



D-4739

T
621.437
R 457
401-00035

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Departamento de Ingeniería Mecánica

**“Funcionamiento de un Motor de Cuatro Tiempos
Encendido por Chispa, con Gas Licuado de Petroleo”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

FAUSTO R. REYES GARCIA

Guayaquil-Ecuador

1982



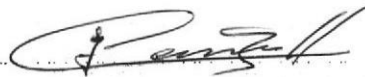
AGRADECIMIENTO

A la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, y a todos los ingenieros que la conforman.

Al señor VICENTE REYES CUEVA, por su valiosa ayuda prestada.

DEDICATORIA

A MIS PADRES



.....
ING. FREDDY CEVALLOS

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta Tesis, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL."

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL).



.....

FAUSTO R. REYES GARCIA

R E S U M E N

El presente trabajo consta de dos partes; la introducción teórica y el trabajo experimental.

INTRODUCCION TEORICA: Esta parte tiene por objeto describir el funcionamiento del sistema de alimentación de combustible y carburación cuando el motor funciona con gasolina. Además se incluye una tabla con los resultados de los cálculos realizados para los ciclos teóricos. También se establece una comparación entre las características de los combustibles a usarse, así mismo se establece la importancia de las características antidetonantes de los combustibles.

X TRABAJO EXPERIMENTAL: Consta descripción y funcionamiento de los dispositivos adaptados al motor para su funcionamiento con gas licuado de petróleo, las tablas y curvas características del funcionamiento del motor, tanto con gasolina como con gas licuado del petróleo, comentarios e interpretación de las curvas, además se han incluido las conclusiones a las que se ha llegado a lo largo de todo el trabajo experimental.

INDICE

	<u>PAGS.</u>
I. INTRODUCCION.....	1
1. OBJETIVO	1
2. GENERALIDADES	3
x a. Definición de los parámetros principales utilizados.	3
y b. Termodinámica del ciclo teórico y real de un motor de combustión interna	4
c. Estudio Comparativo-teórico de las características de la gasolina y del gas licuado del petróleo.....	19
d. Ventajas y desventajas(teóricas) del trabajo del mo tor de combustión interna con gas licuado del petró leo.....	45
x e. Operación del carburador en un motor encendido por chispa.....	50
II. TRABAJO EXPERIMENTAL	71
1. EQUIPO EXPERIMENTAL	71
a. Descripción general del equipo.....	71
b. Dispositivos adaptados al motor para su funcionamien to con gas licuado de petróleo; breve descripción y funcionamiento de cada uno de ellos.....	76

2. EXPERIMENTACION	87
a. Curvas características del motor funcionando con gasolina, versus revoluciones por minuto, gráficos de potencia, torque, consumo específico de combustible y relación aire-combustible.....	92
b. Curvas características del motor funcionando con gas licuado de petróleo.....	108
3. ANALISIS DE RESULTADOS	
a. Comentarios acerca de las curvas características del motor, obtenidas con los diferentes combustibles empleados	112
4. CONCLUSIONES	118
5. APENDICES	130
a. Gráficos y fotografías.....	131
b. Anexos	140
c. Referencias Bibliográficas	198

I. OBJETIVO

INTRODUCCION TEORICA

El presente trabajo experimental tiene como objetivo el estudiar las características de funcionamiento de un motor con un combustible gaseoso, conocido con el nombre de gas licuado de petróleo (G.L.P.).

Necesariamente para poder hacer un estudio de esta naturaleza tiene que ser comparado con un combustible ya conocido como la gasolina.

La justificación de este trabajo, se puede encontrar en las ventajas de utilizar este combustible, a continuación se presentan algunas:

* Siendo un combustible gaseoso, presenta la facilidad de mezclarse con el aire formando una mezcla homogénea, apta para la combustión.

Es posible obtener una disminución en el consumo específico por unidad de peso, frente a la gasolina.

Este combustible soporta mayores relaciones de compresión que nuestra gasolina, de esta forma, un motor dado puede trabajar con razo-

nes de compresión más altas con el propósito de obtener un aumento de potencia, y la disminución del consumo específico en el combustible.

II. GENERALIDADES

2.1. DEFINICION DE LOS PARAMETROS PRINCIPALES UTILIZADOS

POTENCIA: Es la cantidad de trabajo ejecutado en la unidad de tiempo.

POTENCIA AL FRENO: Es aquella que se mide en el eje de salida del motor.

POTENCIA INDICADA: Es el trabajo por unidad de tiempo, que realizan los gases en el interior del cilindro.

TORQUE O PAR MOTOR: Es la fuerza multiplicada por unidad de distancia medida desde el centro del eje, que un motor es capaz de vencer con su eje propulsor.

CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE AL FRENO: Es la cantidad en peso de combustible por unidad de tiempo que el motor consume para desarrollar una unidad de potencia referida al freno.

RELACION AIRE-COMBUSTIBLE PONDERABLE (A/C): Es la cantidad en peso de aire que el motor necesita para combustionar una cantidad también en peso de combustible.

2.2. TERMODINAMICA DEL CICLO TEORICO Y REAL DE UN MOTOR DE COMBUSTION

INTERNA

El fluido de trabajo durante su paso por el motor, es sometido a una serie de transformaciones químicas y físicas (compresión, expansión, combustión, transmisión de calor, rozamiento en las paredes y con la masa del fluido, etc.), que constituyen el ciclo del motor. El examen cuantitativo de estos fenómenos, efectuados teniendo en cuenta todas las numerosas variables representa un problema muy complejo. Por ello, corrientemente se simplifica recurriendo a sucesivas aproximaciones teóricas, cada una de las cuales está basada en diferentes suposiciones simplificativas, que tienen una aproximación gradualmente creciente.

Para los ciclos teóricos, las aproximaciones comunmente empleadas en orden de aproximación a las condiciones son : ciclo teórico de Otto, ciclo de aire y ciclo de aire-combustible. A estos ciclos teóricos se los compara en la práctica con los ciclos reales que se obtienen experimentalmente por medio de indicadores; por esta razón, el ciclo real se llama también ciclo indicado.

