a ser crítica por encima de las 6,000 RPM para los sistemas de encendido convencionales como el que se describió, provoca un fenómeno en la bobina ocasionando como un estado de cebamiento que produce fallas generales para todo el circuito de alta tensión. El trabajo encomendado a los platinos resulta demasiado severo y se producen rebotes en los contactos que interfieren su labor de auténtico interruptor de un circuito, de modo que pueden ser (y son) causa de frecuentes fallas en la alimentación de las bujías. Además, hay que añadir a todo ello el calor que se genera durante el corte de la corriente que el ruptor puede no ser capaz de evacuar cuando la

sucesión de cortes de corriente es tan abundante. Las altas temperaturas a que pueden llegar los platinos alcanza a fundir el material de que están contruidos.

2.5 Momento del salto de la chispa

Anteriormente se vió como resulta variable el tiempo de que dispone un equipo de encendido para llevar a cabo su trabajo cuando éste resulta muy exigente en la cantidad de chispas por minuto que se precisan.

Hay un factor muy importante que no actúa de la misma forma, es decir, que no aumenta a medida que aumenta la velocidad de giro sino que, por el contrario, siempre mantiene la misma velocidad aún cuando el árbol motor esté forzado a girar a gran velocidad.

Este factor es la velocidad de la combustión. Ello tiene las siguientes implicaciones:

Desde un punto de vista teórico la chispa debe producirse cuando el émbolo se halla en su PMS. Pero la chispa es solamente el inicio de la combustión que, aunque se produce muy rápidamente, no se realiza en forma instantánea sino que precisa de unas milésimas de segundo para que la combustión se produzca enteramente.

En realidad, los factores que pueden acelerar o disminuir ligeramente el tiempo necesario para que se efectúe enteramente la combustión, se relacionan con la composición de la mezcla. Así se tiene que las mezclas ricas son más rápidas y las mezclas pobres resultan más lentas en su reacción. También la temperatura del motor o de la mezcla es un factor que interviene para determinar su rapidez.

Contando con esta demora y con la necesidad de que el mayor punto de expansión producido en la combustión ha de realizarse cuando el émbolo se encuentra en su PMS es evidente que la chispa que inicia la citada combustión tiene que producirse unas milésimas de segundo antes de que el émbolo haya alcanzado su PMS, en el tiempo de explosión, para lo cual se necesita adelantar

ligeramente el momento del salto de la chispa eléctrica con respecto a este PMS. Con ello se conseguirá que de una forma práctica coincidan combustión y PMS.

La necesidad de este adelanto en el salto de la chispa con respecto al citado PMS se produce ya en la práctica desde el mismo giro del motor a marcha lenta o ralentí. Por ello, todos los constructores establecen un punto de adelanto inicial, que supone unos pocos grados con respecto al giro del cigüeñal, que constituye el reglaje del encendido.

Ahora bien: La situación que se produce durante el giro del motor a ralentí, a unas 600 u 800 RPM, resulta muy poco complicada con lo que ocurre durante el funcionamiento normal del motor. El tiempo que permanece un pistón en el PMS varía según su régimen y por lo tanto, cuanto mayor es su velocidad menor tiempo permanece en su PMS y mayor debe ser el adelanto de la chispa para dar tiempo a que coincidan combustión y PMS. Así pues, el salto de la chispa debe poderse regular con igual flexibilidad que el giro del motor presenta, de una forma proporcional a la velocidad de régimen.

En efecto: Cuando un motor gira, por ejemplo, a 2,000 RPM la velocidad de desplazamiento del émbolo resulta evidentemente inferior a la que debe llevar a 4,000. En este caso conviene que el adelanto del momento en que se produzca la chispa de alta tensión se efectúe mucho antes que en el caso de un giro a solamente 2,000 vueltas. Si, por el contrario, el motor que gira a 4,000 va disminuyendo su giro hasta llegar a sólo 1,000 RPM, también la chispa deberá producirse cada vez más cerca del PMS, para poder, con ello, conseguir extraer el mayor rendimiento de la mezcla que alimenta al motor. De esto se deduce que los sistemas de encendido deben poseer un dispositivo capaz de hacer frente a esta necesidad y que acerquen o separen el momento del salto de la chispa en la bujía con respecto al PMS del émbolo según la velocidad a que gire el cigüeñal.

Los mecanismos encargados de determinar el momento del salto de la chispa en relación con la velocidad de giro reciben el nombre de " avances de encendido " y tienen una gran importancia en el rendimiento de los equipos de encendido, tanto convencionales como electrónicos.

Los avances de encendido pueden ser de varios tipos pues el problema se resuelve con mayor o menor calidad con sistemas mecánicos centrífugos, sistemas neumáticos o sistemas electrónicos.

En la figura 2.6 se muestra un regulador de fuerza centrífuga que actúa en el interior del distribuidor acoplado a su eje de rotación (A), y provisto de unos contrapesos (B) que se separan cuando el giro es rápido en virtud de la fuerza centrífuga a que están sometidos. Con su desplazamiento pueden arrastrar a su vez a la placa que sostiene la leva colocándola con unos grados de diferencia con respecto a los contactos del ruptor (C) que los acciona, de modo que se interrumpe el paso de la corriente por el primario de la bobina unos grados de giro antes de lo que se producía en estado de reposo.

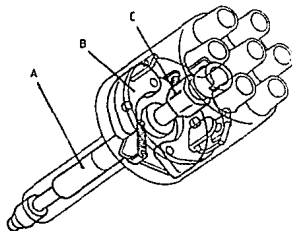


Fig. 2.6 Disposición del regulador de fuerza centrífuga en un distribuidor. A, eje de giro. B, contrapesos. C, leva que abre y cierra el ruptor.

Esto tiene la consecuencia de que la chispa salta antes en la bujía. Como el giro del eje del distribuidor es proporcional al giro del motor se tiene ya una referencia para establecer los momentos exactos en que conviene el adelanto de la chispa.

En la figura 2.7 se presenta un ejemplo para ver los grados de avance a cada una de las RPM del motor, o del distribuidor, en un avance de encendido centrífugo hipotético.

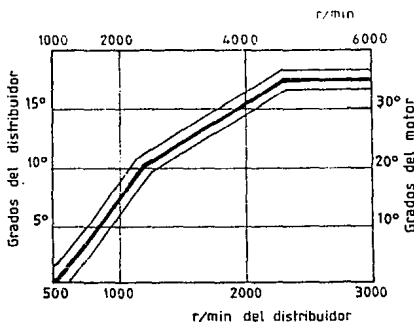


Fig. 2.7 Grados de avance de un regulador centrífugo en un distribuidor hipotético.

El regulador centrífugo solamente actúa con eficacia cuando el giro del motor empieza a ser elevado. A pocas revoluciones del eje del distribuidor, gira también con un desplazamiento inapreciable que no es capaz de arrastrar eficazmente la placa que sostiene los contactos del ruptor. Por esta razón el distribuidor lleva además, en muchos casos, un nuevo regulador llamado regulador de vacío, conectado por medio de un tubo al múltiple de admisión. Su forma de funcionar es la siguiente:

El hecho de que el motor gire a pocas revoluciones es, normalmente, debido a que la mariposa del carburador está cerrada de modo que obstaculiza el paso de la mezcla (ver figura 2.8). El poder de succión de los cilindros es muy grande y es dirigido por un conducto (C) hasta el regulador de vacío del distribuidor, accionando una membrana (M) unida a los platinos del ruptor a los que transmite movimiento con respecto a la leva. Cuando la mariposa se halla más abierta, entonces la aspiración del motor queda compensada con la mayor entrada de gas y el avance de vacío deja de funcionar por falta de succión. Cuando el motor aumenta su giro, el encargado de regular el avance de encendido es el regulador centrífugo.

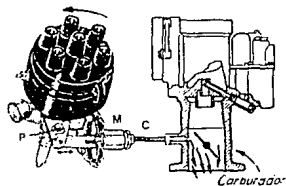


Fig. 2.8 Funcionamiento del regulador de vacío

En la figura 2.9 se presenta un diagrama que nos muestra el comportamiento típico de un regulador de vacío. Este tipo de regulador constituye un complemento de los grados de avance que logra el regulador centrífugo.

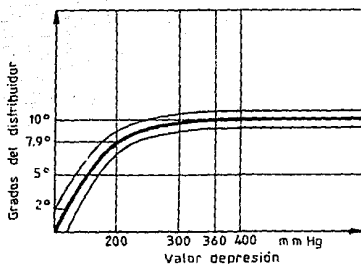


Fig. 2.9 Grados de avance de un regulador de vacío en un distribuidor hipotético.

En los modernos sistemas de encendido electrónico integrado, el avance de encendido se realiza por procedimientos completamente diferentes y, desde luego, mucho más exactos. El constructor somete el motor a unas pruebas exhaustivas de rendimiento en un banco de pruebas y mediante ellas determina una curva particular para cada momento del giro del motor en relación con la carga teniendo siempre en cuenta el máximo rendimiento del motor en cada uno de estos estados. De hecho en la práctica, el avance de encendido no tiene un comportamiento lineal del tipo que se ha visto en la gráfica de las figuras 2.7 y 2.9 (el comportamiento de los avances mecánicos y de vacío son simplemente aproximados) sino que tiene situaciones bien diferentes entre relaciones de régimen vecinas teniendo en cuenta el estado de carga del motor.

2.6 Detonación

Cuando se produce la chispa eléctrica, la combustión de la mezcla no se produce de una forma instantánea. Por el contrario, la velocidad de combustión

es relativamente reducida, del orden de sólo 30 metros por segundo. En los motores en los que la compresión a que es sometida la mezcla comienza a ser elevada (y por elevada se puede entender por ejemplo una relación de compresión superior a 8:1) ocurre que la onda explosiva puede, en un momento dado y con la utilización de gasolinas detonantes, que se produzca un fenómeno consistente en que la onda explosiva no se propague a la velocidad que se ha visto, sino que aumente, a la mitad de la combustión y de una forma súbita, a más de 100 metros por segundo. Ello es debido a que las ondas de propagación de la explosión, cuando han alcanzado cierto grado de expansión van comprimiendo a la mezcla que todavía no ha sido quemada, sometiéndola a un valor de compresión que puede ser demasiado alto hasta el punto que hace que ésta explote más en virtud de esta presión a que es sometida por los efectos naturales de la combustión .

En estas condiciones se podría decir que la mezcla se quema totalmente antes de que el émbolo haya llegado a su PMS, lo que ocasiona grandes presiones en la cámara de combustión, en el mismo émbolo, en la biela, en el cigüeñal y en todos los cojinetes intermedios, con rotura de la película de aceite, desgaste prematuro e incluso posible horadación de los pistones que se encuentran sometidos a estas grandes contrafuerzas.

En la figura 2.10 se presenta un ejemplo del proceso normal de combustión que ocurre en una cámara cuando no hay presencia de detonación. En estos seis dibujos se pueden seguir los diferentes fotogramas de una película que muestra el progreso que realiza la combustión a lo largo y ancho de la cámara. En el primer dibujo de la izquierda se tiene el momento del salto de la chispa entre los electrodos de la bujía.

Se observa el avance de la onda de la combustión que debe culminar cuando el émbolo ha alcanzado el PMS.



Fig. 2.10 Combustión normal. Partiendo del punto de inflamación provocado por la chispa de la bujía, la combustión se va propagando sucesivamente en ondas a lo largo de la cámara.

En la figura 2.11 se tiene por el contrario, la película de lo que ocurre cuando se presenta la detonación en la cámara. En los tres primeros dibujos se tiene un comportamiento normal de la onda de la combustión; pero al llegar al cuarto dibujo se puede observar como, en la parte baja de la cámara, aparecen unos focos de combustión no previstos que se adelantan a gran velocidad hacia la onda que se puede denominar "natural" produciendo una combustión mucho más rápida de lo previsto. Es en estas condiciones en las que se produce la detonación ya que la combustión queda finalizada cuando el émbolo todavía no ha alcanzado su PMS.



Fig. 2.11 Combustión con detonación. Hallándose a la mitad de la propagación la propia mezcla que se va quemando somete a una gran compresión a la no quemada aún, de modo que ésta explota a una velocidad mucho mayor y antes del PMS del émbolo.

La detonación se anuncia por un sonido metálico, como el que se produce al agitar perdigones en un tubo de vidrio, sonido que viene ocasionado por los esfuerzos a que es sometido el tren alternativo y que tiene variantes importantes según el tipo de estructura del motor.

Las causas que provocan la detonación pueden ser, principalmente, el uso de gasolinas de bajo octanaje, es decir, la utilización de gasolina de un número de octanos inferior al recomendado por el fabricante del motor. También puede ocasionar la detonación el uso de mezclas (relación aire-gasolina) excesivamente pobres muchas veces ocasionadas por un mal estado del carburador que permite entradas de aire no deseadas. Y también, por supuesto, un avance de encendido excesivo puede colaborar de una manera muy efectiva a que se produzca la detonación . En cualquier caso, el hecho de retrasar el encendido es la solución ideal para eliminar pequeños focos de detonación, razón por la cual los motores dotados de turbocompresor, que son muy susceptibles de elevar la relación de compresión en determinados momentos del funcionamiento del turbo, van provistos de un dispositivo que atrasa el encendido en cuanto se detectan sobrepresiones en las cámaras.

2.7 Autoencendido

El autoencendido consiste en una explosión espontánea de la mezcla, sin necesidad de la chispa eléctrica de la bujía. Su peor y más nocivo defecto consiste en que ésta explosión se produce en cualquier momento, sin ninguna posibilidad de control, y, por supuesto, sin que el émbolo se halle en su PMS, tal como es necesario para el total aprovechamiento de la expansión de la mezcla.

El autoencendido se produce siempre porque existen en la cámara de combustión puntos excesivamente calientes que son capaces de iniciar el proceso de combustión de la mezcla.

En la figura 2.12 está representado el caso de un punto incandescente que permanece en la misma pared de la zona alta del cilindro. La válvula de admisión está abierta, el émbolo desciende en el tiempo del ciclo llamado de " admisión " y la mezcla se encuentra con el punto incandescente que inicia en este impropio momento el proceso de combustión, el cual puede

prolongarse, incluso, durante la próxima carrera de ascenso del émbolo con las consiguientes contrafuerzas en el tren alternativo.

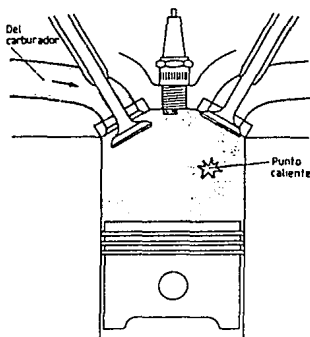


Fig. 2.12 Puntos calientes que llegan a ponerse incandescentes en el interior de la cámara de combustión, o en el cilindro, pueden provocar el autoencendido al iniciar la inflamación de la mezcla antes que salte la chispa en la bujía.

Este fenómeno puede ser producido por un exceso de calor en la cámara debido a un exceso en la relación de compresión o una falla en la labor de refrigeración, hasta el punto de que puedan producirse estos pequeños puntos muy calientes o incandescentes. También partículas de carbón no barridas por las turbulencias de la combustión, o bien los mismos electrodos de las bujías que trabajan en muy malas condiciones de evacuación de calor, pueden producir la explosión de la mezcla de modo inmediato, sin esperar la llegada del émbolo a su correspondiente PMS.

Al igual que la detonación, el autoencendido también ocasiona grandes esfuerzos sobre el cigüeñal, biela, cojinetes y émbolo, y puede llegar a deformar

cualquiera de estos elementos, aunque no suele ser tan crítico como la detonación.

Tampoco su solución depende de más problema eléctrico que la investigación en los electrodos de la bujía. Esta puede resultar excesivamente caliente, tener dificultades para desalojar el calor que recibe y llegar a mantener puntos calientes en sus puntas. Habrá que optar por utilizar una bujía de un grado térmico más frío.

SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRONICO

El punto débil del encendido tradicional es el ruptor, como ya fué explicado anteriormente. Allí se mostró la necesidad de que la corriente primaria se estableciera rápidamente, porque con las velocidades de régimen cada vez mayores, iba resultando muy reducido el tiempo para que, al cortarla hubiera llegado ya a su máximo.

A su vez, y por razones mecánicas, el ruptor no puede hacer más de 400 cortes por minuto, lo que representan 6,000 RPM en un motor de ocho cilindros, velocidad de giro a la que se van aproximando los motores comunes, pero que ya es sobrepasada en los de carreras.

El aumento de compresión implica un esfuerzo más que vencer para saltar la chispa en las bujías, y para darle fuerza no habría otro medio práctico que aumentar la intensidad de la corriente primaria, que llega a ser de hasta cuatro amperios (4 A). Pero el consiguiente calentamiento de los contactos, produce una fina película de óxido metálico azulado, sobre los contactos, que actúa a modo de aislante. La superficie se deteriora, surgen salientes y huecos; al cabo de algún tiempo se producen pequeñas chispas que prolongan el corte de la corriente, con descenso del voltaje por autoinducción (el que hacía aumentar el voltaje hasta los 20,000 voltios) y baja el rendimiento.

Ciertamente que con 10,000 voltios funcionan las bujías, pero la reserva de ignición que daba el disponer de 20,000 voltios en ralentí va reduciéndose a medida que aumentan la compresión y las RPM, y a poco desreglados que estén el ruptor o las bujías se producirían fallas a alta velocidad, con pérdida de potencia y aumento de consumo.

Para remediar estos inconvenientes se aplican los transistores al encendido.

En la figura 2.13 se comparan los esquemas del encendido convencional (1) y el transistorizado (2). En el primero, (R) corta toda la corriente del circuito primario (de trazos: batería-llave Q, bobina N, ruptor R y por tierra a batería). En (2) la corriente, entre la bobina N y el ruptor R, pasa de emisor a base en el transistor T : los cortes que el ruptor hace en esta reducida corriente son los que producen los de la grande entre emisor E y colector C. Además, aquí el ruptor no corta el voltaje incrementado por la autoinducción (hasta 200 voltios y más), los platinos del ruptor trabajan doblemente desahogados y pueden durar de 50 a 100,000 kilómetros; y el condensador K resulta innecesario, con lo que se elimina una causa de avería.

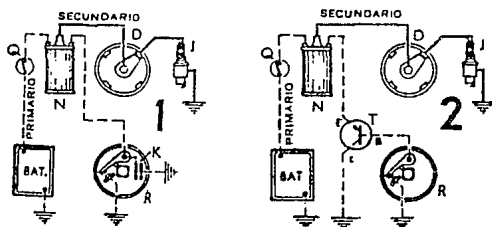


Fig. 2.13 Esquemas del encendido convencional (1) y transistorizado (2) .

En el momento del corte de la corriente ya se dijo que se produce un aumento de voltaje por la autoinducción del primario. Para disminuirlo (porque el

transistor es muy sensible a los aumentos de tensión, y no soporta 200 voltios), el arrollamiento en el primario tiene menos espiras y en el secundario más, en la relación de 200 a 400 veces más, según la marca.

La bobina es, pues, análoga en su constitución a la del encendido convencional; pero distinta en sus características eléctricas, por lo que no son intercambiables más que para un caso de emergencia e imperiosa necesidad. En la práctica suele colocarse un diodo Zener calibrado (figura 2.14) en derivación sobre el transistor para protegerlo de una sobretensión, si pasara arriba de 80 voltios la tensión en el primario de la bobina, " saltaría " el Zener descargándola a tierra sin daño para el transistor. De esta forma, la tensión realmente cortada es inferior a 80 voltios y en el secundario puede llegarse a los 30,000 . Lo mejor de este sistema transistorizado es que, en vez de caer el voltaje desde 20,000 voltios a 1,000 RPM a casi la mitad cuando el giro aumenta a 5,000 RPM (sistema normal), con el transistor la tensión del secundario para la chispa se conserva casi constante y solo disminuye un poco a partir de las 4,500 RPM siendo superior a 20,000 voltios aún después de alcanzarse las 7,000 RPM .

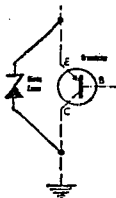


Fig. 2.14 Protección del transistor por un diodo Zener.

En las bujías, el efecto es favorable porque las chispas son mejores y más potentes; los electrodos pueden separarse hasta 1 mm. o 1.2 mm., con lo que la inflamación de gases se facilita y la formación de depósitos es más difícil. Como la chispa es más repentina y con más del doble de voltaje, " rompe el gas " mejor que irse por derivaciones a tierra sin saltar; por otra parte, los electrodos se corroen mucho menos. La consecuencia es que las bujías duran de 50 a 100,000 kilómetros sin ajuste ni apenas desgaste.

Los transistores usados son de germanio (tipo PNP) para las instalaciones con el negativo de la batería a tierra; y de silicio (tipo NPN) cuando es el positivo el polo a tierra; éste de silicio es un 60% más caro. No son intercambiables, y un error en la polaridad de la batería o de la clase adecuada de transistor estropea éste sin remedio.