En los ciclos ideales se supone que el fluido operante está -

constituido por aire que se comporta como gas perfecto. Por ello, los valores de los calores específicos se consideran constantes e iguales al del aire en condiciones normales.

El ciclo ideal representa, el límite máximo que teóricamente puede alcanzar el motor y permite un fácil estudio matemático basado en las leyes de los gases perfectos.

En el ciclo de aire, el fluido operante es también aire, pero se supone que los calores específicos son variables con la temperatura.

Las condiciones de introducción y sustracción de calor son iguales a las del ciclo ideal y tampoco hay pérdidas de calor. Como el cálculo de los calores específicos medios es complicado se usan tablas que dan directamente los valores del calor y del trabajo, en términos de energía interna y entalpía para los diversos puntos de las transformaciones isentrópicas del aire. Teniendo en cuenta las variaciones de los calores específicos se obtienen, para las temperaturas y presiones máximas, valores inferiores a los calculados para el ciclo ideal; por consiguiente, el trabajo y el rendimiento térmico resultan así mismo más bajos, pero aún así, son mayores que los correspondientes a un ciclo real.

El ciclo aire-combustible, es el ciclo teórico más próximo al real. El fluido de trabajo está compuesto de los gases residuales de la combustión anterior con la mezcla fresca aire-combustible. Después de la combustión el fluido está constituido por los productos de la misma, esto es, una mezcla de CO_2 , CO , H_2O , N_2 , estos gases tienen un calor específico medio; que es más alto que el aire, además hay un incremento posterior de los calores específicos, a causa de la disociación o descomposición química de las moléculas más ligeramente sometidas a la acción de altas temperaturas. El aumento de los calores específicos así como la disociación que, por ser una reacción endotérmica, absorbe una parte de calor de combustión, produce un posterior descenso de la temperatura y de la presión máxima en comparación con las calculadas para el ciclo de aire.

Para el cálculo del ciclo aire-combustible se recurre a tablas que contienen datos obtenidos experimentalmente. Incluso para este ciclo se admite no sólo que el calor es introducido y sustraído de manera instantánea como en el ciclo ideal, sino que no se produce pérdidas de calor.

El ciclo real se obtiene experimentalmente por medio de aparatos indicadores capaces de registrar los diagramas de presiones en función de los volúmenes, en un cilindro motor funcionando. El

diagrama indicado refleja las condiciones reales de ciclo y por tanto tienen en cuenta también las pérdidas causadas por el rozamiento del fluido, las pérdidas de calor, la duración de la combustión, el tiempo de abertura de las válvulas, el tiempo de encendido, así como las pérdidas de escape, además de las variaciones ya enunciadas para el ciclo de aire y para el ciclo aire-combustible en comparación con el ciclo ideal.

EL CICLO TEORICO DE OTTO: Este ciclo está representado en la figura 2.1, tanto en coordenadas p-V como en coordenadas T-S. Las transformaciones termodinámicas que se verifican durante el ciclo son:

- 1.2. Isentópica.- Compresión del fluido activo y el correspondiente trabajo W_1 realizado por el pistón.
- 2.3. A volumen constante.- Introducción instantánea de calor Q_1 .
- 3.4. Isentrópica.- Expansión y correspondiente trabajo W_2 producido por el fluido de trabajo.
- 4.1. A volumen constante.- Sustracción instantánea de calor Q_2 .

En realidad en los motores de cuatro tiempos la sustracción instantánea de calor Q_2 se verifica durante la carrera de escape - 1-0, y el fluido se introduce en el motor en la carrera de aspiración 0-1, lo cual se lo representa graficamente en el diagrama p-V mediante una línea horizontal, mientras que en el diagrama T-S no es posible representarlo. Las carreras de aspiración y de escape en realidad consumen una cantidad de trabajo que en este caso ideal no se considera. Debe anotarse además que el trabajo de un motor de combustión interna no se realiza siguiendo un determinado ciclo, siendo más bien un proceso fluyente pero por razones de orden teórico permiten considerar que el trabajo del motor se realiza siguiendo un ciclo.

Como el calor Q_1 se introduce a volumen constante, el trabajo - W_{2-3} realizado durante esa transformación es nulo, y la ecuación de la conservación de la energía del fluido sin flujo se transforma en:

$$Q_1 = U_3 - U_2$$

Donde U es la energía interna total. Como se trata de un ciclo ideal el fluido es considerado como un gas perfecto.

$$U_3 - U_2 = C_v (T_3 - T_2)$$

Donde C_v es el calor específico a volumen constante.