Los dos sistemas de avance al encendido, centrífugo y por vacío, siguen usándose en la misma forma.

A esta aplicación limitada de los transistores se la llama " encendido transistorizado ", porque conserva el ruptor; es aplicable a los equipos existentes con sólo cambiar la bobina y pequeños retoques en la instalación.

Hasta ahora es el que parece de más fácil aplicación, sobre todo para convertir en electrónicos los equipos actuales, porque con sencillez y pocos cambios se consiguen mejoras importantes de apreciado valor para el usuario, pues como consecuencia del mejor encendido se obtiene una economía en el consumo del 5% al 10%, sobre todo a velocidades lentas y medias del motor. A plena carga y alto régimen de giro la potencia es algo mayor, pero el consumo apenas mejora. Al disminuir el número de espiras de la bobina, se consigue que, una vez cerrado el circuito primario, después de la ruptura, la corriente se establezca más rápidamente. Por otra parte, dicho cierre se debe al " desbloqueo " del transistor y éste se consigue que se realice, mucho antes de que los platinos se

juntan de nuevo, por medio de condensadores y artificios puramente eléctricos. La utilización de mayores intensidades primarias consiguen chispas mucho más " calientes " en las bujías (más capacidad de inflamar). La mayor brusquedad del corte, y, por lo tanto de la chispa, impide el engrase de las bujías. La menor intensidad de la corriente que atraviesa el ruptor mecánico no daña sus contactos.

A pesar de las innumerables ventajas, subsisten todavía, algunos inconvenientes : este sistema no impide ni el desgaste ni la deformación de las levas de ruptura (eje del distribuidor), ni de las contralevas o pitones de fibra de ruptores. No impide tampoco los efectos de la inercia de los resortes que aprietan a unos contra otros, ni, por lo tanto, los rebotes del " martillo ".

El encendido electrónico propiamente dicho prescinde del ruptor y de sus inconvenientes mecánicos de desgaste y ajuste, aunque se hayan basado mucho en el transistorizado.

En la figura 2.13 - 2 se puede observar que el papel del ruptor es enviar impulsos de corriente a la base del transistor T, o sea, en el circuito emisor-base E-B que comprende bobina y batería. Pero esto puede obtenerse también mediante una corriente pulsatoria (entrecortada) que se produzca en un pequeño generador especial sincronizado con el motor, como se indica en la figura 2.15 (compárese con la figura 2.13 - 2). Aprovechando la misma caja del ruptor se pone el " generador de impulsos " G, en el que la leva se sustituye por una aspa o veleta de hierro con los salientes afiliados; cada vez que pasa un saliente frente al núcleo del electroimán H se cierra el circuito magnético e inmediatamente desaparece, con lo que se induce una corriente instantánea en el arrollamiento de H y, por tanto, esa corriente entrecortada (impulsos sincronizados con el motor) en la base B del transistor manda la corriente principal E-C primaria del encendido.

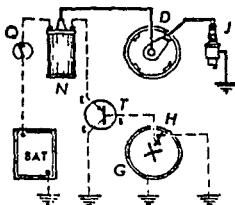


Fig. 2.15 Esquema del encendido electrónico, con generador magnético G de impulsos.

SISTEMA DE CARBURACION

2.8 Carburación

La carburación consiste en la formación de la mezcla gasolina y aire con objeto de obtener un gas combustible. El carburador realiza esta función, suministrando una mezcla combustible de diferentes grados de riqueza adecuados a las condiciones de funcionamiento del motor. La mezcla debe ser rica (tener un alto porcentaje de combustible) para el arranque, aceleración y el funcionamiento a alta velocidad. Estando el motor caliente y funcionando a una velocidad intermedia, es conveniente una mezcla menos rica (empobrecida). El carburador tiene varios circuitos a través de los cuales fluye la mezcla aire-combustible durante las diferentes condiciones de funcionamiento. Estos circuitos producen los diferentes grados de riqueza de la mezcla necesarios para las diferentes condiciones de funcionamiento.

Tipos de carburador.- Hay dos tipos básicos de carburador, el de venturi fijo y el de venturi variable. El venturi o difusor es el lugar restringido en el paso del aire del carburador a través del cual debe fluir el aire.

División de los carburadores.- La forma o disposición del tubo del carburador con respecto a la entrada del aire establece una división de los carburadores en cuatro clases. Estas clases son: verticales, horizontales, invertidos e inclinados.

Carburadores verticales.- Son aquellos en los que la entrada de aire se efectúa por debajo del surtidor, es decir, los que presentan un tiro ascendente (ver figura 2.16).

Carburadores horizontales.- Reciben el aire horizontalmente y el tiro puede efectuarse indistintamente de derecha a izquierda o de izquierda a derecha, pero siempre recibiendo el surtidor la corriente de aire por el lateral (ver figura 2.17).

Carburadores invertidos.- Obran a la inversa de los verticales, la entrada de aire se efectúa por arriba y el tiro es por lo tanto descendente (ver figura 2.18).

Carburadores inclinados.- Son una variante de los carburadores horizontales y acostumbran a usarse en motores de competición o en aquellos en los cuales la posición de los colectores de admisión requieran adoptar esta forma de carburadores. La posición del carburador no influye en absoluto en el buen funcionamiento del motor siempre y cuando en todos los casos se trate de carburadores bien ajustados. La utilidad de la diferente postura del carburador responde más bien a las necesidades del vehículo y el aprovechamiento del espacio útil del mismo (ver figura 2.19).

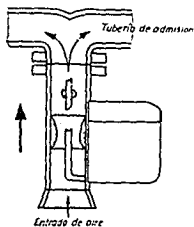


Fig. 2.16 Carburador vertical

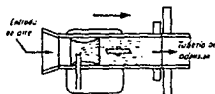


Fig. 2.17 Carburador horizontal

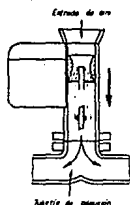


Fig. 2.18 Carburador invertido

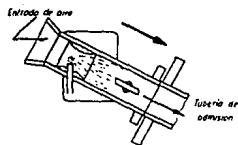


Fig. 2.19 Carburador inclinado

2.9 Principios fundamentales del carburador

Carburador de venturi fijo.- Un carburador de venturi fijo elemental podría ser obtenido de un cilindro de revolución con una sección estrechada, una boquilla o surtidor de combustible y un disco circular, o válvula (figura 2.20). El cilindro es denominado tubo de admisión de aire, o bocina de aire, la sección estrechada venturi o difusor y la válvula es la válvula de mariposa. Esta puede ser inclinada más o menos para abrir o cerrar el tubo de admisión de aire.

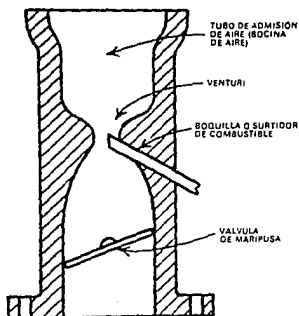


Fig. 2.20 Carburador elemental compuesto de un tubo o canal de paso de aire, un surtidor o boquilla de combustible y una válvula de mariposa.

En posición horizontal cierra o estrangula totalmente el flujo de aire a través del tubo de admisión. Cuando la mariposa se gira a partir de esta posición, se reestablese el flujo de aire a través del flujo de admisión.

Efecto venturi.- Cuando el aire fluye a través de la sección estrecha, o venturi, se produce un vacío parcial en el mismo. Este vacío hace que por el tubo llamado surtidor se envíe un rociado de gasolina a la corriente de aire que pasa. El efecto venturi (de producir vacío) se explica gráficamente en la figura 2.21. A mayor grado de vacío corresponde una mayor altura de mercurio empujado en el tubo por la presión atmosférica.

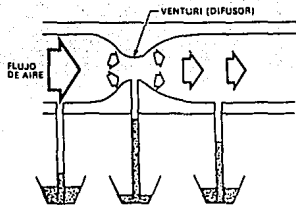


Fig. 2.21 Tres cubetas de mercurio y tubos conectados con el tubo de admisión del carburador presentan diferencias de presión originadas por las diversas alturas de mercurio. En el venturi el grado de vacío es mayor.

Obsérvese que el máximo vacío tiene lugar en el venturi. También debe ser recordado que cuanto mayor es la velocidad de paso de aire, mayor será el grado de vacío producido.

Un vacío parcial implícitamente supone una menor densidad del aire, o sea, que la distancia entre sus moléculas es mayor que la normal.

Acción del surtidor o boquilla de combustible.- El vacío parcial tiene lugar en el venturi, precisamente donde está situado el extremo del surtidor de combustible. El otro extremo del mismo; como se presenta en la figura 2.22, está en un pequeño depósito o cuba de combustible (cuba de flotador). Debido al vacío existente en el extremo superior del surtidor, la presión atmosférica que actúa sobre el combustible a través de un orificio de aireación o respiradero en la cuba de flotador, empuja al líquido a lo largo de dicho surtidor, entrando al centro de la corriente de aire, bajo la forma de lluvia fina que rápidamente se convierte en vapor, lo mismo que las gotitas de combustible evaporadas. Cuanto mayor es la cantidad de aire forzado a pasar por el

conducto de admisión del carburador, mayor será el grado de vacío en el venturi y más combustible será absorbido del surtidor.

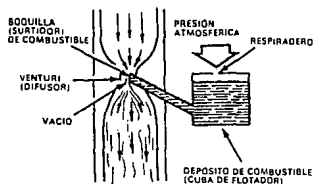


Fig. 2.22 El venturi provoca una depresión o vacío en la corriente de aire debajo del estrechamiento. Entonces la presión atmosférica impulsa al combustible a salir por el surtidor.

Acción de la válvula de mariposa.- La válvula de mariposa, puede ser inclinada en el conducto de admisión para permitir que pase más o menos aire (figura 2.23). Cuando está muy inclinada para permitir mayor paso de aire proporciona mayores cantidades de mezcla aire-combustible al motor, y éste desarrolla más potencia y tiende a acelerar su funcionamiento. Pero si la válvula de mariposa está poco inclinada para estrangular u obtener la mayor parte del paso de aire, entonces son suministradas pequeñas cantidades de mezcla combustible.

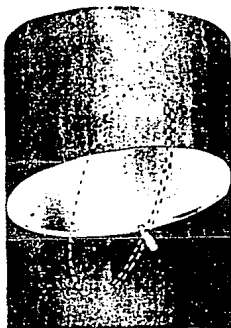


Fig. 2.23 Válvula de mariposa del aire o estrangulador en el conducto de aire del carburador. Cuando está cerrada, como se representa en la figura, sólo una pequeña cantidad de aire puede circular, pero cuando está abierta (dibujo de trazos) su efecto de estrangulación es mínimo.

El motor produce menos potencia y su velocidad tiende a disminuir. La mariposa está conectada con el pedal acelerador situado en el compartimiento del conductor por el varillaje de acoplamiento. El varillaje puede consistir en una serie de palancas y varillas, o palancas y cable interconectados. El cable consiste en un alambre deslizante interior y una cubierta flexible de malla. Con cualquiera de las disposiciones, el movimiento del pedal del acelerador hace que la válvula de mariposa varíe su posición en la cámara de aire del carburador.

2.10 Requisitos de la relación aire-combustible

El sistema de alimentación debe poder variar la relación de aire-combustible de acuerdo con las exigencias del funcionamiento. La mezcla debe ser rica (tener gran proporción de combustible) para el arranque, pero debe estar

empobrecida (tener baja proporción de combustible) para el funcionamiento a velocidad media, correspondiente a una mariposa parcialmente abierta. La figura 2.24 es una representación gráfica típica de la proporción aire-combustible en función de las diferentes velocidades del vehículo. Las relaciones y las velocidades que con las mismas se obtienen varían con los diferentes vehículos. En el ejemplo representado, para el arranque se suministra una mezcla rica de aproximadamente 9:1 [9 libras (4.082 kg) de aire por cada libra (0.454 kg) de combustible], y en la marcha lenta o ralentí, la mezcla se empobrece hasta alrededor de 12:1. A velocidades intermedias, la mezcla se empobrece más hasta aproximadamente 15:1 pero a velocidades altas, con la mariposa totalmente abierta, la mezcla se enriquece hasta alrededor de 13:1.

La abertura de la mariposa para una aceleración, a cualquier velocidad, es causa de un enriquecimiento momentáneo de la mezcla. En la figura 2.24 estan representados dos ejemplos [alrededor de 23 millas por hora (37.01 km/h) y alrededor de 40 millas por hora (64.36 km/h)]. La mezcla debe ser muy rica para el arranque debido a que bajo estas condiciones, la gasolina es de difícil vaporización. El motor y el carburador están fríos, la velocidad del aire es baja, y gran parte del combustible no se evapora. Por consiguiente debe ser suministrada por el carburador una cantidad suplementaria de gasolina con la que sea suficiente la cantidad evaporada para el arranque. Igualmente, una repentina abertura de la mariposa para una aceleración, permite una repentina afluencia de aire, lo que hace necesaria una entrada simultánea de gasolina suplementaria (o sea, la mezcla debe ser enriquecida). Ello es debido a que sólo una parte del combustible se evapora y se mezcla con el aire que entra para alimentar el motor con la adecuada proporción de aire y combustible.

En los siguientes párrafos se describen los diferentes sistemas o circuitos en los carburadores que suministran la mezcla aire-combustible requerida para las

diferentes condiciones de funcionamiento. En algunos automóviles de último modelo la relación entre el aire y la gasolina está controlada electrónicamente.



Fig. 2.24 Diagrama de la riqueza de la mezcla para diferentes velocidades del vehículo. Las velocidades a que se obtienen las diversas relaciones pueden variar en los diferentes vehículos. También puede haber alguna variación en las relaciones.

2.11 Circuitos del carburador

Los diferentes circuitos del carburador son:

- 1.- Circuito de flotador.
- 2.- Circuito de ralentí y de baja velocidad.
- 3.- Circuito de calibración principal o de alta velocidad y carga parcial.
- 4.- Circuito de alta velocidad y plena potencia.
- 5.- Circuito de bomba de aceleración
- 6.- Circuito de estrangulador de aire (choke)

Circuito de flotador.- El circuito de flotador incluye la cuba de flotador y válvula de aguja. El flotador y la válvula de aguja mantienen un nivel constante del combustible en la cuba del flotador. Si el nivel es demasiado alto, será excesiva la gasolina que emanará por el surtidor. Si es demasiado bajo, será poca la

gasolina suministrada. En cualquiera de los casos, será bajo el rendimiento del motor. La figura 2.25 es un esquema simplificado del circuito de flotador. Si la cantidad de combustible que entra es superior a la que es aspirada, su nivel se eleva. Ello hará que el flotador ascienda, y empuje la válvula de aguja sobre su asiento quedando así cerrada la entrada de combustible. Luego, si desciende el nivel, también lo hace el flotador con la consiguiente liberación de la válvula y abertura de la entrada de combustible. Entonces puede entrar éste. En el funcionamiento real, la gasolina se mantiene a un nivel prácticamente constante. El flotador tiende a mantener la válvula de aguja parcialmente cerrada con el fin de que el combustible que entre compense con la mayor exactitud el volumen que sale.

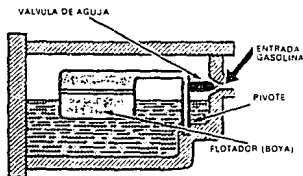


Fig.2.25 Dibujo simplificado de un sistema de flotador en el carburador.

Respiraderos u orificios de la cuba de flotador.- Las cubas de flotador de los carburadores descargan (o desahogan) en el conducto de admisión de aire en un punto situado por encima del estrangulador de aire (figuras 2.26 y 2.27). El objeto de esta disposición es neutralizar los efectos de un filtro de aire obstruido por el polvo, de manera que quede restringido el paso de aire. Por ejemplo supóngase que el filtro de aire esté obstruido por el polvo, de manera que quede restringido el paso de aire. Ello supondría la creación de un vacío parcial en el tubo de admisión de aire del carburador y, por consiguiente, la aplicación

de un vacío algo mayor a la boquilla del surtidor de combustible (puesto que este vacío se suma al del venturi). Sin embargo, el vacío parcial debido a la obturación del filtro de aire está también aplicado a la cuba de flotador (a través del respiradero u orificio). Por lo tanto, la única fuerza que interviene en la succión del combustible a través de la boquilla del surtidor es la presión del aire en el filtro de éste. Dicha presión es menor que la atmosférica. De esta manera el orificio o respiradero elimina el efecto de la obstrucción del filtro de aire.

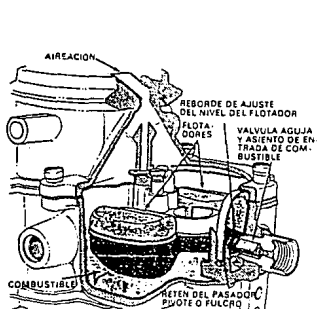


Fig. 2.26 Corte parcial de un carburador mostrando el circuito de flotador.

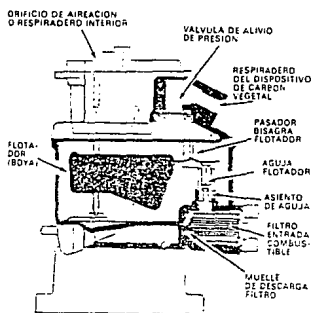


Fig. 2.27 Sistema de flotador mostrando los dos respiraderos.

Por el contrario, si la cuba de flotador comunicara con la atmósfera, sería entonces la presión atmosférica la fuerza impulsora aplicada al combustible. Ello sería causa de un aumento en el combustible recibido desde el surtidor, lo cual daría lugar a una mezcla demasiado rica.

El carburador que tiene la cuba con descarga en el conducto de admisión de aire se llama "carburador equilibrado". Actualmente casi todos los carburadores que se utilizan son de este tipo.

La cuba de flotador tiene otro orificio o respiradero, en la parte superior derecha de la figura 2.27. Este respiradero está conectado mediante un tubo al depósito de carbón vegetal que es parte constituyente del sistema recuperador del combustible evaporado. En el carburador representado en la figura 2.27, la cuba de flotador tiene una válvula de alivio. Dicha válvula se abre cuando aumenta la presión del vapor en la cuba de flotador y esto permite que los vapores de combustible fluyan hacia el depósito de carbón vegetal. En otros carburadores el orificio del depósito de carbón vegetal tiene una válvula que está accionada por la palanca de la bomba de aceleración. Esta válvula permanece abierta cuando el motor está en ralentí o cuando está parado.

Otra disposición de abertura de la válvula es la representada en la figura 2.28. En este carburador las válvulas de alivio de presión son controladas por un solenoide. Cuando se conecta el encendido, el solenoide queda conectado a la batería. De esta manera es atraído el émbolo del solenoide hacia abajo. Así se obtura o cierra el respiradero del depósito de carbón vegetal. Entonces la cuba de flotador comunica con la parte superior del conducto de aire. Cuando se desconecta el encendido, queda también desconectado de la batería el solenoide. Entonces el muelle del solenoide empuja al émbolo hacia arriba. Esto obtura el respiradero que va a la parte superior del conducto de aire. Al mismo tiempo queda libre el paso de aire hasta el depósito de carbón vegetal.

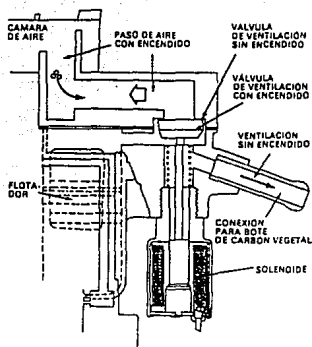


Fig. 2.28 Vista en sección de un carburador en que se muestra el respiradero controlado por solenoide del bote de carbón

Válvula compensadora de ralenti en caliente.- El respiradero interior puede ser causa de dificultad durante el funcionamiento en ralenti o de baja velocidad. Los vapores de gasolina desde la cuba de flotador pueden escapar a través del respiradero interior en cantidades suficientes para alterar la relación aire-combustible. Es decir, se adiciona gasolina evaporada a la mezcla normal de aire-gasolina para formar una mezcla demasiado rica. Para evitarlo, algunos carburadores tienen una válvula compensadora de ralenti en caliente, como se puede ver en el lado izquierdo de la figura 2.29. Esta válvula es accionada por una lámina termostática. Cuando la temperatura alcanza un valor prefijado se flexa lo suficiente para abrir el orificio de la válvula, pudiendo así fluir el aire suplementario por el paso de aire auxiliar. Este aire suplementario empobrece la mezcla lo suficiente para compensar el efecto del vapor de gasolina adicional procedente de la cuba de flotador.