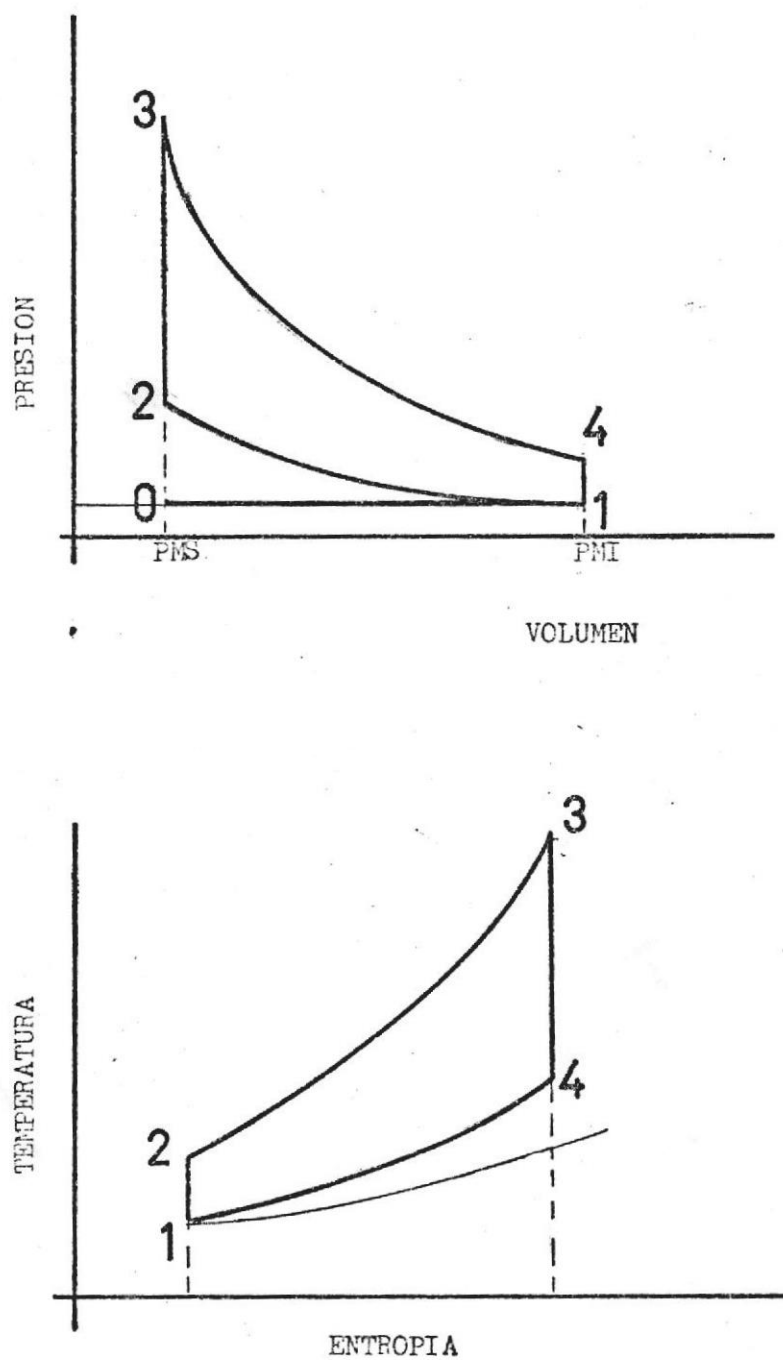


FIG..2-1 CICLO OTTO.

de donde resulta:

$$Q_1 = C_v (T_3 - T_2)$$

Análogamente, como el calor Q_2 es sustraído también a volumen - constante, y en tales condiciones $W_4 - 1$ es cero.

$$Q_2 = U_4 - U_1 = C_v (T_4 - T_1)$$

Por consiguiente, el rendimiento térmico para el ciclo de Otto resulta:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\eta_t = \frac{C_v (T_3 - T_2) - C_v (T_4 - T_1)}{C_v (T_3 - T_2)}$$

Para las transformaciones isentrópicas de compresión 1-2, y de expansión 3-4, obtenemos, respectivamente:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{k-1}$$

Donde K es el exponente isentrópico. Y como $V_1 V_4$ y $V_2 V_3$, po
demos escribir:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} ;$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

Introduciendo estas relaciones en la expresión del rendimiento
térmico resulta:

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1}$$

Indicando con γ_e la relación entre los respectivos volúmenes V_1
y V_2 del principio y final de la carrera de compresión a la
cual llamaremos relación de compresión, se obtiene la expresión
final:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\gamma_e^{k-1}}$$

El rendimiento térmico del ciclo Otto, es por tanto, función de la relación de compresión y del exponente k , relación de los calores específicos del fluido de trabajo.

Aumentando la relación de compresión, aumenta la eficiencia térmica; aumentando los valores de los calores específicos, disminuye k y en consecuencia, también el rendimiento térmico. Por ello el ciclo ideal, para el cual $k = 1.4$ tiene un rendimiento térmico superior al ciclo de aire, dado el caso que para este el exponente k posee un valor medio más bajo, por variar los calores específicos con la temperatura.

CICLO REAL DE UN MOTOR DE 4 TIEMPOS: A diferencia del ciclo ideal, el ciclo real tiene las siguientes características:

1. No es un ciclo reversible y no es un ciclo cerrado, ya que cuando se enciende la mezcla, la composición de esta cambia física y químicamente.
2. La mezcla cambia física y químicamente su calidad, dependiendo de los procesos, ya que al terminar la compresión antes - de que la mezcla se encienda, la mezcla es una composición - de aire, vapores de combustible, y gases quemados.

La composición de los productos de la combustión, también - cambian por efectos de la disociación.

3. El ciclo se sucede con continua transferencia de calor al medio, ya que el momento de encendido de la mezcla, en la expansión y en el escape, parte del calor es expelido fuera del cilindro.

En el momento de la admisión y en el comienzo de la compresión del exterior se introduce calor.

Es por esto que el proceso de compresión se sucede por politropía (el valor del exponente isentrópico k pasa a ser el exponente politrópico n).

4. El ciclo va acompañado de introducción y salida de calor en momentos determinados, esto es, cuando cambia el volumen del cilindro. Esto se explica así:

La máxima introducción de calor ocurre cuando se enciende la - mezcla, tomando en cuenta la velocidad de la combustión, al final de esta y junto con ella vá también la disociación de los productos de la combustión, la salida de calor al medio no es de forma instantánea en el PMS sino que continúa hasta la ex

pansión y comienza al final de la compresión.

El proceso de expansión es muy importante, ya que la mayor cantidad de calor cerca del P M S y el coeficiente de transmisión de calor de las paredes del cilindro, determinan el carácter - del proceso de expansión.

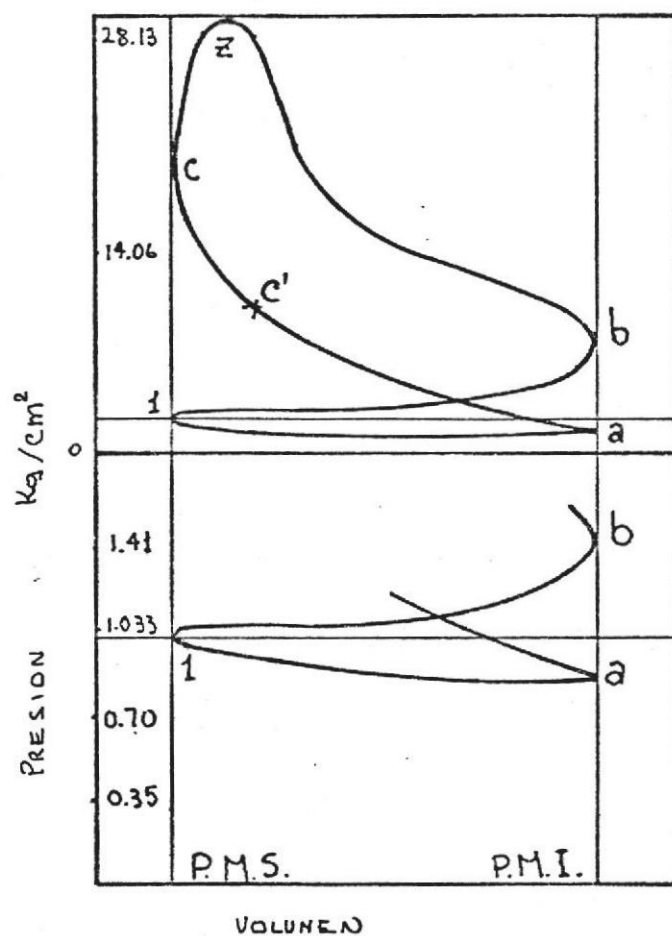
Sin embargo de todas estas diferencias, los principios más importantes que rigen el ciclo ideal, rigen también el ciclo real, es decir:

1. La estructura de las principales leyes de la termodinámica son válidas para ambos.
2. El rendimiento del ciclo ideal depende de la relación de compresión y de las propiedades físicas de la mezcla. Por eso lo estudiado para el ciclo ideal sirve para el análisis del ciclo real.

Ya que el ciclo real no se ha medido, en su lugar se ha desarrollado un ciclo aire-combustible, sentando las bases para el - uso de las tablas que se encuentran al final.

Tablas C- 1; C-2; C-3; C-4.

DIAGRAMA INDICADOR DE UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS



Este es el diagrama de un ciclo real y se conoce como el diagrama indicador.

a-c compresión

c'-z encendido

z-b expansión

b-1 barrido

1-a admisión.

Se dá a continuación una tabla (tabla I), con los cálculos obtenidos para el ciclo ideal de Otto, es decir con calores específicos constantes, el ciclo de aire - con calores específicos en función de la temperatura, - utilizando las tablas de Keenan y Kaye de las propiedades del aire a bajas presiones, tanto para un combustible líquido C_8H_{18} , (iso - octano) como para una mezcla gaseosa de propano y butano al 50 % (C_3H_8 y C_4H_{10} , respectivamente), finalmente se incluye el ciclo aire - combustible con las propiedades tomadas a partir de las cartas de la referencia 9 de la bibliografía. Todos los cálculos de estos ciclos y las bases teóricas del ciclo aire - combustible se encuentran expuestas en el Capítulo de Anexos. *

TABLA DE RESULTADOS

1. Representa las condiciones a la entrada.
 2. Representa las condiciones al final de la compresión.
 3. Condiciones después de la combustión.
 4. Condiciones después de la expansión.
 5. Condiciones en la salida del escape.
-
- A. Ciclo Otto con calores específicos constantes.
 - B. Ciclo de aire con calores específicos en función de la temperatura, utilizando iso - octano líquido.
 - C. Ciclo de aire con calores específicos en función de la temperatura, y considerando al cilindro como parcialmente ocupado por una mezcla gaseosa de propano y butano al 50 %.
 - D. Ciclo aire - combustible utilizando las cartas que se encuentran al final.

TABLA I

	p 1	T 1	p 2	T 2	p 3	T 3	p 4	T 4	p 5	T 5	η_t
A	0.984	355	21.33	854	124.20	4978	5.64	2058	1.033	1267	0.5868
B	0.984	355	20.38	818	96.79	3885	7.65	2165	1.033	1363	0.4646
C	0.984	355	20.38	818	97.61	3918	7.92	2196	1.033	1369	0.4605
D	0.984	355	17.16	705	77.36	2855	5.13	1702	1.033	1205	0.4020

presión (p) en Kilogramos/cm² absoluto

Temperatura (T) en grados Kelvin

Potencia (Pot) en Kilovatios

Consumo Específico de Combustible (C.E.C.) en gramos/Kilovatios-hora.

X

2.3. ESTUDIO COMPARATIVO TEORICO DE LAS CARACTERISTICAS DE LA GASOLINA Y DEL GAS LICUADO DE PETROLEO

GASOLINA: La gasolina, que se obtiene por diversos métodos de destilación, es una mezcla de diferentes hidrocarburos, con el fin de obtener el funcionamiento adecuado de los motores ésta debe reunir las siguientes características:

1. **CARACTERISTICAS ANTIDETONANTES:** Actualmente el patrón de comparación es el NUMERO OCTANO, que proviene de la comparación del combustible en cuestión, con un combustible que es la mezcla de dos hidrocarburos patrones, el iso-octano, con característica antidetonante de cien y el heptano con característica antidetonante cero. De esta forma un combustible que tiene un número octano de 90 significa que tiene una característica antidetonante similar a una mezcla de 90 % de iso-octano y 10 % de heptano. En consecuencia el combustible que tenga mayor número octano se comportará en mejor forma dentro del motor.
2. **VOLATILIDAD:** Las condiciones de arranque de un motor requieren características en el combustible que se conocen con este nombre. Basicamente un combustible volátil es aquel que tiene bajo punto de ebullición. Con el objeto de

formar una mezcla apta para la combustión, en condiciones - de arranque (motor frío) es necesario que parte de la gasolina se volatilice, facilitando de esta forma el arranque. Sin embargo en condiciones diferentes, como por ejemplo - ~~x~~ cuando el motor está caliente, demasiada volatilidad en el combustible perjudica la alimentación del combustible.

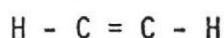
3. LIMPIEZA: Un combustible además de los requerimientos normales de pureza de partículas sólidas, no debe depositar ni goma ni barnices en los conductos, ni en el carburador, tampoco debe depositar residuos sólidos en el interior de la cámara, ni en las válvulas, ni bujías.
4. CORROSION: Ni el combustible, ni los residuos de la combustión deben ser corrosivos, puesto que, destruyen especialmente los tubos de escape.
5. COSTO: El combustible debe ser barato.

Teniendo en cuenta que la gasolina es una mezcla de hidrocarburos con características diferentes, se describirán las principales familias de hidrocarburos. Estas características provienen de las estructuras moleculares, de la proporción carbono - hidrógeno.

FAMILIA DE LAS PARAFINAS: El miembro más simple de esta familia es el metano CH_4 , los miembros superiores se forman uniendo carbonos en cadena, la fórmula general de las parafinas es $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$, sin embargo, puede satisfacer esta fórmula y no siempre estar en cadena recta sino ramificada y abierta, teniendo en este caso, propiedades diferentes, a tales sustancias se les llama isómeros. Hay que notar, que tanto los compuestos normales como los isómeros están saturados, es decir, ocupadas todas las valencias.

La tabla II muestra las propiedades de los miembros de la familia de las parafinas. Es de notar que la relación crítica de compresión para la detonación o golpeteo audible en un motor ECH (encendido por chispa), disminuye rápidamente a medida que aumenta la longitud de la cadena de los miembros normales. Por esta razón las parafinas dentro del rango de la volatilidad de la gasolina son malos combustibles para un motor ECH. Se puede decir que los miembros más volátiles tienen menos tendencia a la detonación y golpeteo, los miembros de cadena ramificada tienen una razón crítica de compresión útil mayor. El mismo concepto puede decirse que es válido para las gasolinas desintegradas por calor, pero no las desintegradas por catálisis, - las cuales pueden contener parafinas ramificadas en las fracciones más pesadas.

FAMILIAS DE LAS OLEFINAS: Las olefinas son compuestos no saturados de cadena abierta, con fórmula C_nH_{2n} , la no saturación es evidente por el doble enlace en la fórmula gráfica, ejemplo C_2H_4 (etileno).



Las propiedades físicas de las olefinas corresponden muy estrechamente a los compuestos similares en la familia de las parafinas. Sin embargo, como consecuencia del libre enlace, las olefinas son químicamente reactivas y se unen fácilmente con el hidrógeno para formar la parafina correspondiente, o en algunos casos con el oxígeno para formar un compuesto indeseable; la goma. Las olefinas que no reaccionan rápidamente con el oxígeno son los componentes de la gasolina más deseables que las n-parafinas, debido al mayor número octano.

FAMILIA DE LAS DIOLEFINAS: Se las describe mejor como olefinas de dos enlaces dobles. Estos compuestos no saturados de cadena abierta tienen la fórmula C_nH_{2n-2} y sus nombres terminan en las letras "dieno".

TABLA II

Fórmula	Nombre	Peso molar	Gravedad		Temperatura de fusión °C (2)	Temperatura de ebullición °C (2)	Presión de vapor kg/cm (6)	Relación de compresión (3)	Número octano y cetano (4)	Temperatura de autoencendido (5)	Poder calorífico (5)			Calor latente kcal/kg
			API	Específica (1)							Superior kcal/kg	Inferior kcal/kg	De la mezcla kcal/kg	
CH ₄	Metano	16.03	202.5	.424	-183	-162	.....	12.6	110*	861	13 284	12 030	774	138
C ₂ H ₆	Etano	30.05	194	.546	-172	-88	.....	12.4	104*	565	12 477	11 473	821.5	97.5
C ₃ H ₈	Propano	44.06	142	.582	-188	-42	.....	12.2	100	534	12 059	11 148	833.9	93
C ₄ H ₁₀	Butano	58.1	116.5	.570	-138	-0.6	3.500	5.5	92	516	11 864	11 025	843.7	92
C ₄ H ₁₀	Isobutano	58.1	121	.559	-159	-12	3.250	8.0	99	.....	11 636	10 998	841.9	87
C ₅ H ₁₂	Pentano	72.1	94.5	.631	-130	36	1.085	4.0	61	500	11 753	10 916	848.2	90
C ₅ H ₁₂	Isopentano (2 metil butano)	72.1	94.9	.625	-160	28	1.428	5.7	90	.....	11 753	10 916	848.2	89
C ₆ H ₁₄	Hexano	86.1	80.6	.667	-95	68	0.343	3.3	25	487	11 641	10 824	850	87
C ₆ H ₁₄	Isohexano (2, 3 dimetil butano)	86.1	81	.668	-129	58	0.511	9.0	85	.....	11 641	10 824	850	87
C ₇ H ₁₆	Heptano	100.2	73	.692	-91	98	0.112	3.0	0(57)	478	11 634	10 810	858	74
C ₈ H ₁₈	Octano	114.2	70.5	.703	-57	125	.....	2.9	-17	471	11 558	10 766	859	71
C ₈ H ₁₈	Isooctano (2, 2, 4 trimetil pentano)	114.2	71.6	.696	-107	89	0.119	7.3	100	731	11 463	10 672	850	.....
C ₉ H ₂₀	Nonano	128.2	65.5	.718	-54	150	.....	.....	-45	460	11 530	10 746	859	68
C ₁₀ H ₂₂	Decano	142.3	62.5	.73	-30	178	.....	.....	.....	463	11 474	10 697	859.7	60
C ₁₁ H ₂₄	Undecano	156.3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	93	.....	11 474	10 697	859.7	.....
C ₁₁ H ₂₄	Dodecano	156.3	59.5	.74	-20	195	.....	.....	.....	.....	11 474	10 702	861.5	.....
C ₁₁ H ₂₄	Isododecano	170.3	57.5	.749	-10	210	.....	.....	(82)	.....	11 440	10 697	862.4	59.5
C ₁₂ H ₂₆	Dodecano	170.3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	100	.....	11 440	10 697	862.4	.....
C ₁₃ H ₂₈	Tridecano	184.3	55.5	.757	-9	220	.....	.....	.....	.....	11 440	10 655	861.5	.....
C ₁₄ H ₃₀	Tetradecano	198.4	53	.763	0	251	.....	.....	.....	.....	11 407	10 647	861.5	.....
C ₁₅ H ₃₂	Pentadecano	212.4	52.5	.769	18	261	.....	.....	.....	.....	11 391	10 634	861.5	.....
C ₁₆ H ₃₄	Hexadecano (cetano)	226.4	51.5	.774	18	260	.....	.....	(100)	.....	11 374	10 620	862.4	.....
C ₁₇ H ₃₆	Heptadecano	240.5	51	.777	22	303	.....	.....	.....	.....	11 363	10 611	865.1	.....
C ₁₈ H ₃₈	Octadecano	254.5	49.5	.782	28	308	.....	.....	.....	.....	11 363	10 609	866	.....
C ₁₉ H ₄₀	Nonadecano	268.5	49.5	.781	80	331	.....	.....	.....	.....	11 353	10 601	868	.....