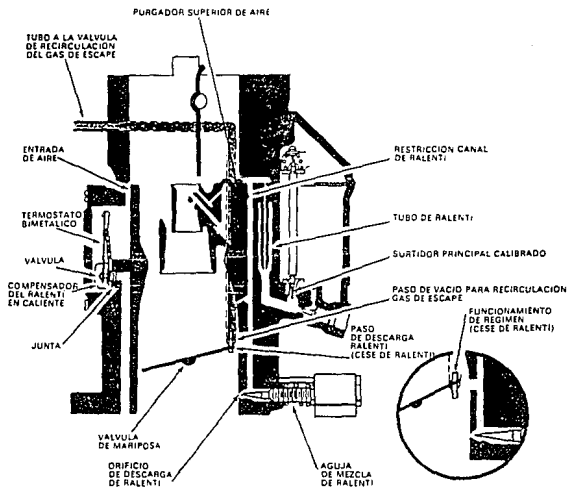


Fig. 2.29 Circuito de ralentí. Obsérvese el paso al circuito de recirculación de los gases de escape.

Circuito de ralentí y de baja velocidad.- Cuando la mariposa de los gases está cerrada o sólo ligeramente abierta, solamente puede pasar una pequeña cantidad de aire por el tubo de admisión de aire. La velocidad de éste es pequeña, y muy bajo el grado de vacío producido en el venturi. Ello significa que por la boquilla del surtidor no emanará combustible. Por tanto, el carburador debe tener otro circuito o sistema para el suministro de gasolina cuando la mariposa está cerrada o ligeramente abierta.

Este circuito, llamado de " ralentí o marcha lenta ", está representado en funcionamiento en la figura 2.30. Se compone de los pasos o conductos por los que el aire y el combustible pueden circular. Con la mariposa cerrada tal como

se representa, hay un alto grado de vacío debajo de la válvula de mariposa desde el colector de admisión. La presión atmosférica impele al aire y a la gasolina a lo largo de los pasos o conductos, tal como aparece indicado. Entonces se mezclan y pasan alrededor de la punta cónica del tornillo de ajuste de la mezcla para el ralentí. Dicha mezcla tiene una elevada proporción de combustible. Se empobrece algo al mezclarse con la pequeña cantidad de aire que pasa a través de la mariposa cerrada, pero la mezcla final es todavía suficientemente rica para un buen ralentí (figura 2.24) . La riqueza puede ajustarse girando en un sentido u otro el tornillo de ajuste del ralentí. Ello permite que sea menor o mayor la cantidad de mezcla aire-combustible que pueda fluir por el paso ofrecido por el citado tornillo.

En los autos de modelos más recientes, el tornillo de ajuste del ralentí está limitado o tiene un enclavamiento. La razón de ello es que es ilegal el ajuste de la mezcla del ralentí más allá de unos límites específicos fijados por las normas oficiales, las cuales no se deben de infringir.

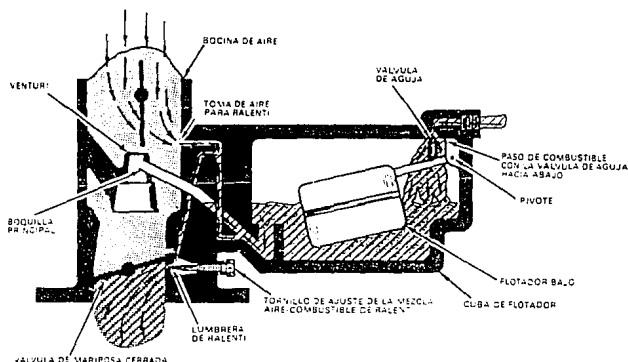


Fig. 2.30 Circuito de ralentí y de baja velocidad en un carburador. La mariposa está cerrada de manera que sólo una cantidad de aire puede atravesarla. Todo el combustible se suministra a través del tornillo de ajuste.

Funcionamiento a baja velocidad.- Cuando la mariposa está ligeramente abierta, tal como se representa en la figura 2.31, su borde rebasa la lumbrera de baja velocidad en el lado del tubo de admisión de aire. Esta lumbrera es una ranura vertical o una serie de pequeños orificios superpuestos. De esta manera se alimenta combustible adicional al colector de admisión a través de la lumbrera. Este combustible se mezcla con el aire adicional que pasa a través de la mariposa ligeramente abierta, proporcionando una mezcla de suficiente riqueza para el funcionamiento de baja velocidad.

Algunos pasos de aire practicados alrededor del disco de la mariposa a través de la lumbrera de baja velocidad cuando el borde de la mariposa sólo ha

sobrepasado parcialmente esta lumbrera, favorecen la atomización del combustible procedente de la mencionada lumbrera.

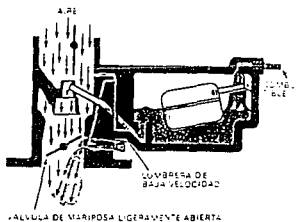


Fig. 2.31 Funcionamiento a baja velocidad. La válvula de mariposa de los gases está ligeramente abierta y el combustible se suministra a través de la lumbrera de baja velocidad así como a través de la de ralenti.

Circuito de calibración principal o de alta velocidad y carga parcial

Cuando la mariposa está suficientemente abierta para que su borde rebasa la lumbrera de baja velocidad, es poca la diferencia existente entre los grados de vacío correspondientes a las partes superior e inferior del tubo de admisión de aire. Por tanto, se descargará poca mezcla aire-combustible desde la lumbrera de baja velocidad. Sin embargo, en estas condiciones el aire que circula por el tubo de admisión es suficiente para producir un vacío en el venturi. En consecuencia, el surtidor de combustible centrado en el venturi empieza a descargar combustible. El surtidor principal suministra combustible durante el funcionamiento estando la mariposa parcial o totalmente abierta. La figura 2.32 muestra esta acción. El circuito desde la cuba de flotador hasta el surtidor principal se denomina "circuito de calibración principal".

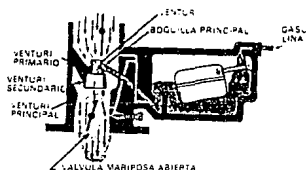


Fig. 2.32 Circuito de calibración principal o alta velocidad y de carga parcial de un carburador. La válvula de mariposa de los gases está abierta y el combustible se suministra a través del surtidor principal o de alta velocidad.

Cuanto más abierta está la mariposa y más rápidamente fluye el aire por el tubo de admisión, mayor es el vacío en el venturi. Esto significa que por el surtidor principal será descargado combustible suplementario (debido al mayor grado de vacío). En consecuencia, se mantiene una relación aire-combustible casi constante mediante el circuito o sistema de calibración principal funcionando con la mariposa parcial o totalmente abierta.

Círculo de alta velocidad y plena potencia.- Para el funcionamiento a alta velocidad con plena potencia y mariposa ampliamente abierta, la mezcla aire-combustible debe ser enriquecida. En el carburador están incorporados dispositivos especiales para proporcionar esta mezcla enriquecida durante el funcionamiento a alta velocidad y plena potencia. Dichos dispositivos son accionados mecánicamente o por el vacío del colector de admisión .

Círculo de plena potencia accionado mecánicamente.- Este circuito consta de un surtidor y una varilla dosificadora con dos o más partes escalonadas de diferentes diámetros (figura 2.33) .

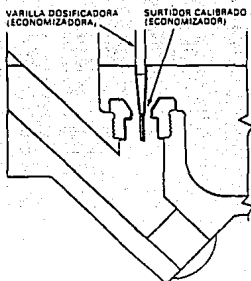


Fig. 2.33 Varilla dosificadora y calibre del dosificador para obtener mejor funcionamiento a plena carga.

La varilla dosificadora está unida al varillaje de la mariposa (figura 2.34). Cuando ésta está abierta, la varilla está levantada. Pero cuando la mariposa está parcialmente cerrada, la parte de mayor diámetro de la varilla dosificadora está dentro del surtidor calibrado.

Ello restringe en parte el flujo de combustible al surtidor principal. Sin embargo, fluye un volumen de combustible que es suficiente para el funcionamiento normal con la mariposa parcialmente abierta. Cuando ésta está plenamente abierta, la varilla está suficientemente levantada para que la parte, o escalón, de diámetro más pequeño se introduzca en el calibre dosificador. Ahora, el paso es menos restringido y puede fluir más combustible. En consecuencia, el surtidor principal recibe más combustible y la mezcla aire-combustible resultante es más rica.

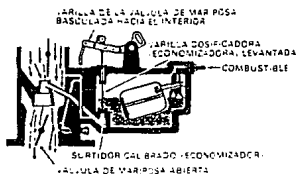


Fig. 2.34 Circuito de plena potencia accionado mecánicamente. Cuando la mariposa de los gases está abierta, como en la figura, la varilla dosificadora está levantada de manera que el menor diámetro de la varilla está introducido en el calibre dosificador. Permitiendo una llegada adicional de combustible.

Circuito de plena potencia accionado por vacío.- Consta de un pistón o diafragma de vacío enlazado a una válvula o a una varilla dosificadora. En la figura 2.35 está representado un diseño. Durante el funcionamiento con la mariposa parcialmente abierta, el pistón es mantenido en su posición más baja por el vacío del colector de admisión. Sin embargo, cuando la mariposa está totalmente abierta el vacío del colector disminuye. Ello permite que el muelle que hay debajo del pistón de vacío empuje a éste hacia arriba. Este movimiento levanta la varilla dosificadora de forma que el diámetro más pequeño de la varilla libera el surtidor. Ahora, puede fluir mayor cantidad de combustible para atender las exigencias del motor funcionando a plena potencia. En algunos carburadores se utiliza una combinación de circuitos de plena potencia accionados mecánicamente y por el vacío del colector de admisión.

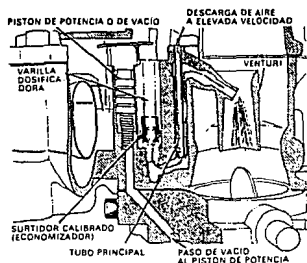


Fig. 2.35 Vista en sección de un carburador con pistón de potencia, o de vacío, accionado por la depresión del colector de admisión, para control de la posición de la varilla dosificadora.

Circuito de bomba de aceleración.- Para la aceleración, el carburador debe suministrar una cantidad adicional de combustible. La rápida apertura de la mariposa de los gases provoca una repentina afluencia de aire, con la consiguiente demanda, también repentina, de combustible suplementario. Los carburadores tienen circuitos de bomba de aceleración para proveer este combustible. La figura 2.36 muestra uno de estos tipos de circuitos. Consta de una bomba de pistón, la cual es empujada hacia abajo por la acción de una palanca de la bomba que está ligada al varillaje de la mariposa de los gases. Cuando la mariposa se abre, la palanca de bomba empuja el pistón hacia abajo; este movimiento impulsa al combustible a través del circuito de la bomba de aceleración y sale por el surtidor de descarga de la bomba. Este combustible entra a formar parte del flujo que pasa a través del carburador para suministrar la cantidad adicional necesitada.

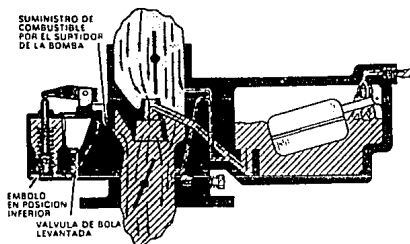


Fig. 2.36 Sistema de bomba de aceleración con bomba de émbolo. Cuando la mariposa de los gases está abierta, la palanca de la bomba empuja el émbolo hacia abajo, forzando el combustible a salir a través del circuito de dicha bomba.

La acción se realiza mediante un muelle del pistón (figura 2.37). Cuando la mariposa está abierta, el muelle está comprimido. Esto aplica una presión al pistón empujándolo hacia abajo. El muelle mantiene esta presión durante todo el tiempo que está abierta la mariposa hasta que el pistón deja de estar en la bomba en su posición inferior, como muestra la figura 2.36 . Esta disposición permite que el sistema de la bomba del acelerador descargue gasolina durante varios segundos, o hasta que el circuito de plena potencia entra en acción. El resultado es una aceleración suave.

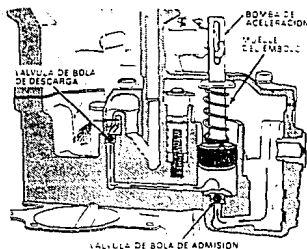


Fig. 2.37 Sistema o circuito de bomba de aceleración en que se hace uso de una bomba del tipo de émbolo.

Circuito del estrangulador de aire.- Para la puesta en marcha de un motor frío, el carburador debe enviar una mezcla muy rica al múltiple de admisión. Con el motor y el carburador fríos, se evapora sólo una parte del combustible. Por tanto, debe ser suministrada una cantidad suplementaria de combustible. De esta manera, la cantidad evaporada es suficiente para producir una mezcla combustible que permita el arranque del motor.

Durante el arranque la velocidad del aire a través del tubo de admisión del carburador es muy baja. El vacío debido al efecto venturi, así como el producido debajo de la mariposa son insuficientes para producir un flujo de combustible que sea el adecuado para el arranque. En consecuencia, para producir un flujo de gasolina suficiente durante la operación de arranque, el carburador tiene un estrangulador (figura 2.38) . El estrangulador consiste en una válvula de mariposa, dispuesta en la parte superior del tubo de admisión de aire, controlada mecánicamente o por medio de un dispositivo automático. Cuando el estrangulador de aire está cerrado queda casi horizontal, como en la figura 2.38

Sólo puede pasar a través de él una pequeña cantidad de aire. La válvula tiene " estrangulado " el flujo de aire. Entonces cuando es arrancado el motor,

se desarrolla un grado de vacío ligeramente alto en el tubo de admisión de aire. Este vacío hace que se descargue un chorro abundante de gasolina por la boquilla principal. La cantidad entregada es suficiente para producir la correcta mezcla aire combustible necesaria para el arranque del motor.

Tan pronto como el motor arranca, la velocidad aumenta desde la puesta en marcha, alrededor de 250-300 RPM, a más de 600 RPM. Ahora se necesita más aire y una mezcla algo más pobre.

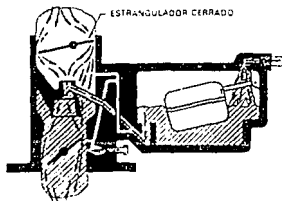


Fig. 2.38 Con el estrangulador cerrado, la depresión del colector de admisión es aplicada al tubo de entrada provocando la succión del surtidor principal.

Un método para hacer entrar más aire en el motor tan pronto como se pone en marcha es montar la válvula de estrangulación en el tubo de admisión de aire, descentrada con respecto al eje de este tubo; con un dispositivo de muelle en su varillaje de acoplamiento. Mediante este dispositivo, el vacío producido por el funcionamiento del motor es causa de que la válvula se abra parcialmente venciendo la presión del muelle y pudiendo circular más aire. Otra disposición incluye en la válvula una sección presionada por un pequeño muelle; esta sección se abre para admitir el aire adicional. En la actualidad la mayoría de los autos tienen un estrangulador automático. En número considerable estos estranguladores funcionan regidos por la temperatura del múltiple de escape y por el vacío del múltiple de admisión.

2.12 Otros dispositivos importantes en los carburadores

Anticongelador.- Cuando el combustible es dosificado en la corriente de aire que fluye a lo largo del tubo de admisión de aire se evapora.

Durante la vaporización, el combustible absorbe calor, es decir, lo toma del aire circundante y de las partes metálicas. La dosificación y la evaporación de la gasolina " roba " calor del aire circundante, así como del propio carburador. En ciertas condiciones, las partes vecinas metálicas circundantes están tan frías que la humedad del aire se condensa y realmente se hiela sobre ellas. Este hielo puede ser suficiente, si las condiciones son propicias, para que el motor se pare. Ello es más probable que ocurra durante el periodo de calentamiento del motor que sigue a su primera puesta en marcha del día y cuando la temperatura del aire oscila entre 4.4 y 15.6 °C con mucha humedad.

Para evitar la congelación, la mayoría de los carburadores tienen circuitos especiales anticongelantes. En la figura 2.39 se representa una disposición para un motor V-8 . Durante el periodo de calentamiento, la válvula de control térmico del colector envía los gases de escape calientes desde uno de los colectores de escape al otro. Una parte de estos gases de escape calientes circulan alrededor de las lumbreras de ralentí del carburador y cerca del eje de la mariposa de los gases. Ello aporta el suficiente calor para impedir la formación de hielo. Otro circuito tiene pasos de agua en el carburador. El agua (refrigerante) proviene del sistema de refrigeración del motor; una pequeña parte del refrigerante se desvía por un colector especial de agua en el cuerpo del carburador.

Así se suministra al carburador el suficiente calor para evitar la congelación.

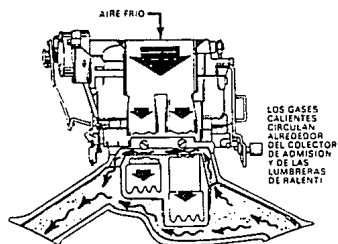


Fig. 2.39 Canales de calentamiento del colector de admisión y lumbreras de ralentí del carburador. Los gases de escape calientan dichas zonas tan pronto como el motor arranca.

Compensación por altitud.- Los carburadores tienen también un ajuste automático de altitud. Está realizado en la forma de un aneroide que rodea a la varilla calibradora. Un aneroide es un fuelle sellado sensible a las variaciones de la presión atmosférica. Cuando aumenta la presión el aneroide se comprime y acorta. Cuando se reduce la presión, el aneroide se expande. Estas acciones hacen que baje o suba la varilla calibradora de acuerdo con los cambios de la presión atmosférica.

Por ejemplo, cuando un auto está ascendiendo por una montaña, encuentra una presión atmosférica reducida. Sin un dispositivo compensador la mezcla aire-gasolina quedará enriquecida. Esto ocurre porque entra menos aire en el carburador (la presión del aire es menor). Para compensarlo, el aneroide se expande a consecuencia de la disminución de presión. Esta acción hace bajar la varilla calibradora de modo que puede entrar menos gasolina. En consecuencia se mantiene una relación aire-gasolina más uniforme (ver figura 2.40).

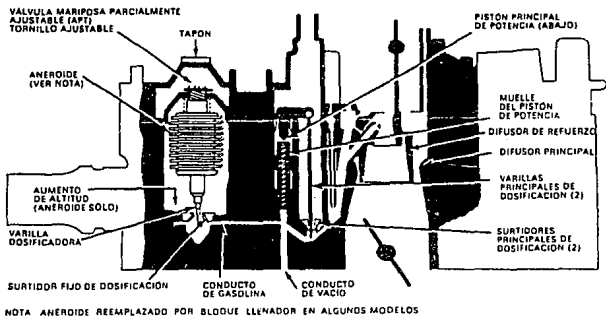


Fig. 2.40 Vista en sección de un carburador en que se muestra el sistema principal de dosificación y la varilla dosificadora para el ajuste en fábrica de la abertura parcial de la mariposa de los gases, con aneroide.

2.13 Sistema de inyección de combustible para un motor de gasolina

En el carburador se mezclan el aire y la gasolina para producir la mezcla combustible. Esta mezcla fluye luego a través del colector de admisión hasta las cámaras de combustión cuando están abiertas las válvulas de admisión.

En el sistema de inyección de gasolina sólo entra aire en el múltiple de admisión. Cuando el aire se aproxima a las válvulas de admisión, los inyectores rocían gasolina en el aire (figura 2.41). Por tanto, la diferencia fundamental es el punto en que entra la gasolina en la corriente o flujo de aire.

En el sistema con carburador la gasolina se mezcla con el aire en el carburador.

En el sistema de inyección de combustible, éste se mezcla con el aire en el

múltiple de admisión . El sistema de inyección de combustible tiene ciertas ventajas que lo hacen preferible, además de las económicas.

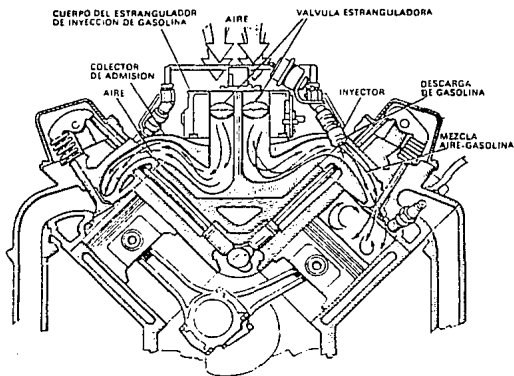


Fig. 2.41 Flujo de aire a través de un motor con inyección de gasolina.

2.14 Ventajas de la inyección de gasolina

Independientemente de que el sistema de inyección sea pulsado (temporizado) o continuo, este sistema elimina muchas dificultades o problemas de distribución en el múltiple de admisión y de carburación. Uno de los problemas más difíciles que presenta un sistema con carburador es conseguir la misma mezcla aire-gasolina en cada cilindro. Un múltiple de admisión es una pieza fundida que tiene muchos pasos o conductos y lumbreras de diferentes anchuras y longitudes. A causa de ello, es difícil diseñar el sistema de modo que todos los cilindros reciban la misma cantidad y riqueza de mezcla aire-gasolina. El aire fluye fácilmente circundando los puntos angulosos y a través

de los pasos de diversas formas, pero la gasolina, a causa de que es más pesada, no se puede desplazar fácilmente en los recorridos curvos y angulosos del múltiple de admisión.