(1) Densidad de la sustancia a 20°C, referida a la del agua a 4°C. (La densidad de los gases, determinada en el punto de ebullición del gas).

(2) Presión de 1.033 kg/cm².

(3) Relación de compresión aproximadamente útil o relación (CCH). Golpeteo audible; local silencioso; 600 rpm; aire de admisión a 100°C; chispa para obtener máxima potencia (pruebas GM). Advertencia: varía con menores diferencias y con condiciones diferentes; consulte por referencias a los números octanos.

(4) Método del motor ASTM para determinar los números octano, entre paréntesis.

(5) Poderes caloríficos a volumen constante desde 25°C (77°F).

(6) Presión del vapor a 38°C (100°F).

(*) Estimado.

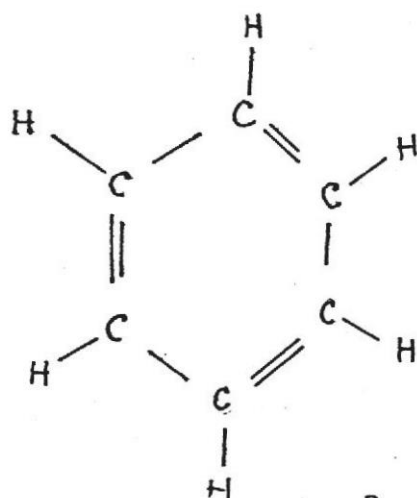
Las diolefinas son componentes indeseables en los combustibles porque al almacenarse ocurren reacciones que tienden a colorearlo, e incluso a la formación de una goma oscura. Esta goma puede afectar seriamente a la carburación y el funcionamiento de las válvulas.

FAMILIA NAFTENO O CICLOPARAFINAS: Tienen igual forma que las olefinas (C_nH_{2n}) pero los naftenos son compuestos saturados - de estructura de anillo, son mejor descritos con el nombre de cicloparafinas. Los componentes se denominan añadiendo el pre fijo ciclo al nombre de la parafina de cadena recta.

Debido a su estructura molecular estos compuestos son deseables en la gasolina.

LA FAMILIA DE LOS AROMATICOS: Los miembros de la familia del benceno, son hidrocarburos de estructura de anillos con fórmula general C_nH_{2n-6} .

A pesar de la falta de saturación, las uniones dobles no son fijas en su posición con respecto a los átomos de carbono, pero si son en cambio alternas, dando el origen al nombre de uniones aromáticas, son más deseables que los otros compuestos

BENCENO C_6H_6

no saturados y son más estables químicamente. Resisten mucho el autoencendido, aún mejor que el iso-octano.

Cuando se une más de un grupo al anillo bencénico forman isómeros.

Las series naftalenos se encuentran también en doble anillo - con fórmula general C_nH_{2n-12} .

Los miembros de la familia de los aromáticos son gasolinas excelentes como combustibles y pueden producirse selectivamente por desintegración catalítica o por desintegración pirogénica a temperaturas elevadas ($649^{\circ}C$).

El benceno conocido como benzol se emplea como agente antidetonante en combustibles de bajo octanaje.

LOS ALCOHOLES: Los alcoholes son el producto de la oxidación parcial del petróleo y no están presentes en el aceite crudo.

Los compuestos son saturados, con estructura de cadena de la forma $R.OH$. En este caso el radical R es el grupo parafina - unido al radical hidroxilo OH .

El empleo de este tipo de combustible tiene la característica de que se puede fabricar a partir de desechos agrícolas como azúcar (melaza), almidón y productos que contienen celulosa.

Además presenta excelentes características antidetonantes con una razón crítica de compresión de 15 a 1. (1)

Las propiedades de estos pueden verse en la tabla II, junto con otras familias de hidrocarburos.

El alcohol metílico requiere 6.4 partes en peso de aire por cada una de combustible, el alcohol etílico requiere 9 partes.

(1). Consúltase a la referencia 6 de la Bibliografía.

Esto significa que tiene que hacerse modificaciones en el carburador de gasolina que generalmente nos dá de 13 a 15 partes de aire por una de combustible, en consecuencia los surtidores de combustible serán más grandes. El calor latente de vaporización del alcohol es tres veces mayor que el de la gasolina, es decir más calor se requiere para vaporizar el alcohol para formar la mezcla resultando el enfriamiento de esta. la mezcla enfriada tiene un mayor peso en el interior del cilindro, dando como resultado una mayor potencia de salida. Por otro lado es necesario calentar el múltiple de admisión o el aire de entrada para asegurar la vaporización del alcohol.

El metanol es utilizado en las competencias deportivas por su alto octanaje, produce además un enfriamiento interno en el cilindro y válvulas, y la potencia de salida es mayor.

El incremento de potencia respecto a la gasolina se debe a lo siguiente:

1. Alta eficiencia volumétrica debido a la acción refrigerante del alcohol.
2. El trabajo de compresión es menor a causa de que la vaporización del alcohol permite mantener más bajas la presión y

temperatura.

3. Mayor trabajo realizado en la carrera de expansión porque se tiene un número de moles de producto por cada mol de mezcla más elevado.(1).

El poder calorífico es bajo, por tanto, el consumo específico es elevado, ya que a mayor poder calorífico corresponde menor consumo de combustible en peso o en volumen, con tal que no funcione a régimen de detonación en ningún caso.

A menor poder calorífico corresponde menor cantidad de aire necesario para la combustión, por tanto, la potencia al freno para los combustibles no varía apreciablemente con el poder calorífico, y todas las demás condiciones similares. Téngase presente, no obstante, que los consumos están en relación con el poder calorífico y crecen por tanto al pasar de la gasolina al alcohol(2).

EL GAS LICUADO DE PETROLEO: Se obtiene en gran parte durante los procesos de cracking o hidrogenación, cuando se elabora -

(1). Consúltese la referencia 7 de la Bibliografía.