En consecuencia, algunas de las partículas de gasolina continúan moviéndose hasta el final del múltiple, acumulándose o concentrándose allí (figura 2.42). Esto enriquece la mezcla que llega hasta el cilindro final. En el ejemplo representado en la figura 2.42 el cilindro del centro, que está más próximo al carburador, recibe la mezcla más pobre.



Fig. 2.42 Diagrama de distribución en un colector de admisión. Las partículas de gasolina tienden a continuar hasta el extremo del colector. Esto enriquece la mezcla que entra en los cilindros finales.

La mezcla aire-gasolina que sale del carburador debe ser suficientemente rica para compensar esta diferencia y suministrar la mezcla conveniente a los cilindros centrales. De otra manera en estos cilindros no habrá combustión. Pero esto significa que los cilindros extremos estarán alimentados con una mezcla más rica de lo necesario para la combustión y, por lo tanto, tenderán a producir cantidades excesivas de HC y CO en el escape.

La figura 2.43 muestra cómo se resuelve el problema de distribución en el múltiple de entrada con un sistema de inyección de combustible. Una boquilla calibrada, o inyector de combustible, está situada cerca de la válvula de admisión de cada cilindro. En el instante preciso es rociada la gasolina a

presión por el inyector (sistema de inyección temporizada); o bien, en el sistema de inyección continua, el combustible se rocía continuamente. En cualquier caso cada inyector rocía la misma cantidad de combustible en la misma cantidad de aire que entra en cada cilindro. En consecuencia, cada cilindro es alimentado con la misma cantidad de mezcla aire-gasolina de la misma riqueza. El motor puede funcionar con una relación global aire-gasolina más pobre. Esto reduce el HC y CO de los gases de escape.

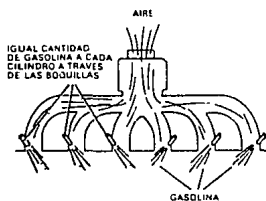


Fig. 2.43 En un motor con inyección de gasolina llega la misma cantidad de combustible a cada cilindro.

Otra ventaja del sistema de inyección de combustible es que permite un diseño más eficiente del múltiple de admisión. El múltiple de admisión puede ser diseñado sólo para el flujo de aire más eficiente. Por él no tiene que pasar el combustible. Además, a causa de que sólo es necesario un cuerpo de mariposa de los gases, en lugar de un sistema de carburador, y a causa de su diseño de múltiple de admisión, la altura del capo se puede reducir.

Por otra parte, con la inyección de combustible no es necesario calor extra durante el período de calentamiento. Es decir, no se requiere válvula de control térmico del múltiple ni sistema de aire caliente. La respuesta de la mariposa es más rápida a causa de que el combustible está sometido a presión en el inyector en todo instante. Todo lo necesario es abrir el inyector; el rociado es instantáneo. Las emisiones de gases de escape durante la aceleración pueden

ser eliminadas prácticamente. El sistema puede ser diseñado para que tenga un dispositivo de corte completo del suministro de combustible cuando se libera la mariposa de los gases y el auto desacelera. Esto elimina las emisiones del escape durante la desaceleración, ahorra gasolina y mejora la economía de combustible.

Con todas estas ventajas puede extrañar que no se haya implantado totalmente la inyección de gasolina. La respuesta es doble. Primero, el costo. Los modernos sistemas de inyección de combustible pulsados o temporizados necesitan sensores y controles electrónicos bastante complicados. Tienen que controlar los instantes de la inyección y la cantidad de combustible que debe ser inyectada. Por tanto, son relativamente caros, particularmente los componentes electrónicos. El sistema de inyección continua no requiere un dispositivo complicado de temporización, es menos costoso, y su utilización se está considerando favorablemente por algunos fabricantes de autos.

La segunda parte de la respuesta es que hasta hace poco no se había incorporado la electrónica. Esta es una ciencia relativamente nueva y su tecnología no había producido dispositivos de control a un precio favorable hasta hace poco tiempo.

Antes de la era de la electrónica se construyeron algunos sistemas de inyección de combustible completamente mecánicos, pero no funcionaban bien y fueron pronto abandonados.

SISTEMAS ANTICONTAMINANTES

2.15 Convertidores catalíticos

A principios de la década de los años sesenta se empezó a buscar una solución al problema de la contaminación atmosférica, especialmente para el control de emisiones debidas al proceso de combustión. La solución buscada debería presentar características bien definidas entre las cuales la más importante era la relacionada con la eficiencia, costo, confiabilidad, durabilidad y sobre todo amplios márgenes de funcionamiento.

En el área automotriz el control se basaba principalmente en las condiciones de funcionamiento del motor. Dentro de la industria química los procesos que implicaban el uso de convertidores catalíticos eran de uso común, pero, siempre usados para completar y/o acelerar reacciones químicas en alguna parte intermedia de los procesos. Bajo estas condiciones los convertidores catalíticos raras veces eran empleados para completar reacciones de combustión, aunque ya se llevaban a cabo investigaciones para su uso como dispositivo de control para este tipo de emisiones.

La aplicación de los convertidores catalíticos en el control de los contaminantes en motores de combustión interna no es posible sino hasta mediados de la década de los setentas, esto debido a dificultades técnicas. A partir de entonces se ha tenido un desarrollo rápido debido al gran número de investigaciones realizadas en esta área.

Debido a la importancia actual y futura de los convertidores catalíticos se hace necesario un conocimiento más profundo de este tipo de dispositivos, como por ejemplo:

Características de los convertidores catalíticos, qué son, cómo funcionan, así como sus aplicaciones posibles, sus limitantes y sobre todo sus posibilidades de

aplicación en el parque vehicular de la ciudad de México, por lo que a continuación se hará una breve síntesis de todos los aspectos antes mencionados.

El fenómeno de catálisis, que consiste en una reacción química heterogénea que se acelera mediante un agente externo y en el cual se tienen de manera simultánea fenómenos de transferencia de masa y calor, ha sido estudiado extensamente para su aplicación dentro del área de control de contaminantes, área en la que se ha tenido un éxito notable, no obstante aún queda mucho por investigar.

En la industria automotriz se lleva a cabo el control de las emisiones de escape mediante una combustión catalítica de los mismos, esto con el fin de completar el proceso de combustión y acercarlo lo más posible a las condiciones de proceso ideal.

Este proceso en sí consta de varias etapas serie-paralelo y en las que intervienen varias variables a la vez afectando cada una de las etapas. Por lo que el problema fundamental es determinar qué variable afecta a cada una de estas etapas y en que grado; sólo de esta manera se pueden cuantificar los efectos de estas variables en el desarrollo de la reacción, en especial en lo que se refiere a sus características cinéticas.

Una parte de suma importancia es el elemento catalítico usado en el proceso. Un catalizador se define como un agente químico que altera la velocidad de una reacción pero sin sufrir cambio neto alguno; el agente catalítico no se transforma ni se gasta. Una de las características del proceso de catálisis es la no dependencia de la concentración de los reactantes y la velocidad de reacción. Así también en las reacciones catalíticas se tiene que existe una estrecha relación entre la velocidad de reacción y la temperatura a la cual se lleva a cabo, como también se tiene que si se aumenta el área de la superficie catalítica aumenta proporcionalmente la velocidad de reacción.

En este tipo de reacción el efecto de presión tiene poca importancia en su velocidad ya que el proceso se lleva a cabo mediante un intercambio de materia en la superficie del catalizador.

2.16 Agentes catalíticos

Dentro de la inmensidad de materiales que se han ensayado en las investigaciones llevadas a cabo se han encontrado sólo unos pocos con las características necesarias para resistir las condiciones de oxidación a las que se ven sometidas al realizarse el proceso de catálisis en los gases producto de la combustión. El agente catalítico varía según sean las sustancias a transformar. En el caso de transformación de gases producto de la combustión se emplean metales nobles tales como el platino, oro, paladio o rodio y sus aplicaciones.

Debido a su alto costo las cantidades empleadas son muy pequeñas y se utilizan dispersos en un medio de soporte que también debe reunir características especiales de las cuales a continuación se mencionan las más importantes:

- 1) Alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas.**
- 2) Resistencia al choque térmico.**
- 3) Bajo coeficiente de expansión.**
- 4) Estabilidad química a altas temperaturas.**
- 5) Alta relación del coeficiente; Área superficial / unidad de volumen.**
- 6) Ser químicamente inertes respecto a los gases a transformar o subproductos de la reacción.**
- 7) Bajo peso.**
- 8) Bajo costo.**

En cuanto al sistema catalítico completo se requiere, además de los requisitos anteriores, los siguientes:

A) La caída de presión en el catalizador debe ser pequeña.

Esto es considerando que se debe cuidar la máxima eficiencia del ciclo de combustión, las caídas de presión en los catalizadores empleados hasta ahora suelen ser muy bajas, del orden de 0.2 mm. de Hg ó menos.

B) La geometría interna debe ser tal que ofrezca la mayor área superficial posible, donde se lleve a cabo la reacción química de los componentes, en el menor volumen.

C) Se debe tener una alta eficiencia en el proceso de conversión y mantenerse en un amplio rango de condiciones de trabajo (gasto másico del gas y temperatura de funcionamiento).

D) La selectividad química en la reacción debe ser la apropiada para el proceso en que se empleará.

E) El espacio total debe ser lo más pequeño posible; esto para atender las restricciones de espacio que se deben tener en un vehículo comercial convencional.

2.17 Tipos de catalizador (características)

En la actualidad se han desarrollado diversos tipos de catalizadores que difieren entre sí en la geometría que representan las estructuras de soporte del elemento catalítico existiendo estos a su vez en varias capacidades de volumen. La clasificación más general de los diversos tipos de catalizadores es la que los agrupa de acuerdo a las características geométricas y físicas de los materiales

que sirven de soporte a los elementos catalíticos. De esta manera se pueden agrupar en tres grandes divisiones; **catalizadores cerámicos con estructura de soporte en forma de celdas, catalizadores cerámicos con estructura de soporte en forma granular (pellets) y catalizadores metálicos monolíticos .**

Las consecuencias que se derivan de las diferentes estructuras no afectan de gran manera el modo de operación del catalizador aunque sí limitan su capacidad volumétrica y su eficiencia, debido sobre todo a las diferencias en el área superficial sobre las que se realiza la catálisis del gas.

2.18 Convertidor catalítico con estructura de soporte granular

En este tipo de convertidor el material de soporte del elemento catalítico está constituido por pequeñas cuentas de material cerámico (alúmina Al_2O_3) con un diámetro aproximado de 2.54 mm. a 3.84 mm. y en cuyo sustrato se encuentra distribuido el material catalítico. Uno de los inconvenientes de este tipo de catalizador es la tendencia a la compactación de los granos en el interior del catalizador, ocasionando con esto grandes pérdidas de carga al circular los gases de escape a través del catalizador.

Debido a las características mecánicas de los materiales cerámicos es necesario alojar la estructura cerámica dentro de un material que le proteja contra impactos y a su vez le permita la expansión y contracción al calentarse cuando está en operación y al enfriarse cuando no lo está, respectivamente.

Generalmente la estructura de soporte del material catalítico y el material de protección consiste de una delgada cubierta metálica, un material aislante térmico y una cubierta de protección para el aislante térmico, en ese orden. En la figura 2.44 se muestra la disposición general de los elementos del convertidor catalítico con estructura granular.

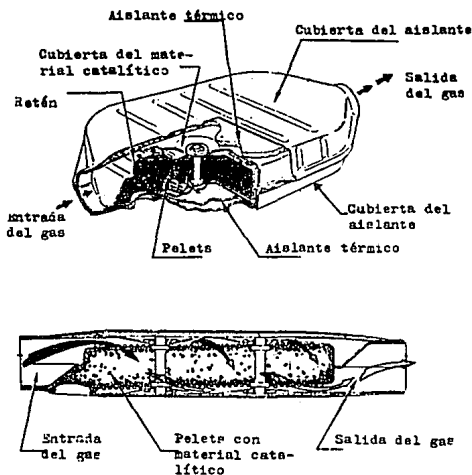


Fig. 2.44 Convertidor catalítico con soporte granular.

2.19 Convertidor catalítico con soporte cerámico

Este tipo de catalizador utiliza como material de soporte un material cerámico hecho de corderita y con una estructura de forma alveolar de paredes finas a través de las cuales se hacen pasar los gases de escape.

La configuración de los elementos de protección es similar a los que se tiene en los convertidores con soporte granular, es decir con cubierta de protección, cubierta de aislante térmico y cubierta protectora del aislante térmico.

En la figura 2.45 se muestra la disposición general de este tipo de catalizadores.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

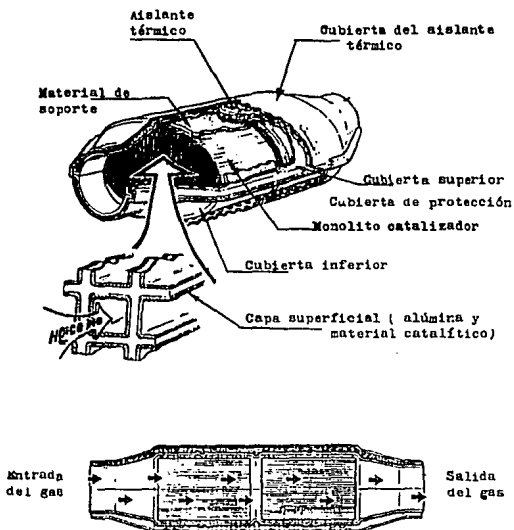


Fig. 2.45 Convertidor catalítico con soporte cerámico.

Los catalizadores con estructura monolítica de cerámica se obtienen mediante un proceso de extrusión de la corderita, en estado pastoso, siendo las celdas cuadradas la configuración más usada. La densidad de celdas típica, oscila alrededor de 62 celdas por centímetro cuadrado de área transversal, y un espesor de 0.15 mm. pared, entre celda y celda, aproximadamente.

Los agentes catalíticos (metales nobles) se agregan en la mezcla de cerámica antes de ser extruída o bien pueden agregarse en pasos subsecuentes.

2.20 Convertidor catalítico con soporte metálico monolítico

La estructura de este tipo de catalizador es similar a la del catalizador con extracto cerámico. Este sin embargo está constituido por hojas de metal delgadas.

Estas hojas de metal son de dos configuraciones diferentes y se aplican para formar la estructura interna del catalizador. El conjunto de hojas metálicas se mantienen juntas por medio de dos retenes metálicos y generalmente llevan una cubierta metálica para proteger la estructura indicada con anterioridad.

Esta cubierta metálica consiste en dos hojas delgadas de metal, una para la parte superior y otra para la parte inferior. El material de aislamiento y protección se aplica de la misma manera que en los dos casos anteriores vistos.

En la figura 2.46 se muestra la disposición general de este tipo de catalizador.

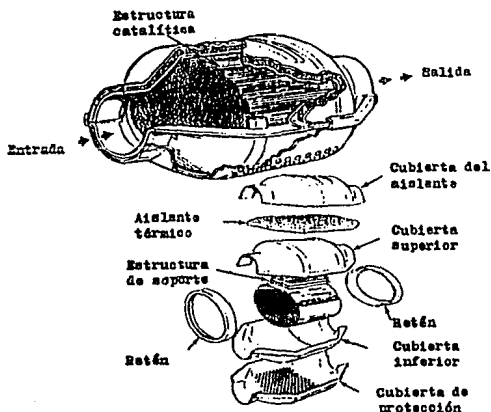


Fig. 2.46 Convertidor catalítico de estructura metálica.

Por otra parte este tipo de catalizador presenta características muy especiales en cuanto a la estructura interna. Con la finalidad de lograr una área máxima del catalizador, presenta dos tipos de hojas metálicas como ya se mencionó con anterioridad, teniéndose hojas completamente planas y también hojas con perfil ondulado (véase figura 2.46).

El espesor característico de estas hojas es aproximadamente 0.05 mm. Las hojas al apilarse alternadamente forman una estructura alveolar cuya densidad de celdas es de 72 celdas por centímetro cuadrado aproximadamente.

Los materiales catalíticos propiamente dichos (metales nobles y metales base) y el medio de soporte alúmina (Al_2O_3), se aplican en ambas caras de cada lámina que forma la estructura de tal manera que se tiene un revestimiento de espesor muy delgado.

Debido a las condiciones del medio en las que operan, los retenes y las cubiertas de alojamiento generalmente tienen un espesor que varía, según el diseño, entre 1.11 mm. y 1.45 mm. mientras que los retenes suelen tener un espesor aproximado de 1.17 mm.

La cubierta superior exterior y la cubierta exterior inferior, que es perforada, tienen un espesor que suele ser de 0.43 mm. a 0.74 mm. y están hechas de acero aluminizado.

2.21 Materiales y funcionamiento de los convertidores catalíticos

Un convertidor catalítico para control de emisiones en motores de combustión interna se compone de tres elementos básicos que son:

- 1) Material de soporte del elemento catalítico.**
- 2) Material catalizador.**
- 3) Material para alojamiento y protección de la estructura catalítica.**

Debido a las condiciones del medio en que funcionan, cada una de las partes antes mencionadas es de diferente material, de tal manera que su desempeño sea óptimo.

A continuación se hace una síntesis de los elementos y los materiales más comúnmente usados, así como las consideraciones básicas que se tienen que tomar en cuenta al diseñar un sistema catalítico.

A) SOPORTE DEL MATERIAL CATALITICO

A.1 Oxido de aluminio (alúmina Al_2O_3) para catalizadores de estructura granular o monolítico metálico.

A.2 Corderita para catalizadores monolíticos cerámicos.

A.3 Aleaciones acero-cromo-aluminio empleados en los catalizadores con soporte metálico.

B) MATERIALES CATALITICOS

B.1 Metales nobles: platino, rodio y paladio.

B.2 Metales base: acero y cesio.

C) MATERIALES DE ALOJAMIENTO Y PROTECCION

C.1 Acero inoxidable, usado en: cubiertas exteriores e interiores y retenes.

C.2 Material de protección.

C.3 Material aislante térmico.

2.22 Material para soporte de elemento catalítico

Debido a las características ya mencionadas con anterioridad, la alúmina se utiliza ampliamente debido a su porosidad y a su estabilidad a altas temperaturas (punto de fusión $2050\text{ }^{\circ}C$) . Se ha calculado que en un convertidor monolítico cerámico, del tamaño de un balón de fútbol americano,

representa una area superficial de aproximadamente $45,000 \text{ m}^2$. La alúmina en cualquiera de sus fases α , β ó γ , presenta una gran cantidad de microporos entre los cristales de alúmina, y de macroporos, entre los aglomerados de cristales. Esta característica es de suma importancia, ya que el volumen potencial de actividad catalítica y la actividad catalítica guardan entre sí una relación de proporcionalidad.

2.23 Materiales catalíticos

Como agentes catalíticos se emplean los denominados metales nobles, platino, paladio, oro, rutenio y además se emplean también metales base como el cobre, níquel, acero, cromo y algunas de sus aleaciones.

La acción catalizadora de ciertos metales tiene un carácter oxidante muy eficaz mientras que de otros metales es preferentemente reductora, existiendo varios metales cuya característica es igualmente favorable; tanto oxidante como reductor.

Los metales más usados en la actualidad, en los procesos de catálisis de gases producto de la combustión, son el platino, paladio y rodio. Estos metales se dispersan dentro de los macroporos y los microporos de la alúmina. Además como ya se ha dicho, el empleo de estos metales es indispensable debido a su resistencia a la oxidación.

La cantidad total de metales nobles usados en la fabricación de un catalizador varía entre 2.2 grms. y 3.4 grms.

Por otra parte los metales base también se dispersan dentro de la alúmina, estos metales tienen una doble función; por una parte ayudan a disminuir los esfuerzos de origen térmico, y por otra parte sirven como un elemento de transición; esto es funcionan como fuentes transitorias de oxígeno durante pequeños períodos de tiempo.

El monóxido de carbono y el oxígeno, pueden ser retenidos sobre el metal base, dependiendo de la relación aire-combustible. Por ahora los materiales base más comúnmente empleados en los convertidores catalíticos son el cesio y el hierro.

2.24 Principio de funcionamiento de los convertidores catalíticos

Un convertidor catalítico, tiene como principal objetivo transformar los gases de escape de tal manera que sus características químicas a la salida del catalizador, no sean nocivas para el medio ambiente (figura 2.47).

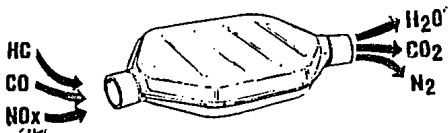


Fig. 2.47 Esquema simple del funcionamiento de un convertidor catalítico.

Los gases producto de la combustión en un motor, varían en cuanto al número de constituyentes y sus porcentajes relativos, dependiendo del combustible quemado y de las condiciones de operación del motor. De los componentes más comunes se tienen los siguientes:

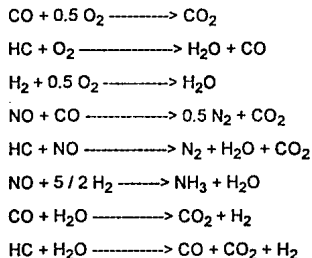
Hidrocarburos no quemados	HC
Monóxido de carbono	CO
Dióxido de carbono	CO ₂
Oxidos de nitrógeno	NO _x
Dióxido de azufre	SO ₂
Oxígeno	O ₂

Nitrógeno	N₂
Vapor de agua	H₂O
Hidrógeno	H₂

De los cuales los más nocivos por su porcentaje y su reactividad son: el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos no quemados. Además de los compuestos antes mencionados se tienen también emisiones de compuestos de fósforo y plomo, provenientes del aceite lubricante y de la gasolina respectivamente.

Mediante el proceso de catálisis el CO, el NO_x y los HC, se transforman a CO₂, N₂ y H₂O.

Algunas de las reacciones químicas que se llevan a cabo en el interior del catalizador son las siguientes:



en donde la cantidad de cada compuesto de salida depende del porcentaje relativo de cada uno de los compuestos a la entrada.

El proceso de catálisis se puede esquematizar, de manera muy simplificada, como se muestra en la figura 2.48 .

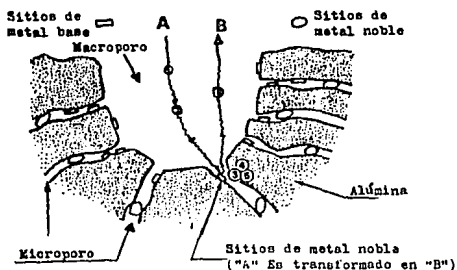


Fig. 2.48 Esquema simplificado del proceso de catálisis.

I) Las moléculas de los gases de escape al pasar a través del catalizador se encuentran con una superficie extremadamente porosa del medio de soporte del material catalítico, que las absorbe penetrando en los macroporos de la superficie.

II) Las moléculas se difunden dentro de la alúmina hasta ser retenidas en los sitios activos de los microporos (lugares donde se tienen partículas de material base) y donde se lleva a cabo la reacción de transformación que hace que la molécula A tome características químicas diferentes transformándose en una molécula B .

III) La molécula B es liberada por el metal noble y nuevamente mediante el fenómeno de difusión es llevada hasta la superficie del medio de soporte del elemento catalítico.

Las tendencias en el desarrollo de convertidores catalíticos, han llevado a la implementación de tres sistemas en los cuales se han tenido mayor éxito. Estos sistemas son : Sistema catalítico oxidante, Sistema catalítico doble y Sistema

catalítico trivalente y de los cuales a continuación se hará una breve descripción.

2.25 Sistema catalítico oxidante

Este sistema opera con una relación aire-carburante rica, aproximadamente de 9 a 1. Los elementos catalíticos comúnmente empleados para este tipo de catalizador son: el platino y el paladio. Los hidrocarburos no quemados y el CO provenientes de los gases de escape se oxidan en el lecho catalítico mientras que los óxidos de nitrógeno se controlan mediante técnicas de recirculación de gases de escape.

2.26 Sistema catalítico doble

Para el funcionamiento adecuado de este sistema se requiere que el motor funcione con una mezcla rica, de forma que la cantidad de HC, CO y H₂ sea abundante mientras que las emisiones de NO_x sean lo más bajas posibles. En este sistema catalítico se hace uso de dos lechos catalíticos diferentes. En el primer lecho se tiene una atmósfera reductora, es decir la concentración de oxígeno es inferior a la suma de CO y H₂. Como resultado de la atmósfera reductora el NO será reducido a N₂, bien sea por la acción directa con el CO ó bien por una reacción en dos etapas con el hidrógeno, estableciéndose NH₃ como producto intermedio.

En la figura 2.49 se muestran las reacciones básicas que se llevan a cabo durante el proceso de catálisis.

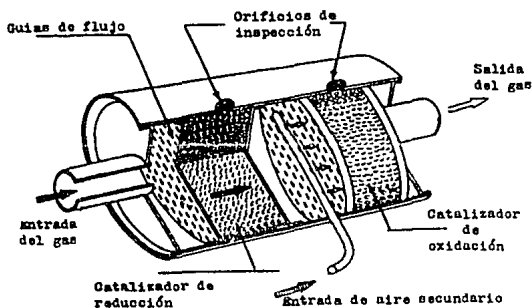
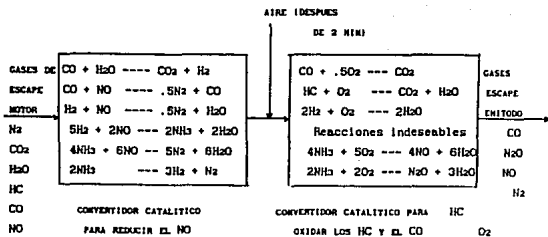


Fig. 2.49 Convertidor catalítico de doble lecho y reacciones químicas que se llevan a cabo en el mismo.

El hidrógeno proveniente no sólo de los gases de combustión sino también de la reacción entre CO y H₂O, llamada reacción de desplazamiento agua-gas.

Para completar la oxidación de los hidrocarburos no quemados, así como del monóxido de carbono, se agrega aire al gas de escape antes de que entre al

segundo lecho catalítico. Siendo oxidados a CO_2 y H_2O . Sin embargo una cierta cantidad de amoníaco formado en el primer reactor puede ser oxidado y transformado de nuevo a NO .

La formación de amoníaco aumenta en función de los niveles de hidrógeno y de monóxido de carbono. Por lo que por una parte el motor debe quemar una mezcla rica para proporcionar condiciones reductoras en el lecho de NO_x , y por otra parte, una cantidad muy grande de CO y H_2 causarán un incremento de la formación de amoníaco (NH_3) y la oxidación subsiguiente del amoníaco a NO .

La concentración óptima de CO en los gases de escape es de 2% aproximadamente lo que corresponde a relaciones aire-combustible entre 13.8 y 14.5.

En este sistema catalítico los lechos pueden alojarse en recipientes separados o en uno solo, pero siempre se efectúa la inyección de aire en algún punto intermedio entre los dos lechos.

2.27 Sistema catalítico de tres vías

El convertidor catalítico de tres vías es un sistema catalítico único capaz de favorecer simultáneamente la oxidación de CO y HC y la reducción de NO_x , transformándolos a CO_2 , H_2O y N_2 respectivamente. Como condición necesaria para el buen funcionamiento de este tipo de catalizadores, se tiene que cumplir que la mezcla carburante que se quema en el motor debe aproximarse a la mezcla estequiométrica o sea 14.6 a 1 en la relación aire-combustible. Si se desean transformar los tres componentes principales CO , NO_x y HC de manera simultánea mediante un catalizador de tres vías, se ha encontrado que la máxima desviación de las condiciones estequiométricas debe ser de ± 0.3 (A/C) ya que la eficiencia de los convertidores baja rápidamente si existe una desviación mayor.

En la figura 2.50 se pueden observar los efectos de la relación aire-combustible en las emisiones de escape y la variación de la eficiencia de un catalizador de tres vías con respecto a las condiciones de la mezcla quemada.

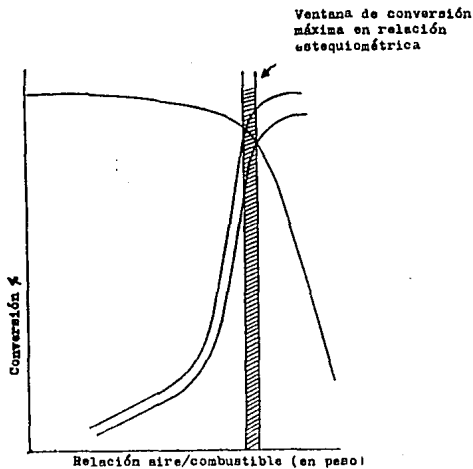


Fig. 2.50 Actividad catalítica en función de la relación aire-carburante.

2.28 Condiciones de funcionamiento

El funcionamiento adecuado de los catalizadores está condicionado a varios factores que influyen en el comportamiento de estos. Algunos de los factores, son los siguientes:

- a) La relación aire-combustible quemado por el motor.- Esta relación se debe mantener lo más cerca posible a la relación estequiométrica (14.6 A / C)

no debiéndose tener desviaciones de más de 0.3 (A / C), ya sea con exceso o falta de aire.

Las mezclas ricas ocasionan que en el interior del catalizador se generen temperaturas más elevadas como consecuencia de una excesiva actividad catalítica.

b) La temperatura de funcionamiento del catalizador.- Este aspecto es muy importante ya que afecta de manera directa a la eficiencia de conversión de los elementos contaminantes.

Por ejemplo: se ha encontrado que la eficiencia de conversión de los hidrocarburos se incrementa con la temperatura mientras que la de los óxidos de nitrógeno es máxima cuando se tienen temperaturas alrededor de 450 °C .

La temperatura óptima de funcionamiento de los convertidores se encuentra alrededor de los 500°C . El funcionamiento del catalizador a esta temperatura permite que la conversión de los tres elementos (HC, NO_x, CO) sea máxima de manera simultánea. No obstante lo anterior, se mantiene un rango de funcionamiento que va de 375 °C a 600 °C , rango en el que se logra una buena actividad catalítica y además, se tiene una mayor durabilidad del catalizador.

Cuando las temperaturas son menores que 375 °C se tiene en el interior del catalizador, una cantidad grande de contaminantes sin quemar, originando depósitos sobre la superficie catalítica, ocasionando con ello una pérdida de actividad catalítica.

Cuando se tienen temperaturas de 600 a 800 °C en el interior del catalizador ocurren fenómenos diversos como por ejemplo : el sinterizado de los metales nobles ó la formación de aleaciones entre ellos y que disminuyen la eficiencia de conversión.

c) Disminución de la actividad catalítica por envenenamiento.- Se denomina envenenamiento a la contaminación del catalizador por elementos que reducen la actividad catalítica en la superficie de los catalizadores.

Los elementos contaminantes son varios, y se les clasifica en permanentes y no permanentes, dependiendo de la posibilidad de ser eliminados mediante métodos de recuperación.

Dentro de los contaminantes más comunes se tienen los siguientes :

PLOMO.- La fuente principal de plomo es la gasolina usada como combustible. Los compuestos de plomo presentes en la gasolina son : el tetraetilo de plomo $Pb(CH_3 - CH_2)_4$ y el tetrametilo de plomo $Pb(CH_3)_4$, al ser sometidos a altas temperaturas y presiones elevadas, en el interior de los cilindros se descomponen y se combinan con otros compuestos presentes tales como el bromuro de etileno y el cloruro de etileno, formados por golpeteo durante el proceso de combustión, formando mezclas de haluros y óxidos de plomo cuyos puntos de ebullición se encuentran arriba de los 900 °C .

Los componentes principales que se forman son óxidos de plomo (PbO) , fosfato de plomo $Pb_3 (PO_4)_2$, oxisulfato de plomo $PbSO_4 - PbO$, dicloruro de plomo $PbCl_2$ y dibromuro de plomo $PbBr_2$ cuya existencia depende de las condiciones de la temperatura en el interior del sistema.

Estos compuestos pueden retenerse en el motor (formando parte de los depósitos carbonosos), en los gases de escape, ya sea en forma de gas ó partículas de tamaño reducido (0.3 a 10 μ) de diámetro, las cuales se depositan sobre la superficie interna de los catalizadores bloqueando el paso de los gases hacia los elementos activos del catalizador.

El plomo es un agente contaminante de carácter permanente que afecta de manera importante la actividad catalítica de los convertidores.

Como ya se ha dicho anteriormente los contenidos de plomo, para evitar el envenenamiento por plomo del catalizador, no deben ser mayor de 0.005 ml / galón.

FOSFORO.- Es un componente común de los aceites lubricantes usados en los motores de combustión interna, también se encuentra, aunque en menor proporción, en las gasolinas. Este elemento se usa por sus propiedades de detergencia pero, por desgracia, resulta ser un veneno permanente para los catalizadores en los cuales llega a reaccionar con la alúmina formando fósforo de aluminio y desactivando el catalizador. El contenido máximo de fósforo en las gasolinas debe ser de 0.01 g / galón, para proteger a los catalizadores contra este elemento.

Dentro de los venenos no permanentes se puede mencionar a los haluros de alquilo, que se encuentran presentes en los aditivos de la gasolina.

Estos venenos se eliminan en pocas horas y no afectan mucho el funcionamiento del catalizador pero al combinarse con el plomo forman halogenuros de plomo que son un veneno más activo que los óxidos de plomo.

2.29 Envejecimiento de los catalizadores

El envejecimiento involucra la desactivación por causas físicas y no químicas. Este es un problema muy serio que surge durante el funcionamiento de los catalizadores. Los factores más importantes en este proceso son la temperatura y la variación de las condiciones térmicas que en un catalizador son de carácter cíclico, la vibración mecánica a la que se somete el catalizador, la presencia de vapor de agua y las condiciones oxidantes y reductoras. Estos factores influyen decisivamente en el desgaste prematuro de los catalizadores.

Este desgaste se puede cuantificar por las pérdidas de material de soporte activo por fenómenos de sinterización y atricción, la volatilización de los

componentes activos al reaccionar con los gases y la destrucción del soporte por la erosión de los gases.

SISTEMAS PCV Y DE CONTROL DE LA EMISION DE VAPORES DE COMBUSTIBLE

El cárter del cigüeñal debe ser ventilado, es decir, debe pasar aire del exterior a través del cárter para expulsar los gases que pasan de la cámara de combustión al cárter. Estos gases pasan a través de los anillos de los pistones durante los tiempos de compresión y expansión. A no ser que se les elimine en el cárter, pueden ser causa de perturbación formando lodo y ácidos. El lodo puede obturar los tubos de aceite y perturbar el funcionamiento del sistema de lubricación. Esto significa el deterioro del motor. Los ácidos corroen las partes metálicas y también estropean el motor.

El proceso de extracción requiere el previo calentamiento del motor lo suficiente para que se vaporicen la gasolina líquida y el agua que se hayan depositado en el cárter. Luego el aire circulante los puede extraer así como los gases quemados que hayan pasado a través de los anillos de pistón.

En los motores antiguos el cárter del cigüeñal estaba ventilado por una abertura que había en la parte anterior del motor y un tubo respiradero en la parte posterior. El movimiento de avance del coche y la rotación del cigüeñal hacían que circulara el aire en el cárter, como muestra la figura 2.51 . El aire expulsaba los vapores de agua, de gasolina y los fugados a través de los anillos. La descarga de estos gases en la atmósfera origina contaminación.

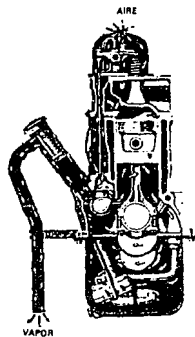


Fig. 2.51 Sistema de ventilación del cárter del cigüeñal abierto.

Para evitar esta contaminación los motores modernos tienen un sistema cerrado de ventilación del cárter, o positivo (PCV). En la figura 2.52 está representado un sistema típico para un motor de seis cilindros. La figura 2.53 muestra el sistema para un motor V-8. La idea es sencilla. El aire filtrado por el filtro de aire del carburador es absorbido en el cárter y allí recoge los vapores de agua, combustible y los residuales de la combustión. Luego el aire retrocede hasta el múltiple de admisión y entra en el motor donde termina de quemarse el combustible.

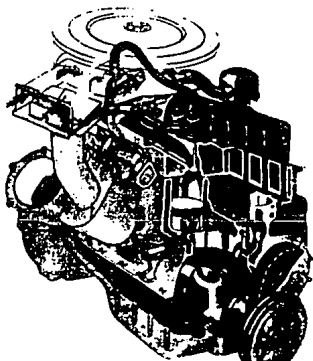


Fig. 2.52 Sistema positivo de ventilación del cárter del cigüeñal en un motor de seis cilindros.

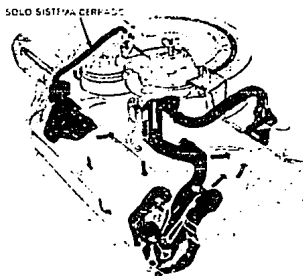


Fig. 2.53 Sistema positivo de ventilación del cárter del cigüeñal en un motor V-8 .

Si por el múltiple de admisión entra demasiado aire durante el ralentí puede resultar alterada la relación aire-combustible y esto puede ser causa de mal funcionamiento del motor en ralentí e incluso de que se pare. Para evitar esto se emplea una válvula reguladora. Esta es la válvula llamada de **Ventilación Positiva del Cárter (PCV)**. La válvula PCV permite que pase sólo una pequeña cantidad de aire durante el ralentí. Pero cuando aumenta la velocidad del motor, el vacío reducido en el múltiple de admisión permite que la válvula se abra más y ésta, a su vez, permite que fluya más aire. La figura 2.54 muestra la válvula en las dos posiciones.

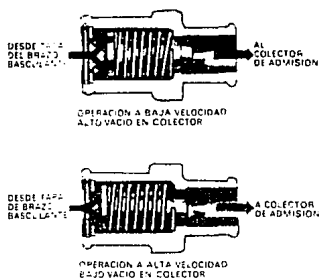


Fig. 2.54 Dos condiciones extremas de funcionamiento de la válvula PCV.

2.30 Necesidad de un sistema de control de la emisión de vapores de combustible

Tanto el depósito de combustible como el carburador pueden perder vapores de combustible a la atmósfera, causando contaminación, si el vehículo no dispone de un sistema de recuperación de los mismos. El depósito de combustible "respira" cuando cambia la temperatura. Es decir, cuando aumenta la temperatura del depósito, el aire contenido en su interior se dilata. Parte de este aire es expulsado al exterior a través del tubo de ventilación del depósito o del respiradero del tapón del mismo. Este aire está mezclado con vapor de gasolina. Luego, cuando el depósito se enfría, se contrae el aire en su interior entrando más aire del exterior. Esta respiración del depósito es causa de pérdida de gasolina. Cuanto mayor es el aumento de temperatura del depósito, más vapor de gasolina se pierde.

El carburador también puede perder gasolina por evaporación. La cuba de flotador del carburador está llena cuando el motor está en funcionamiento. Cuando el motor se para, el calor del mismo evapora una parte o la totalidad de

la gasolina depositada en la cuba del flotador. Sin un sistema de recuperación de vapores, este vapor de gasolina sería expelido a la atmósfera causando contaminación.

Un sistema de control de emisión de vapores de combustible recoge estos vapores de gasolina evitando que se pierdan en el aire. De este modo, se tiende a reducir la polución atmosférica. Actualmente, todos los vehículos modernos están equipados con tales sistemas que tienen diferentes denominaciones: " ECS (Evaporation Control System) " Sistema de Control de la Evaporación, " EEC (Evaporation Emission Control) " Control de la Emisión de Evaporación, " V V R (Vehicle Vapor Recovery) " Vehículo con Recuperación de Vapor y " VSS (Vapor Saver System) " Sistema economizador de vapor. Todos ellos funcionan según un mismo método general.

2.31 Sistemas de control de la emisión de vapores de combustible

En las figuras 2.55 y 2.56 se representan sistemas típicos de control de la emisión de vapores. El bote o caja está lleno de carbón vegetal activado. Inmediatamente después de que se para el motor, el calor continúa entrando en el carburador. Esto vaporiza la gasolina en la cuba del flotador. El vapor pasa a través del tubo de control y entra en el bote o recipiente donde es absorbido por el carbón vegetal. "Absorbido" significa que el vapor de gasolina es atrapado por las partículas de carbón vegetal. Algunas cubas de flotador de carburador tienen un respiradero especial, conectado por un tubo a un bote de carbón vegetal (cánister). El respiradero y el tubo conducen directamente el vapor de la cuba de flotador al bote de carbón vegetal (cánister).

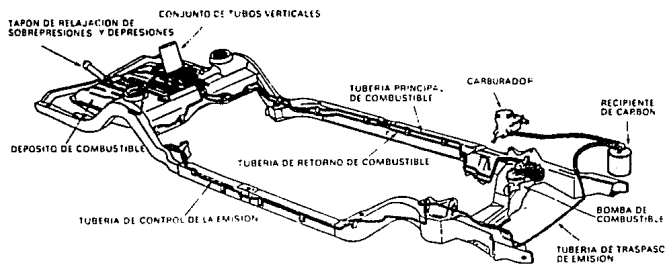


Fig. 2.55 Sistema de control de la emisión de vapores de combustible. El vapor va al bote de carbón vegetal. La tubería de retorno devuelve el exceso de combustible, no usado por el carburador, al depósito del combustible. Este flujo constante de exceso de combustible a través de la bomba ayuda a evitar la formación de bolsas de vapor.