(2). Consúltese la referencia 5 de la Bibliografía

TABLA III

Familia	Fórmula	Nombre	Peso molar	Densidad		Tempe- ratura de ebullición (°C)	Tempe- ratura de ebullición a 1 mm (°C)	Presión de vapor a 1 mm (mm Hg)	Relación Número octano	Tempe- ratura de auto- ignición (°C)	Poderes caloríficos			Calor latente de ebullición kcal/kg	Relación aire-com- bustible	Fórmula
				API	Específica (1)						Superior kcal/kg	Inferior kcal/kg	Neto kcal/m ³ de mezcla			
Nafénos	C ₁₀ H ₁₈	Ciclopentano	70.1	59.0	.745	-94	55	.003	12.4	83	10.460	9.744	834	87	14.7:1	C ₁₀ H ₁₈
	C ₁₂ H ₂₂	Ciclohexano	84.1	51.6	.778	-7	81	.249	4.9	77	10.421	9.705	834	87	14.7:1	C ₁₂ H ₂₂
Aromáticos	C ₆ H ₆	Benceno	78.1	29.0	.88	6	81	.224	>15	110*	10.115	9.575	856	94	13.2:1	C ₆ H ₆
	C ₇ H ₈	Tolueno	92.1	31.0	.87	-95	110	.077	15	104*	10.193	9.725	875	87	13.4:1	C ₇ H ₈
	C ₈ H ₁₀	Xileno-m	106.2	31.0	.86	-26	141	.245	13.5	105*	10.305	9.746	862	81	13.6:1	C ₈ H ₁₀
	C ₉ H ₁₂	Propeno	42.1	103.0	.61	-185	-48	.....	10.6	85	11.697	10.834	853	.....	14.7:1	C ₉ H ₁₂
Olefinas	C ₄ H ₈	Butano-1	56.1	.....	.625	-195	-7	.....	7.1	80	11.641	10.778	857	.....	14.7:1	C ₄ H ₈
	C ₅ H ₁₀	Pentano-1	70.1	87.0	.642	-146	30	.....	5.5	.....	10.761	10.045	857	.....	14.7:1	C ₅ H ₁₀
	C ₆ H ₁₂	Hexano-1	84.1	76.0	.675	-138	64	.....	4.3	.....	10.611	9.894	839	93	14.7:1	C ₆ H ₁₂
	C ₇ H ₁₄	Heptano-1	98.1	.....	.697	-113	93	.....	.....	73	.....	.....	.....	.....	14.7:1	C ₇ H ₁₄
	C ₈ H ₁₆	Octano-1	112.2	.....	.719	-97	117	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	14.7:1	C ₈ H ₁₆
	C ₉ H ₁₈	Nonano-1	126.2	.....	.741	-79	141	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	14.7:1	C ₉ H ₁₈
Alcoholes	CH ₃ O	Metanol	32.0	46.4	.792	98	65	.....	.....	88	5.442	4.815	796	220	8.4:1	CH ₃ O
	C ₂ H ₅ O	Etilal	46.0	47.1	.785	117	78	.....	.....	99	7.118	6.463	829	221	9.0:1	C ₂ H ₅ O
	C ₃ H ₇ O	Propanol	60.0	.....	.799	.....	89	.....	.....	.....	8.077	7.403	831	164	10.5:1	C ₃ H ₇ O
	C ₄ H ₉ O	Butanol	74.1	47.1	.805	.....	118	.....	.....	100+	8.074	7.956	834	141	11.1:1	C ₄ H ₉ O

(1) La densidad de las sustancias a 20°C es referida a la del agua a 4°C (la densidad de agua se ha determinado en el punto de ebullición).

(2) La densidad a 15°C referida a la del agua a 4°C.

(3) Aproximación de la densidad de compresión usual o relación de compresión crítica (CCR). Calcularse según los datos de los puros, a 800 mm, temperatura del aire 38°C, reduce presión a 100°C. Chapa para máxima potencia (presión GM).

(4) Número del motor ASTM.

(5) Poderes caloríficos a volumen constante, desde 25°C.

(6) Presión del vapor a 38°C.

* Estimado.

la gasolina, pero puede así mismo obtenerse con gas de coque o de las emanaciones gaseosas de los pozos petrolíferos. El gas licuado comercial se compone en general de una mezcla al 50 % de propano y butano o bien; butileno - propileno 55 %, - butano - propano 20 %, etileno 15 % y el resto cantidades de metano y heptano. Las propiedades de cada uno de los componentes están dadas en las tablas II y III.

En este momento se hace necesario exponer el proceso de combustión en los motores ECH, para comprender las características de funcionamiento utilizando los dos combustibles en cuestión, además, se definen y aplican los procesos anormales de combustión y los efectos que pueden tener, así como también las teorías que explican estos fenómenos con el fin de aclarar los términos utilizados con diversidad de criterios por los diferentes autores de texto.

Observese la figura 2.2, antes de desglosar los factores que influyen sobre este fenómeno.

Supóngase que una mezcla homogénea de combustible y aire debe ser comprimida rápidamente y mantenida a alta presión y temperatura conseguidas por la compresión únicamente.