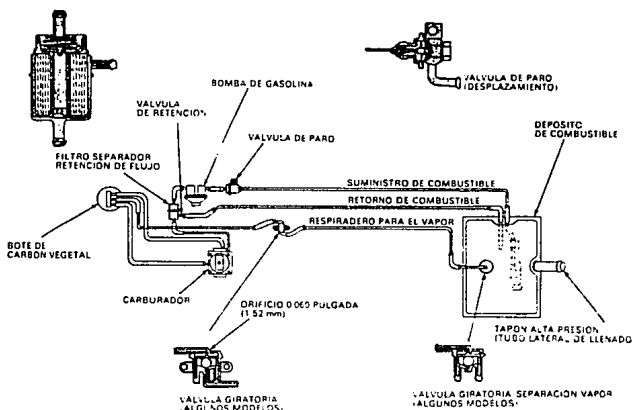


Fig. 2.56 Sistema de control de vapores de gasolina del último modelo. Obsérvese que el sistema tiene válvulas rotatorias que interrumpen el paso de la gasolina en el caso de que vuelque el auto.

Al mismo tiempo, pasa aire cargado de vapores de gasolina desde el depósito de combustible a través de una tubería especial del control de emisión, a dicho bote de carbón vegetal. Al pasar el aire en sentido descendente a través del bote, el vapor de gasolina es retenido por las partículas de carbón vegetal. El aire sale por el fondo del bote, dejando detrás los vapores de HC (hidrocarburos). En el fondo del bote hay un filtro, el cual entra en acción durante la fase de purga que tiene lugar cuando se pone en marcha el motor. Entonces, el vacío existente en el múltiple de admisión absorbe aire fresco a través del bote de carbón vegetal. Este aire fresco separa, o purga, el vapor de

gasolina del bote. Toma HC a través de una tubería de purga conectada al carburador.

Tubería para retorno del vapor de combustible.- En las figuras 2.55 y 2.56 está representada una tubería para retorno de combustible paralela a la tubería principal del combustible. Esta tubería de retorno conecta el lado de presión de la bomba de combustible con el depósito del mismo. Así es devuelta al depósito toda la gasolina en exceso impulsada por la bomba de combustible. Esta acción separa cualquier vapor que pueda producirse en la bomba de combustible y mantiene la circulación del combustible a través de la bomba. Con ello se conserva la bomba de combustible relativamente fría y se evitan las bolsas de vapor.

Bote de carbón vegetal.- En la figura 2.57 se muestra un bote o caja de carbón vegetal en vista de sección. Este bote se utiliza en algunos motores V-6. Las flechas que apuntan hacia abajo a la izquierda indican el flujo de vapor de gasolina desde la cuba de flotador del carburador y desde el depósito de gasolina durante el tiempo en que el motor no está funcionando.

Cuando el motor está funcionando, la acción está representada en la parte derecha de la figura. El aire es aspirado a través del carbón vegetal como indican las flechas que apuntan hacia arriba. Esto purga el vapor de gasolina desde el carbón. Ford denomina el bote "carbón canister".

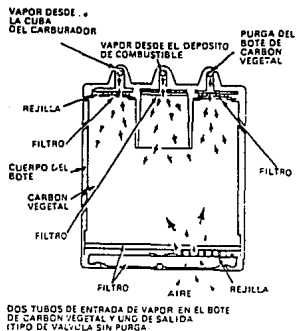


Fig. 2.57 Bote de carbón vegetal de un motor V-6.

2.32 Sistema Lambda

La precisión necesaria de la composición de la mezcla sólo se puede conseguir con un circuito cerrado de regulación, que mida continuamente los gases de escape y corrija inmediatamente las correspondientes cantidades de combustible aportadas según los resultados de dicha medición. Como la sonda Lambda, que para una mezcla estequiométrica ($\lambda = 1$) proporciona un salto de tensión y con ello una indicación de si la mezcla es más rica o más pobre que $\lambda = 1$.

Sonda Lambda.- Con la sonda Lambda de Bosch (figura 2.58) se puede medir la proporción de oxígeno en los gases de escape. La señal de salida de la sonda sirve para regular la composición de la mezcla y permite así, en combinación con los catalizadores de los gases del escape, conseguir unos gases de escape con bajo contenido en materias nocivas.

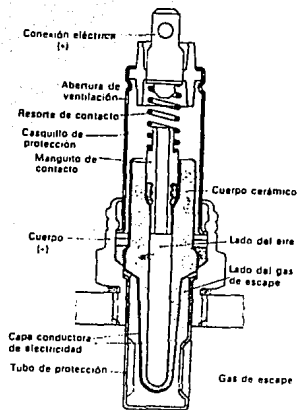


Fig. 2.58 Sonda Lambda.

Funcionamiento.- Los gases de escape de los motores de combustión contienen ciertas cantidades de oxígeno, incluso cuando hay exceso de combustible (mezcla rica); por ejemplo, para $\lambda = 0.95$, aún existe del 0.2 al 0.3% en volumen de oxígeno. El material cerámico de la sonda se hace conductor para los iones oxígeno con temperaturas superiores a los 300 °C.

Con las proporciones de oxígeno al lado del aire y al lado de los gases de escape distintas, se establece una tensión eléctrica en la sonda. Esta tensión es una medida de la diferencia de proporción de oxígeno existente entre los lados del aire y de los gases del escape en la sonda. La máxima sensibilidad de la sonda se encuentra para $\lambda = 1$. Si la mezcla aire-combustible difiere del valor previamente establecido, la sonda lo descubre por comparación del contenido residual de oxígeno en los gases de escape con el mismo del aire del ambiente.

La señal de salida de la sonda se transmite al dispositivo de control de la inyección de gasolina L-Jetronic modificando la duración de la inyección y la cantidad inyectada con lo que se corrige inmediatamente la proporción aire-combustible de la mezcla.

En los motores con carburador, también puede corregirse la cantidad de combustible para ponerla en proporción correcta con la cantidad de aire aspirado valiéndose de la sonda Lambda y de la aguja de carga parcial que se desplaza controlada por medio de un regulador electrónico. De esta manera, se consigue siempre la relación óptima de combustible y aire en la mezcla.

CAPITULO 3

SISTEMA DE CARBURACION DE GAS L.P.

El gas L.P. que es la abreviatura del gas licuado del petróleo, se obtiene del gas natural o del petróleo crudo; el gas natural se recoge de yacimientos y de los pozos petroleros, donde sale asociado al crudo.

3.1 Obtención del gas L.P.

El gas licuado del petróleo es un combustible compuesto por los hidrocarburos propano y butano y que contienen propileno y butileno, o mezcla de éstos.

El gas natural que es obtenido de yacimientos, consiste en su mayor parte de los hidrocarburos más ligeros, mezclados a éste, en estado de vapor se encuentran los líquidos del gas natural, entre éstos el gas licuado del petróleo.

Para obtenerlo a partir del petróleo crudo se utilizan los gases resultantes de la refinación.

Su contenido térmico es de 5565 calorías por litro, 34% menos que el del diesel y 26.5% menor que el de la gasolina.

Este combustible es altamente explosivo por lo que se tiene que almacenar en estado líquido para facilitar su manejo, teniéndose que almacenar en depósitos de paredes gruesas con válvulas de seguridad.

Para licuar el gas L.P. se requiere una presión que depende del porcentaje de propano y butano de que esté compuesto.

En la proporción en que se vende el gas L.P., se requiere una presión alta para utilizar 0.5422 Kg de gas para obtener un litro del mismo en estado líquido.

3.2 Propiedades físicas del gas L.P.

- Temperatura de ebullición - 42 °C
- Calor neto de combustión 46.1 MJ / kg (por peso)
- Relación estequiométrica 15.6 : 1 , aire/combustible por peso
- Densidad relativa a 15 °C , 0.508 (agua = 1)
- Número de octano 97.

Si combinamos eficiencia térmica del combustible con eficiencia del motor, el diesel proporciona un rendimiento promedio en un consumo de combustible en aplicaciones vehiculares, de 4.5 Kms. por litro, el motor a gasolina 3.0 Km. por litro y el motor a gas L.P. 2.2 Km. por litro.

3.3 Carburación a gas L.P.

Todo motor de combustión interna, posee un sistema dedicado a hacer fluir el combustible desde el depósito hasta los cilindros, en el transcurso del camino del combustible, la energía para moverlo se toma en algunos casos de diversas fuentes y en algunos otros de la misma fuente a lo largo de todo el trayecto.

El sistema varía de acuerdo al tipo de combustible, ya que las características de éste son la base del diseño para los depósitos de control.

El sistema de alimentación para gas L.P. , como en todos los casos, empieza también en el depósito de combustible, en donde el gas L.P. se encuentra en estado líquido a una presión de 7.5 kg / cm² y una temperatura de -10 °C, éste fluye a través de una tubería pasando por una válvula manual al salir del depósito.

La tubería conduce al gas L.P. hasta un filtro en donde son eliminadas las impurezas (sólidos suspendidos).

Después de dicho filtro, el gas L.P., es conducido a una válvula solenoide de acción electromagnética, por medio de la cual, el flujo puede ser detenido o liberado a voluntad.

Al salir de la válvula solenoide, el combustible todavía está en estado líquido a alta presión, llega al regulador vaporizador el cual tiene las siguientes funciones:

- 1) Transformar el líquido G.L.P. en vapor.
- 2) Reducir la presión, que varía según la temperatura a una presión única y constante (0.5kg/cm^2).
- 3) Suministrar la cantidad correcta de vapor G.L.P. al carburador de G.L.P. para satisfacer las necesidades de carburante del motor, estas necesidades se indican por fases de depresión.

Las funciones (1) y (2) son realizadas en el primer cuerpo del evaporador excepto en los motores refrigerados por aire donde la vaporización tiene lugar en una sonda de calentamiento y en ese caso el aparato solo funciona como regulador de presión.

La dosificación de este paso anterior, es por medio de un diafragma de baja presión, que funciona como un servo-lector de la presión negativa ejercida por la máquina.

Este diafragma convierte en fuerza la presión a través de su área y dicha fuerza opera el sistema de dosificación en tres etapas:

- 1.- **Arranque:** La palanca cuenta con un dispositivo, el cual es obligado a bajar por el diafragma y que a su vez permite el inicio del flujo de sus gases a la cámara de baja, abriendo la válvula dosificadora la cual sólo deja pasar el gas necesario para cumplir con la demanda del motor.
- 2.- **Inicio de movimiento del vehículo:** El vacío en la cámara de combustión aumenta y el diafragma de baja presión obliga a bajar aún más la palanca que impulsa hacia abajo a la válvula dosificadora, en esta acción el flujo del gas L.P.

es entre el cuerpo de la válvula y el diámetro interno del barreno comunicador, cumpliendo con la alimentación necesaria de gas L.P. al motor.

3.- Aceleramiento: El vacío del motor está al máximo lo que hace que el diafragma de baja presión venza totalmente la palanca de baja y ésta a su vez, abra totalmente a la válvula dosificadora, la cual permite el flujo libre del gas L.P. hacia el motor por todo el diámetro de pasaje de comunicación.

Las tres etapas anteriores se realizan simultáneamente al llegar el combustible al mezclador, en donde se procede a regular el flujo de combustible, con el fin de formar una mezcla con el aire adecuada para alta velocidad (se denomina carburación en alta).

La mezcla de gas L.P. en condiciones de inflamabilidad sale del adaptador y fluye a través del carburador de gasolina, el cual solo funciona como un ducto.

En todo este proceso, el gas L.P. fluye por la presión de trabajo contenida en el recipiente, desde el tanque de carburación hasta la entrada de los cilindros de la máquina, esto último ayudado por la diferencia de presión creada por la succión de la máquina.

3.4 Partes que integran un sistema de carburación a gas L.P.

1.- Tanque de carburación.- Puede ser en diferentes capacidades y tamaños, según las características de la unidad donde se va a instalar, éste actúa como una constante bomba de combustible, la cual abastece el sistema con gas L.P. en forma líquida.

2.- Filtro solenoide.- Debido a que el gas contiene impurezas en forma de sólidos disueltos que son generalmente carbón y azufre, esta parte contiene un cartucho intercambiable, el cual sirve para detener este tipo de impurezas, así el paso del carburante será en limpio a las etapas posteriores.

3.- Válvula solenoide.- Esta sólo se utiliza cuando se trabaja con los dos combustibles (gas, gasolina) y es utilizada para seleccionar el tipo de

combustible a utilizar, desde el interior del vehículo a través de un interruptor eléctrico.

4.- Regulador vaporizador.- Debido a que una de las condiciones para que el gas sea carburante, es que éste debe tener una presión máxima de 10 lb / plg² , este aparato tiene la función de mantener el gas a esta presión, convirtiendolo a la vez en estado gaseoso.

5.- Mezclador.- Este actúa propiamente como un carburador de gas L.P. y su función es la de proporcionar la mezcla correcta aire-gas (13 partes de gas por 87 de aire), para que el combustible sea eficiente.

En un motor a gas se mantiene el sistema convencional de encendido (batería, bujías, platinos y condensador).

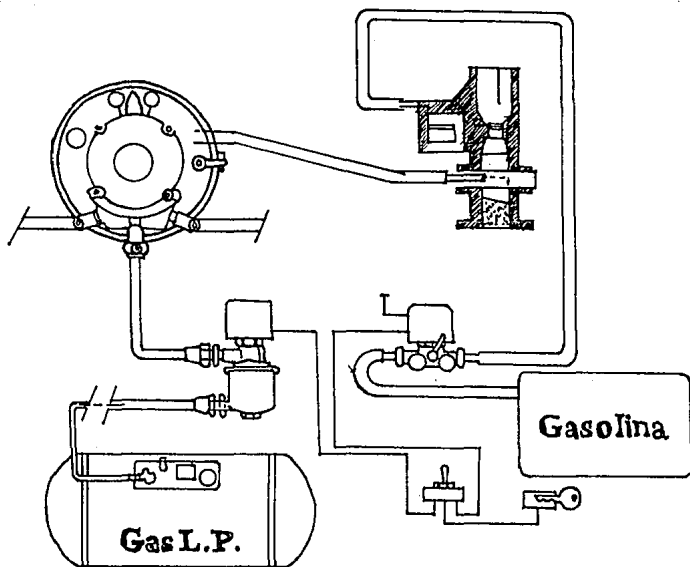


Fig. 3.1 Diagrama esquemático de los componentes de un sistema gas-gasolina.

3.5 Ventajas del uso de gas L.P. (Según proveedor del equipo)

- 1.- Se puede usar en cualquier motor de combustión interna, realizando muy pocas modificaciones.
- 2.- En comparación con otros combustibles como la gasolina o el diesel se obtiene una gran economía al comparar el alto costo del equipo y refacciones para diesel y el precio comparativamente mayor de la gasolina, en el mantenimiento de estos motores.

3.- Como el gas L.P. entra en las cámaras de combustión como vapor seco y limpio no diluye el aceite ni tapa los conductos por donde éste debe fluir, por lo que el lubricante dura de cinco a diez veces más en estado satisfactorio que con otros combustibles.

4.- No teniendo contenidos de plomo y otros aditivos no contamina la atmósfera ni produce las escamas que se forman en los bordes de las válvulas, por lo que éstas duran mucho más en servicio efectivo.

5.- Como su combustión es completa y limpia no deja residuos de carbón que dañan las paredes de los cilindros y todas las partes movibles del sistema de combustión, ni tapa los conductos por donde circula el aceite lubricante, como consecuencia un motor con gas L.P. dura hasta 3 veces más que uno de gasolina.

6.- Su alto índice de octano (hasta 125) permite su uso en motores de alto índice de compresión con lo que se tiene un mejor rendimiento de su contenido térmico, eliminando detonación y/o autoencendido.

7.- El gas licuado del petróleo se maneja y almacena en contenedores herméticos que impiden su evaporación y al mismo tiempo su extracción indebida.

8.- La seguridad del usuario aumenta al tener un combustible de ciclo cerrado y contenido bajo presión en volcaduras e incendios.

9.- Las emisiones nocivas se reducen hasta un 88%, ya que la gasolina produce el 3.5% de monóxido de carbono mientras que el gas L.P. produce 1.35% ; la gasolina produce 460 ppm de hidrocarburos sin quemar y el gas produce 53 ppm, la gasolina produce 1420 ppm de óxidos de nitrógeno mientras que el gas produce 292 ppm.

3.6 Emanaciones de gases

El monóxido de carbono (CO) es el componente tóxico más conocido en las emanaciones del vehículo. Menos conocidos, pero también tóxicos son los hidrocarburos sin quemar, los óxidos de nitrógeno o emisiones del óxido de plomo y sulfuros. Si la combustión es incompleta, la concentración de CO aumenta.

Usando una instalación de gas L.P. bien ajustada, la emisión de CO no pasa del 5% de lo que sería en un motor semejante que funcione con gasolina.

La naturaleza homogénea de la mezcla G.L.P. conseguida, también conduce a una considerable reducción en la emisión de hidrocarburos sin quemar.

El óxido de nitrógeno tiende a ser producido en mayores cantidades durante la combustión cuando la temperatura y presión son altas.

Usando el equipo adecuado de G.L.P. se reduce considerablemente la emisión de este óxido a causa de la mezcla débil de aire - G.L.P. que es necesaria para la combustión.

CAPITULO 4

SISTEMA DUAL GAS-GASOLINA

4.1 Descripción del equipo

Para la realización de las pruebas del sistema Gas-Gasolina se utilizó un banco de pruebas formado por un motor FORD V-8, de 302 pulgadas cúbicas de desplazamiento con carburador de dos gargantas y sistema convencional de encendido (platinos y condensador). Este motor tiene acoplado un freno hidráulico marca Heenan & Froude, con el cual se aplica carga a la flecha motriz. En este banco de pruebas se tiene la posibilidad de medir los siguientes parámetros : temperatura del agua de enfriamiento, temperatura de los gases de escape, velocidad del motor (RPM), gasto de combustible y la carga aplicada.

Este banco de pruebas se encuentra ubicado en el laboratorio de máquinas térmicas de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

El sistema dual gas-gasolina utilizado se muestra en la figura 4.1 .

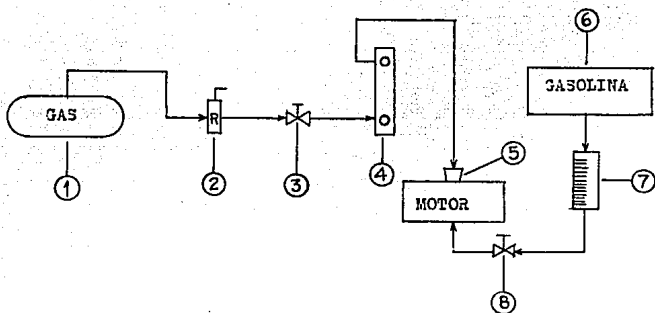


Fig. 4.1 Diagrama esquemático del sistema dual gas-gasolina para un motor de combustión interna.

1.- Cilindro para gas L.P. .- Utilizado como fuente de suministro.

- Capacidad : 30 kg.
- Presión del gas : 4.5 kg/cm²

2.- Regulador para gas.- Reduce la presión del gas a la salida del cilindro.

- Marca : Baro
- Modelo : 102
- Gasto máximo : 0.8 m³/hr.
- Presión de entrada : 4.5 kg/cm²
- Presión de salida : 0.5 kg/cm²

3.- Válvula de paso.- Controla el flujo de gas.

4.- Rotámetro.- Medidor de flujo.

- Marca : Dwyer

- Rango : 5 - 50 (pies³/hr.)

5.- Carburador.- Utilizado como conducto para introducir el gas.**6.- Depósito de gasolina.**

- Capacidad : 40 litros.

- Tipo de gasolina : Nova.

7.- Medidor de gasolina.

- Capacidad : 6 litros.

8.- Válvula de paso.**4.2 Descripción de las pruebas**

Las pruebas realizadas se dividieron en dos partes; en la primera prueba se utilizó como combustible gasolina y en la segunda el combustible utilizado fué una mezcla de gasolina y gas.

Para la prueba con gasolina se hizo lo siguiente: se puso a funcionar el motor hasta obtener la temperatura normal de operación. Estando el motor en marcha se le fué aumentando la carga gradualmente, manteniendo la velocidad (rpm del motor) constante, con la finalidad de obtener la línea Willans. Para cada carga determinada se midió el gasto de combustible y simultáneamente se tomaron lecturas de temperatura de los gases de escape y del agua de enfriamiento.

Para la prueba con gas-gasolina se realizó el mismo procedimiento que para la prueba con gasolina con la diferencia de que se cerraron las espreas de baja

estando el motor en marcha ralenti y se fué suministrando gas al mismo tiempo, controlando el gasto mediante el rotámetro.

El objetivo de cerrar las espreas es para que el motor funcione sólo con gas en baja velocidad (marcha ralenti), y al demandar potencia, el motor consuma como combustible la mezcla de gas y gasolina.

Con los datos obtenidos se calculó la potencia, el gasto de combustible y se graficaron para obtener la línea Willans.

En cada prueba se tomaron lecturas de las condiciones atmosféricas (temperatura ambiente y humedad relativa).

CAPITULO 5

DESARROLLO DE LAS PRUEBAS

Pruebas 1 y 2 .- Para la realización de estas pruebas se utilizó como combustible únicamente gasolina.

El desarrollo de dichas pruebas consistió en lo siguiente :

- 1.- Estando el motor en marcha se le aplicó una fuerza inicial de 4 kg con incrementos de 2 kg, hasta llegar a 14 kg.
- 2.- Para cada evento se midió el tiempo en el cual el motor consumía 200 cm³ de gasolina, manteniéndose la velocidad (RPM del motor) a 2200 constantes.
- 3.- Se tomaron lecturas de temperatura de los gases de escape (TGE) y del agua de enfriamiento (TAE), cuidando que estas no rebasaran 700 y 70°C respectivamente.
- 4.- Con los datos obtenidos se calculó el gasto de combustible (GC) y la potencia al freno aplicada al motor. Con estos resultados se obtuvo la línea Willans, donde se observa que a mayor potencia se incrementa el consumo de combustible (gráficas 1 y 2).

Cálculo del gasto de combustible y la potencia:

a) Gasto de combustible

$$G_c = m/t$$

$$m = \rho_g V \quad \text{entonces,}$$

$$G_c = \rho_g V / t$$

donde : G_c = gasto de combustible

m = masa de combustible

ρ_g = densidad de la gasolina

V = volumen de combustible consumido

t = tiempo en que se consume el volumen de combustible.

b) Potencia

$$P = F N / 1100$$

donde: P = potencia al freno

F = carga aplicada

N = número de revoluciones.

Los resultados obtenidos se muestran en las tablas y gráficas 1 y 2 .

TABLA No. 1

GASOLINA

LECTURA	RPM	T.G.E. ¹ (°C)	T.A.E. ² (°C)	POTENCIA (KW)	GC ³ (kg/hr)
1	2200	365.0	46.0	5.888	5.034
2	2200	475.0	61.0	8.832	5.407
3	2200	525.0	39.0	11.776	6.348
4	2200	535.0	43.0	14.426	6.636
5	2200	550.0	46.0	17.517	7.684
6	2200	565.0	48.0	20.902	8.111

CONDICIONES ATMOSFERICAS

Temperatura ambiente: 21.8 °C

Humedad relativa: 43 %

Presión atmosférica: 58 cm.Hg. (Ciudad de México)

-
- ¹.- Temperatura de los gases de escape.
 - ².- Temperatura del agua de enfriamiento.
 - ³.- Gasto de combustible

GRAFICA No. 1

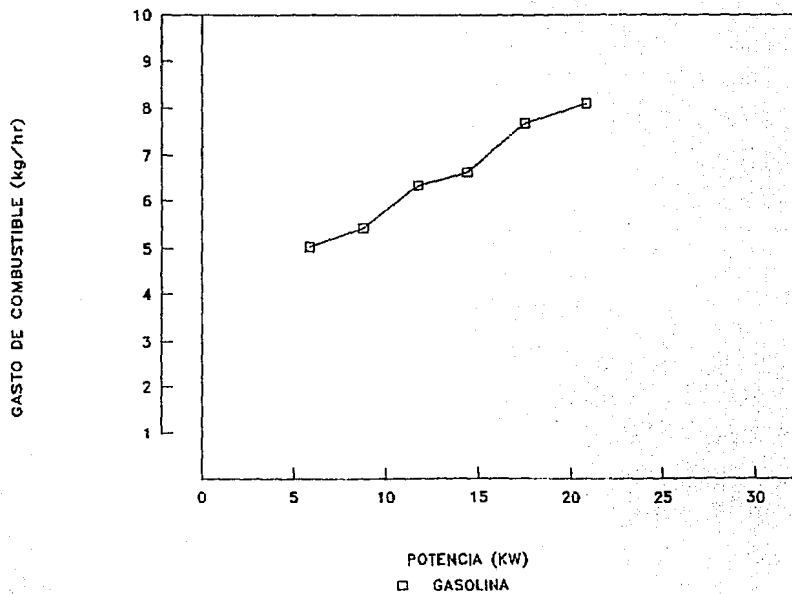


TABLA No. 2

GASOLINA

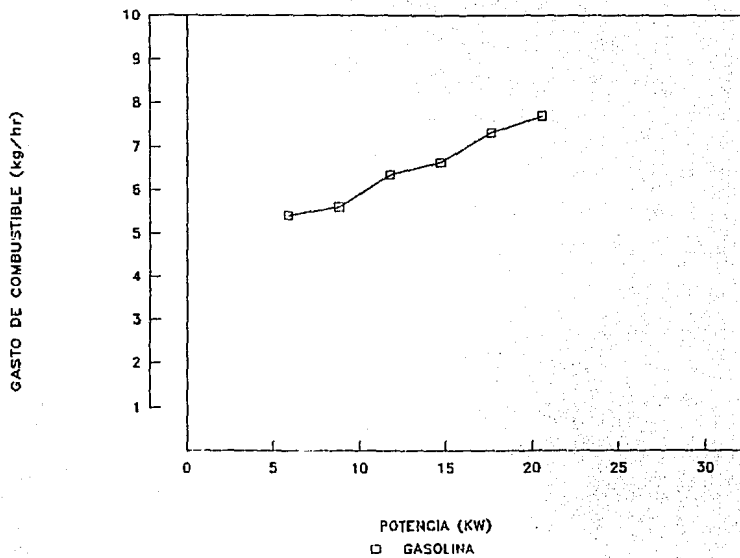
LECTURA	RPM	T.G.E. (°C)	T.A.E. (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)
1	2200	365.0	45.0	5.888	5.407
2	2200	450.0	52.0	8.832	5.615
3	2200	490.0	64.0	11.776	6.348
4	2200	515.0	67.0	14.720	6.636
5	2200	535.0	68.0	17.664	7.300
6	2200	555.0	69.0	20.608	7.684

CONDICIONES ATMOSFERICAS

Temperatura ambiente: 22.0 °C

Humedad relativa: 42 %

GRAFICA No. 2



Las pruebas 3,4,5,6,7 y 8 se realizaron comparando las mediciones utilizando gasolina únicamente como combustible y la mezcla gas-gasolina bajo las mismas condiciones de operación y cerrando las espreas de baja del carburador, obteniéndose lo siguiente:

Para la prueba 3 se suministró una mezcla gas-gasolina con un gasto de gas de 0.158 kg/hr.

Comparando ésta prueba con la de suministro de gasolina únicamente se observa que hay un ahorro de gasolina de 3.32% a 8.33%, considerando la misma potencia y manteniendo las RPM del motor constantes, esto se muestra en la tabla y gráfica 3.

Para la prueba 4 con un gasto de gas de 0.128 kg/hr se obtiene un ahorro de gasolina de 4.18% hasta 9.36%.

Este mismo análisis se realiza para las pruebas 5,6,7 y 8 ; y los resultados se muestran en la siguiente tabla :

PRUEBA	3	4	5	6	7	8	8.1
GASTO DE GAS (kg/hr)	0.158	0.128	0.158	0.213	0.158	0.200	0.228
AHORRO DE GASOLINA ¹ (%)	3.32 a 8.33	4.18 a 9.36	-----	3.12 a 7.41	4.77 a 12.89	5.26 a 16.12	5.26 a 16.12

1.- Con respecto a la prueba con gasolina únicamente y a 2200 RPM.

En esta prueba se observa que hay un ahorro de gasolina de 3.12% a 16.12% . También se aprecia que en la prueba 5 no hubo ninguna variación en el consumo de gasolina, esto se muestra en las siguientes tablas y gráficas :

TABLA No. 3					
GASOLINA					
LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)
1	2200	420.0	44.0	5.888	5.034
2	2200	520.0	53.0	8.832	5.615
3	2200	530.0	58.0	11.776	5.840
4	2200	540.0	55.0	14.720	6.636
5	2200	555.0	55.0	17.664	7.300
6	2200	575.0	64.0	20.608	7.684
GAS-GASOLINA (para 0.158 kg/hr de gas)					
1	2200	375.0	31.0	5.888	4.867
2	2200	475.0	37.0	8.832	5.214
3	2200	505.0	41.0	11.776	5.840
4	2200	520.0	45.0	14.720	6.083
5	2200	550.0	54.0	17.664	6.952
6	2200	575.0	58.0	20.608	7.300

CONDICIONES ATMOSFERICAS

Temperatura ambiente: 20.0 °C

Humedad relativa: 60 %

GRAFICA No. 3

(para 0.158 kg/hr de gas)

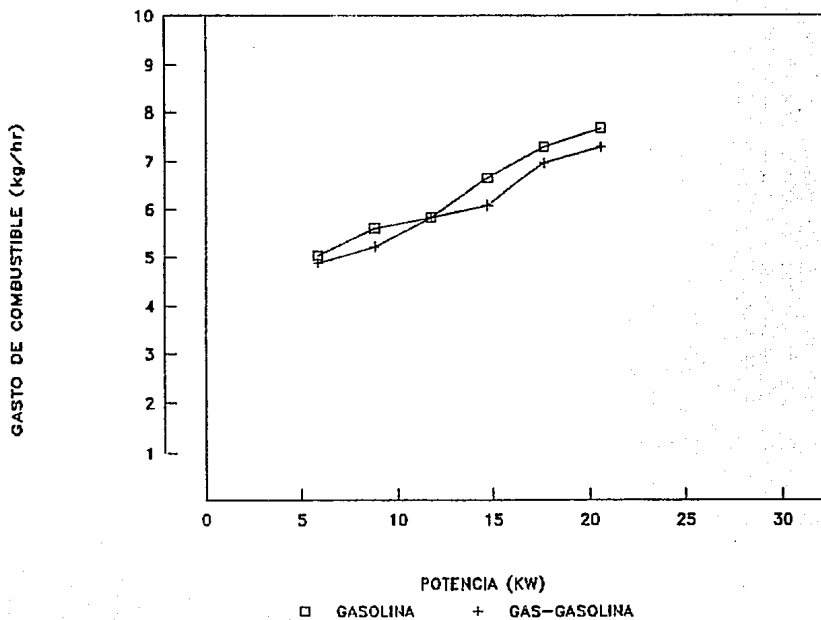


TABLA No. 4					
GASOLINA					
LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)
1	2200	405.0	57.0	5.888	5.034
2	2200	480.0	62.0	8.832	5.407
3	2200	505.0	64.0	11.776	6.083
4	2200	530.0	68.0	14.720	6.348
5	2200	540.0	63.0	17.664	7.684
6	2200	565.0	62.0	20.608	8.111
GAS-GASOLINA (para 0.128 kg/hr de gas)					
1	2200	485.0	49.0	5.888	4.563
2	2200	510.0	49.0	8.832	5.615
3	2200	520.0	50.0	11.776	6.083
4	2200	530.0	51.0	14.720	6.083
5	2200	545.0	51.5	17.664	7.300
6	2200	555.0	52.0	20.608	8.111

CONDICIONES ATMOSFERICAS

Temperatura ambiente: 19.5 °C

Humedad relativa: 63 %

GRAFICA No. 4

(para 0.128 kg/hr de gas)

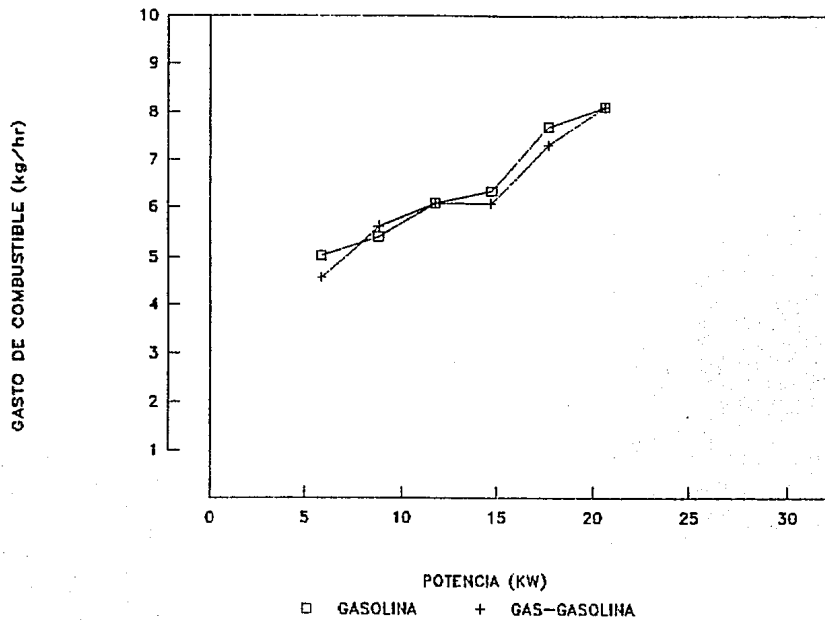


TABLA No. 5					
GASOLINA					
LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)
1	2200	520.0	58.0	7.066	4.710
2	2200	530.0	54.0	8.832	5.034
3	2200	540.0	52.0	11.776	5.615
4	2200	550.0	54.0	14.720	6.348
5	2200	560.0	56.0	17.664	6.952
6	2200	575.0	62.0	20.608	7.684
GAS-GASOLINA (para 0.158 kg/hr de gas)					
1	2200	460.0	49.0	7.066	4.710
2	2200	500.0	49.0	8.832	5.034
3	2200	520.0	49.0	11.776	5.615
4	2200	530.0	50.0	14.720	6.348
5	2200	550.0	51.0	17.664	6.952
6	2200	560.0	52.0	20.608	7.684

CONDICIONES ATMOSFERICAS

Temperatura ambiente: 17.0 °C

Humedad relativa: 62 %

GRAFICA No. 5

(para 0.158 kg/hr de gas)

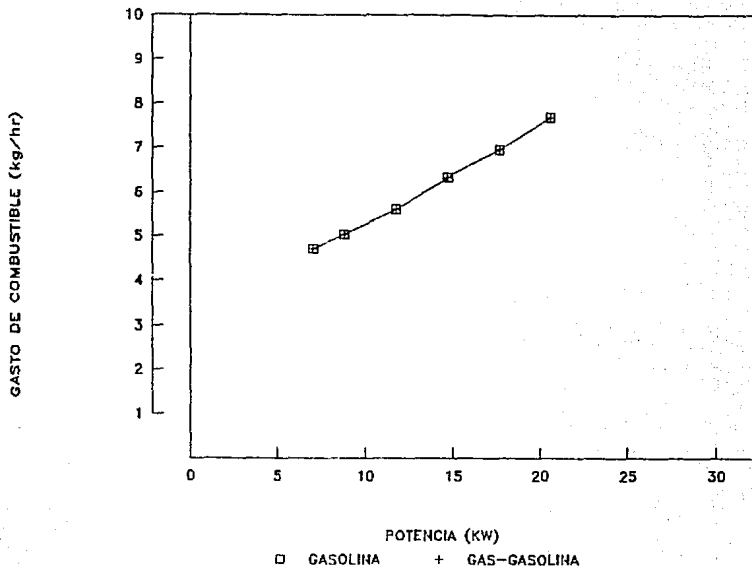


TABLA No. 6					
GASOLINA					
LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)
1	2200	405.0	51.0	5.888	4.710
2	2200	475.0	58.0	8.832	5.034
3	2200	505.0	60.0	11.776	5.840
4	2200	530.0	57.0	14.720	6.348
5	2200	550.0	55.0	17.664	6.952
6	2200	575.0	55.0	20.608	7.684
GAS-GASOLINA (para 0.213 kg/hr de gas)					
1	2200	470.0	47.0	6.182	4.563
2	2200	500.0	48.0	8.832	5.034
3	2200	510.0	49.0	11.776	5.407
4	2200	530.0	50.0	14.720	6.083
5	2200	540.0	51.0	17.664	6.952
6	2200	560.0	52.0	20.608	7.300

CONDICIONES ATMOSFERICAS

Temperatura ambiente: 17.4 °C

Humedad relativa: 61 %

GRAFICA No. 6
(para 0.213 kg/hr de gas)

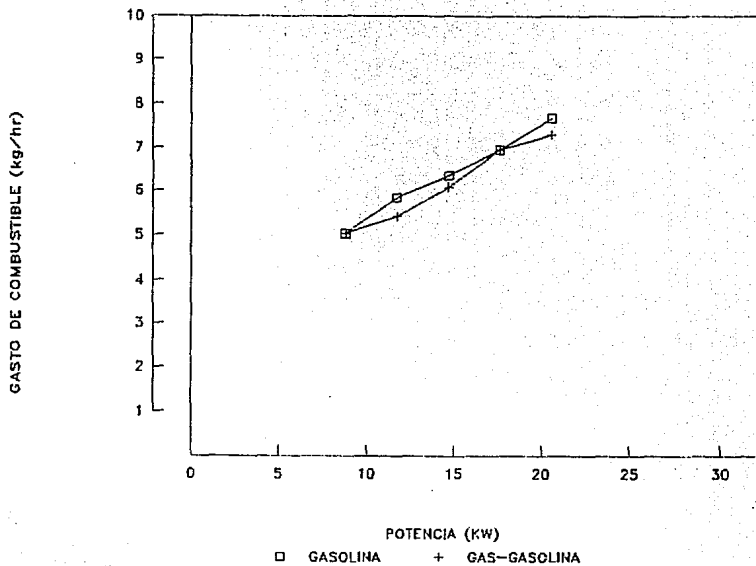


TABLA No. 7					
GASOLINA					
LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)
1	2200	455.0	44.0	5.888	5.034
2	2200	475.0	44.0	8.832	5.407
3	2200	510.0	45.0	11.776	6.348
4	2200	515.0	46.0	14.720	6.636
5	2200	555.0	47.0	17.664	7.300
6	2200	570.0	48.0	20.608	8.111
GAS-GASOLINA (para 0.158 kg/hr de gas)					
1	2200	490.0	44.0	7.360	4.710
2	2200	510.0	43.0	8.832	4.710
3	2200	515.0	43.0	11.776	5.615
4	2200	530.0	43.0	14.720	6.083
5	2200	545.0	44.0	17.664	6.952
6	2200	560.0	45.0	20.608	7.684

CONDICIONES ATMOSFERICAS

Temperatura ambiente: 20.0 °C

Humedad relativa: 42 %

GRAFICA No. 7

(para 0.158 kg/hr de gas)

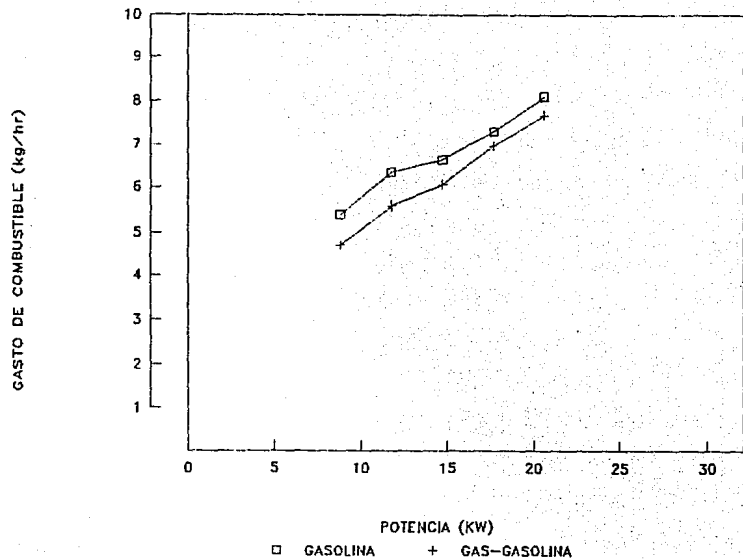


TABLA No. 8					
GASOLINA					
LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)
1	2200	435.0	52.0	7.654	5.615
2	2200	510.0	65.0	11.187	5.407
3	2200	535.0	49.0	11.776	6.083
4	2200	560.0	50.0	14.720	6.348
5	2200	575.0	51.0	17.664	6.952
6	2200	580.0	53.0	20.608	8.111
GAS-GASOLINA (para 0.200 kg/hr de gas)					
1	2200	520.0	43.0	6.182	4.710
2	2200	525.0	43.0	8.832	5.034
3	2200	545.0	47.0	11.776	5.615
4	2200	545.0	47.0	14.720	6.348
5	2200	570.0	49.0	17.664	6.952
6	2200	570.0	50.0	20.608	7.684

continuación de la tabla No. 8

GAS-GASOLINA (para 0.228 kg/hr de gas)					
LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)
1	2200	455.0	46.0	6.182	4.710
2	2200	520.0	43.0	8.832	5.034
3	2200	525.0	43.0	11.776	5.615
4	2200	555.0	48.0	14.720	6.348
5	2200	560.0	48.0	17.664	6.952
6	2200	565.0	50.0	20.608	7.684

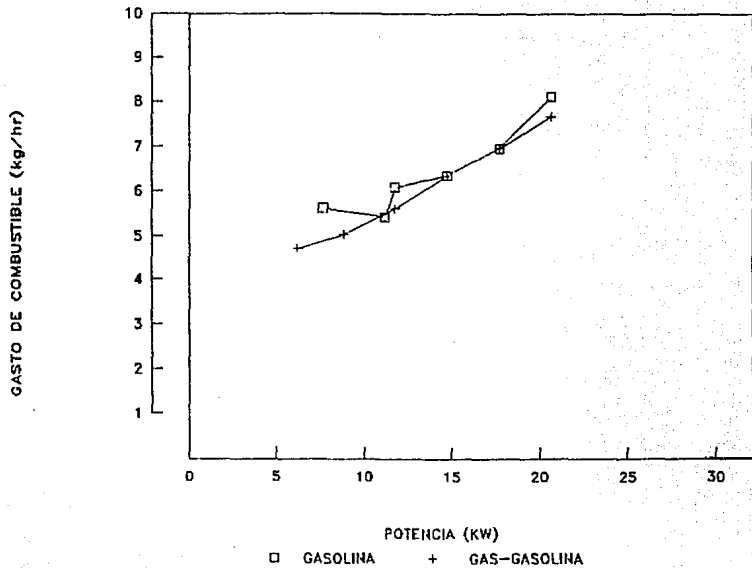
CONDICIONES ATMOSFERICAS

Temperatura ambiente: 19.5 °C

Humedad relativa: 42 %

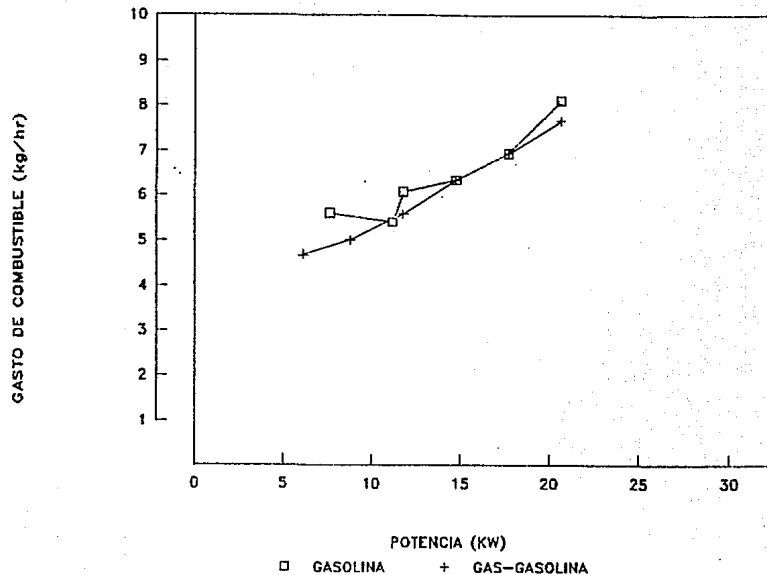
GRAFICA No. 8

(para 0.200 kg/hr de gas)



GRAFICA No. 8.1

(para 0.228 kg/hr de gas)



En la prueba 9 con un gasto de gas de 0.185 kg/hr se obtiene un ahorro de gasolina de 3.45% a 6.35%, también se midieron hidrocarburos y monóxido de carbono, observándose un aumento de HC de 15% a 25% y de CO de 38.10% a 60.87%. Para un gasto de gas de 0.213 kg/hr se obtiene un ahorro de gasolina de 2.60% a 5.26% y un incremento de HC emitido de 7.14% a 28.57% y de CO de 43.48% a 58.33%.

Este mismo análisis se hizo para la prueba 10. Estos resultados se muestran en la siguiente tabla:

PRUEBA	9	9.1	10	10.1
GASTO DE GAS (kg/hr)	0.185	0.213	0.158	0.213
AHORRO DE GASOLINA ² (%)	3.45 a 6.35	2.60 a 5.26	3.99 a 9.67	3.99 a 6.9
HC (%)	15 a 25 ↑	7.14 a 28 ↑	14.2 a 30 ↑	10 a 82.5 ↑
CO (%)	38 a 61 ↑	43.5 a 58.3 ↑	26.6 a 52.9 ↑	47.2 a 62 ↑

2.- Con respecto a la prueba con gasolina únicamente y a 2200 RPM.
 ↑ Aumenta con respecto a la prueba quemando gasolina únicamente.

En esta tabla se observa que el ahorro de gasolina es de 2.6% a 9.6% pero se tiene un incremento de HC de 7.14% a 82.50% y de CO de 26.6% hasta 61.9% (tablas y gráficas 9, 9.1, 10, 10.1).

TABLA No. 9

GASOLINA

LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)	HC (ppm)	CO (%)
1	2200	550.0	51.0	7.360	5.034	140.0	0.80
2	2200	555.0	52.0	8.832	5.214	130.0	0.90
3	2200	560.0	53.0	11.482	5.996	160.0	1.00
4	2200	570.0	53.0	14.720	6.384	160.0	1.10
5	2200	575.0	53.0	17.664	6.952	150.0	1.10
6	2200	580.0	53.0	20.608	8.111	170.0	1.30

GAS-GASOLINA

(para 0.185 kg/hr de gas)

1	2200	380.0	44.0	7.360	5.214	100.0	1.80
2	2200	525.0	49.0	8.832	5.034	160.0	2.30
3	2200	530.0	50.0	11.482	5.615	210.0	2.10
4	2200	545.0	50.0	14.720	6.348	210.0	2.10
5	2200	560.0	51.0	17.664	6.952	200.0	2.20
6	2200	570.0	53.0	20.608	7.684	200.0	2.10

continuación de la tabla No. 9

GAS-GASOLINA (para 0.213 kg/hr de gas)							
LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)	HC (ppm)	CO (%)
1	2200	350.0	43.0	7.360	5.214	800.0	1.80
2	2200	525.0	49.0	8.832	5.034	140.0	2.10
3	2200	530.0	49.0	11.482	5.840	220.0	2.40
4	2200	535.0	50.0	14.720	6.636	220.0	2.20
5	2200	550.0	51.0	17.664	7.300	210.0	2.30
6	2200	565.0	52.0	20.608	7.684	200.0	2.30

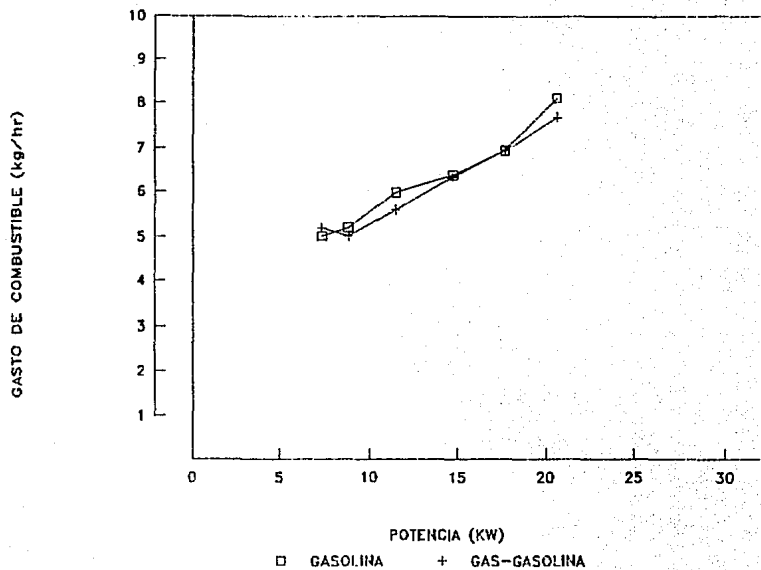
CONDICIONES ATMOSFERICAS

Temperatura ambiente: 21.0 °C

Humedad relativa: 52 %

GRAFICA No. 9

(para 0.185 kg/hr de gas)



GRAFICA No. 9.1

(para 0.213 kg/hr de gas)

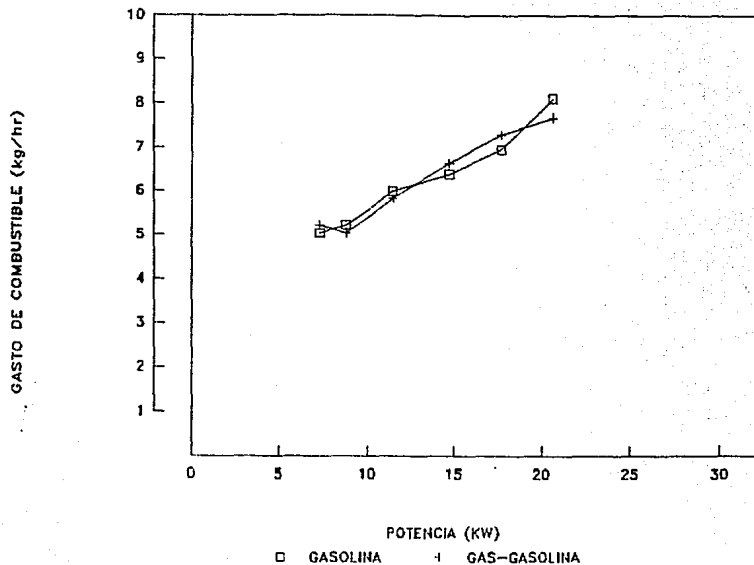


TABLA No. 10

GASOLINA

LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)	HC (ppm)	CO (%)
1	2200	385.0	48.0	7.066	5.214	140.0	0.95
2	2200	515.0	48.0	9.126	5.407	140.0	0.80
3	2200	540.0	48.0	11.776	6.083	160.0	1.10
4	2200	550.0	44.0	14.720	6.636	160.0	1.10
5	2200	560.0	44.0	17.664	7.300	170.0	1.20
6	2200	575.0	45.0	20.608	8.111	180.0	1.10

GAS-GASOLINA
(para 0.158 kg/hr de gas)

1	2200	510.0	59.0	7.066	4.710	200.0	1.70
2	2200	515.0	65.0	9.126	5.034	200.0	1.70
3	2200	520.0	45.0	11.776	5.840	200.0	1.50
4	2200	540.0	44.0	14.720	6.348	200.0	1.60
5	2200	570.0	44.0	17.664	6.952	200.0	1.70
6	2200	575.0	45.0	20.608	8.111	210.0	1.60

continuación de la tabla No. 10

GAS-GASOLINA (para 0.213 kg/hr de gas)							
LECTURA	RPM	TGE (°C)	TAE (°C)	POTENCIA (KW)	GC (kg/hr)	HC (ppm)	CO (%)
1	2200	510.0	53.0	7.066	4.563	800.0	1.80
2	2200	510.0	71.0	9.126	5.034	140.0	2.10
3	2200	520.0	45.0	11.776	5.840	220.0	2.40
4	2200	525.0	44.0	14.720	6.348	220.0	2.20
5	2200	575.0	44.0	17.664	6.952	210.0	2.30
6	2200	575.0	45.0	20.608	7.684	200.0	2.30

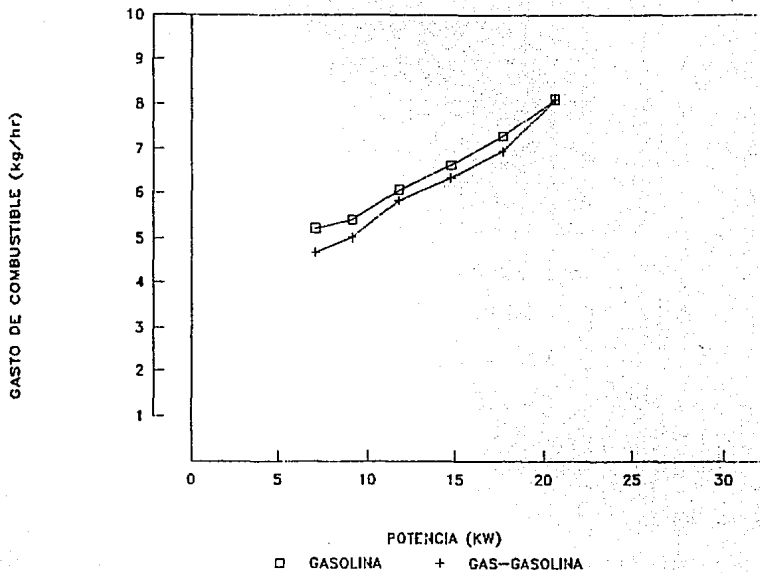
CONDICIONES ATMOSFERICAS

Temperatura ambiente: 22.0 °C

Humedad relativa: 50 %

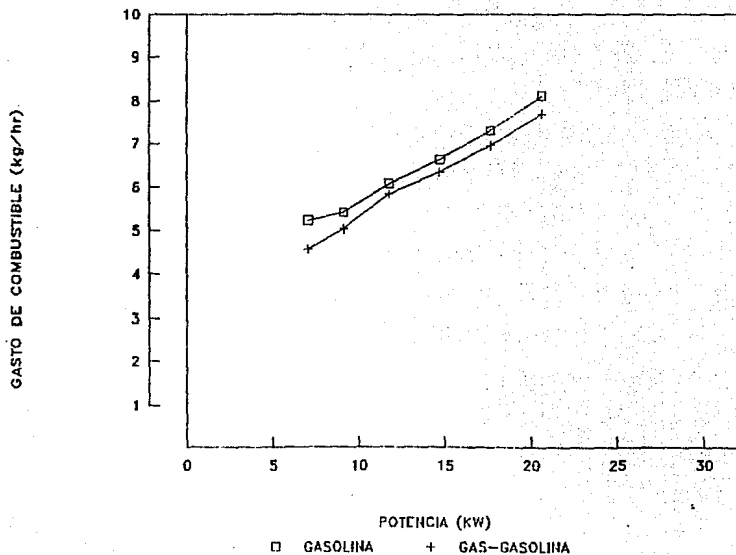
GRAFICA No. 10

(para 0.158 kg/hr de gas)



GRAFICA No. 10.1

(para 0.213 kg/hr de gas)



También se realizó una prueba con el motor funcionando en marcha lenta (ralentí), variando el gasto de gas en un rango de 0.200 kg/hr a 0.256 kg/hr, obteniéndose un ahorro de gasolina de hasta 57% .

Para un gasto de gas de 0.200 kg/hr se obtiene un aumento de HC del 50% y una disminución de CO del 95.67% .

Este mismo procedimiento se realizó para los otros gastos. Los resultados de estas pruebas se muestran en la siguiente tabla :

PRUEBA	11			
GASTO DE GAS (kg/hr)	0.200	0.213	0.228	0.256
AHORRO DE GASOLINA ³ (%)	57	57	57	57
HC (%)	50 ↑	30 ↓	20 ↓	40 ↓
CO (%)	95.6 ↓	83.3 ↓	90 ↓	20 ↓

3.- Con respecto a la prueba con gasolina únicamente y en marcha lenta.

↑ Aumenta con respecto a la prueba quemando gasolina únicamente.

↓ Disminuye con respecto a la prueba quemando gasolina únicamente.

En esta tabla se observa que hay un ahorro de gasolina de hasta el 57% y que para un gasto de 0.200 kg/hr se tiene un aumento de HC del 50% . Para las demás pruebas se tiene una disminución de HC de 20% al 40% y de CO de 73.3% a 95.6% .

Por otro lado también se monitoreó en dos rutas típicas de la ciudad de México el tiempo en que un microbus permanece en marcha ralenti debido a : ascenso y descenso de pasajeros, altos por semáforos, etc.

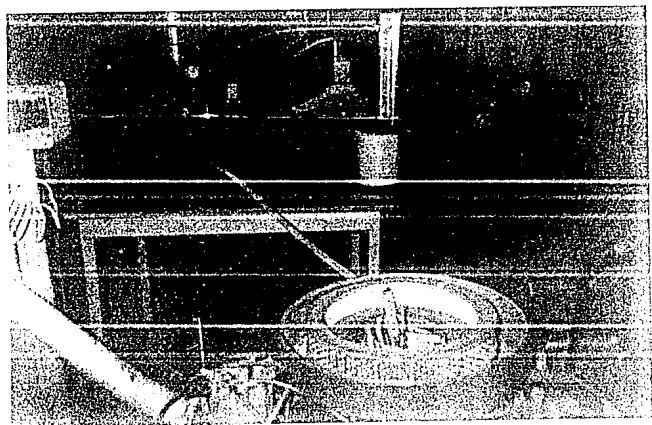
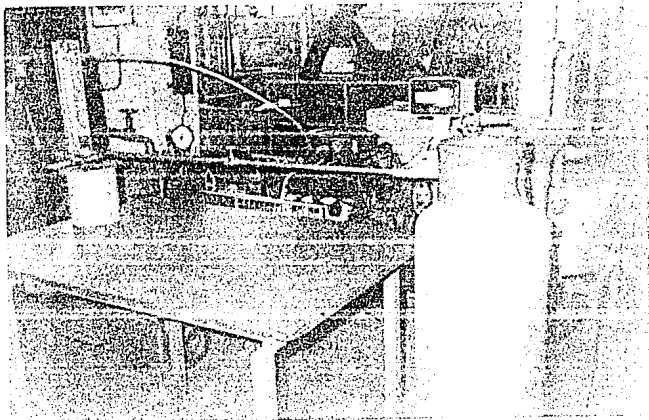
La distancia recorrida por cada ruta es de 6 km. aproximadamente. Los resultados obtenidos se muestran a continuación :

DIA ¹	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
HORA DE INICIO	7:49	7:55	7:50	7:50	7:53
HORA DE LLEGADA	8:13	8:14	8:12	8:10	8:12
TIEMPO DEL RECORRIDO (min)	24	19	22	20	19
TIEMPO TOTAL EN RALENTI (min)	5.55	2.6	3.23	3.13	4.16
TIEMPO TOTAL EN RALENTI (%)	23	14	15	16	22

DIA ²	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
HORA DE INICIO	18:35	14:36	20:05	20:26	17:21
HORA DE LLEGADA	19:10	15:01	20:27	20:45	18:03
TIEMPO DEL RECORRIDO (min)	35	25	22	19	42
TIEMPO TOTAL EN RALENTI (min)	13.45	10.75	12.50	7.00	5.50
TIEMPO TOTAL EN RALENTI (¢)	38	43	57	37	13

¹.- Estas lecturas fueron tomadas del día 29 al 3 de diciembre de 1993.

².- Estas lecturas fueron tomadas del día 13 de diciembre de 1993.



Instalación del sistema dual Gas-Gasolina (ilustración superior) y detalle del suministro de gas L.P. al motor (ilustración inferior).

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en las pruebas realizadas se observa : para las pruebas 1 y 2 , a medida que se incrementa la potencia aumenta el gasto de gasolina. Lo cual es congruente con el comportamiento real del motor. Para las pruebas 3,4,5,6,7y 8 suministrando una mezcla de gas-gasolina (con diferentes gastos de gas) y comparando los resultados con las pruebas con gasolina únicamente como combustible se obtuvo un ahorro de gasolina de 3.12% a 16.12%.

En las pruebas 9 y 10 se obtuvo un ahorro de gasolina de 2.6% a 9.6% pero se observó un aumento en las emisiones de HC de 7.14% a 82.5% y de CO de 26.6% a 61.9% .

En la prueba 11 con el motor funcionando en marcha ralenti se observó un ahorro de gasolina del 57% y una disminución de HC que oscila entre 20% y 40% y de CO de 73.3% a 95.6% .

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que el sistema dual gas-gasolina propuesto funciona mejor bajo las siguientes condiciones :

1.- Incrementando la carga y con el motor funcionando a 2200 RPM, se observa una disminución en el consumo de gasolina pero se incrementa el nivel de emisiones contaminantes.

2.- En marcha ralenti el consumo de gasolina se reduce en 57% y el nivel de emisiones también sufre una reducción apreciable (HC y CO) .

3.- El sistema permite tener la potencia del motor cuando esto se requiera.

El punto óptimo de operación es cuando se suministra un gasto de gas de 0.213 kg/hr (en la mezcla de gas-gasolina) ya que en estas condiciones se obtienen las emisiones más bajas de HC y CO .

BIBLIOGRAFIA

Miguel de Castro Vicente

" Electricidad del automóvil, tomo II "

Enciclopedia del automóvil

Ediciones ceac, s.a.

Barcelona, España.

Bosch

Manual de la técnica del automóvil

Editorial Reverté, S.A.

2a. edición

Frederick C. Nash

Fundamentos de mecánica automotriz .

Editorial DIANA, México.

Miguel de Castro Vicente

"Electricidad del automóvil, tomo II"

Encendido y accesorios

Enciclopedia del automóvil

Ediciones ceac, s.a.

Barcelona, España.

Roger Guerber

Diccionario del automóvil
Editorial Gustavo Gili, S.A.
Barcelona, España.

Eduardo Hernández Goribar

Alejandro Ocampo Compéan
Prácticas de laboratorio de máquinas térmicas
Facultad de Ingeniería, UNAM.

Edward F. Obert

Motores de combustión interna
Editorial C.E.C.S.A.

Tesis

Diseño del laboratorio de emisiones vehiculares de la división
de estudios de posgrado de la Facultad de Ingeniería-UNAM.
Facultad de Ingeniería
UNAM, 1989.