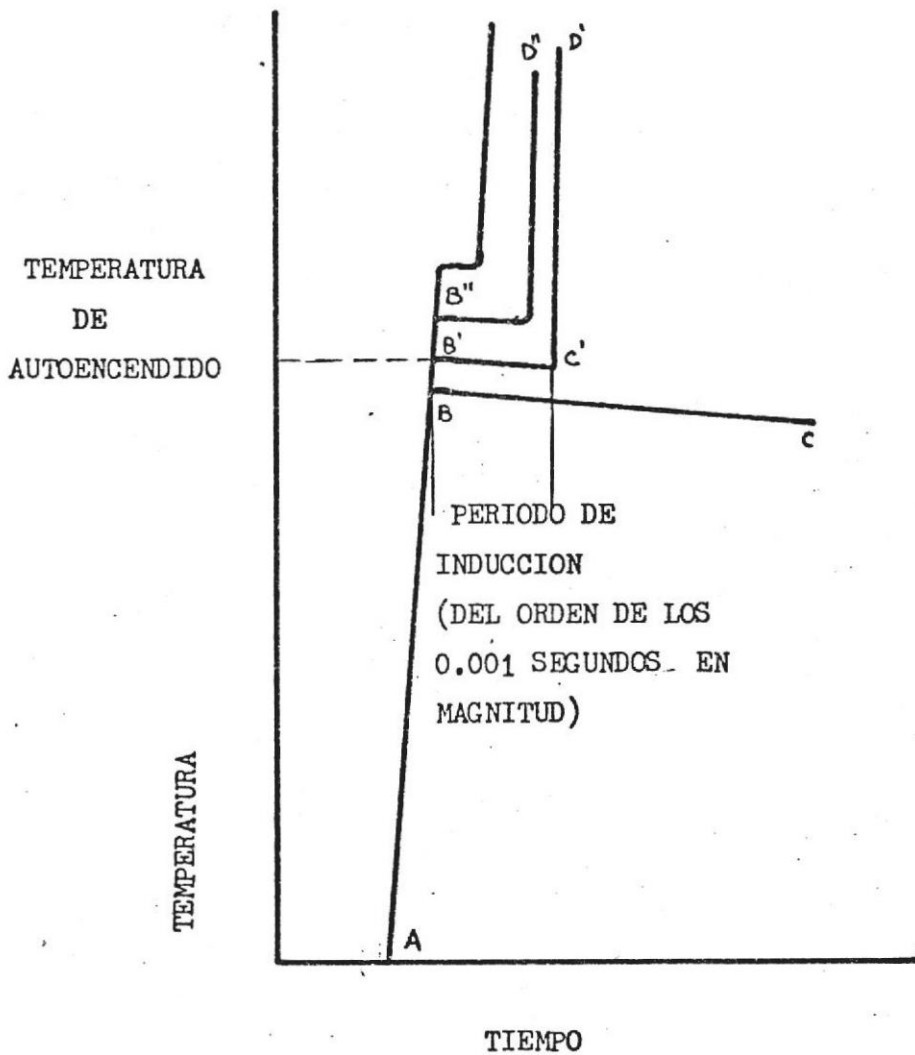


FIG. 2-2 CURVAS TEMPERATURA-TIEMPO
PARA LA MEZCLA DE HIDROCARBURO-
AIRE (TIZARD AND PYE IGNITION OF
GASES BY SUDDEN COMPRESSION
FILOSOPHICAL MAGAZINE, JULIO 1922)

Una reacción de oxidación existirá, pero puede darse el caso que no sea suficiente para el autoencendido y la mezcla de estas condiciones se enfríe simplemente como en la curva ABC de la citada figura. Sin embargo, si se continúan elevando las condiciones de temperatura y presión, llegará la reacción a una situación en que sea suficiente para autoencenderse, como la curva AB' C' D' , nótese además que existe un período de tiempo que ha transcurrido antes de que se produzca el autoencendido, este tiempo es conocido como periodo de inducción, este es un período de reacción química que prepara la mezcla para el autoencendido. Aunque no se conoce el mecanismo exacto, existen teorías para explicar esto: teoría de la reacción en cadena, teoría de la explosión térmica, o la formación de peróxidos explosivos. De cualquier forma los parámetros que controlan el autoencendido son:

1. Temperatura
2. Densidad
3. Tiempo: el período de inducción.
4. La composición:
 - a) Relación aire - combustible.
 - b) La presencia de gases inertes o cualquier agente extraño que afecte la reacción química.
5. La turbulencia.

Supóngase eliminar la variación debido a los parámetros 4 y 5, entonces se puede decir que la temperatura de autoencendido se dá para una cierta densidad y tiempo determinados, pudiendo variar los otros con cualquiera de ellos.

Teniendo esto en mente se puede decir que el número de colisiones o choques moleculares por unidad de tiempo dependen de la densidad de la mezcla o de los movimientos moleculares, es decir, de la temperatura.

COMBUSTION EN UN MOTOR E.CH.: La combustión en motores ECH, depende de que la llama formada en la bujía sea capaz de propagar la combustión avanzando rápida y ordenadamente, es decir, propagándose con un frente de llama esférico, hasta consumir toda la mezcla dentro del cilindro. Cuando esto sucede en un motor ECH en el momento requerido, se dice que la mezcla se combustionó en forma normal.

El mecanismo exacto de la combustión no es conocido, pero existe la evidencia de una reacción química acompañada de una liberación de energía, que produce aumento de temperatura y presión, siendo más reactiva aquella mezcla este quiométrica homógénea; pero debido a que esto no sucede por la diferencia de densidades que provoca una mezcla heterogénea, entonces resul

ta más reactiva una mezcla ligeramente más rica. La reacción puede avanzar ya sea: por causa de la transferencia de calor - de los gases quemados a la mezcla fría (no combustionada), o debido a que partículas altamente energizadas o activadas en el extremo de la llama se difunden a través de la mezcla restante.

Se puede decir entonces que una rápida propagación de la llama es teóricamente necesaria en una mezcla ligeramente rica, para llevar a cabo una combustión normal, a causa de que la velocidad del motor es alta y el tiempo para la combustión cada vez es más corto.

AUTOENCENDIDO Y REACCION QUIMICA: Una mezcla combustible oxígeno puede reaccionar espontáneamente, sin necesitarse una llama que inicie la combustión; este fenómeno se llama autoencendido. Cuando esto ocurre tiene lugar un abrupto aumento de presión y temperatura por la súbita liberación de energía química.

Sin embargo, en una combustión normal de un motor no ocurre autoencendido, porque la combustión es iniciada por la bujía, - sin dar lugar al autoencendido; conviene decir ahora que sí la velocidad de llama es alta, en la mezcla, el período de induc-

ción no será suficiente para que se produzca autoencendido. Se debe tener presente que la inducción es el tiempo en el que la mezcla se prepara para el autoencendido, por tanto es una reacción química, la combustión es en cambio una inflamación normal que se sobreentiende también es una reacción normal pero - de oxidación con presencia de llama. De este razonamiento se explica la influencia que tiene el tiempo de encendido en el autoencendido.

DETONACION: Este término tiene diversos significados según sea empleado por un ingeniero o por un físico - químico para el - cual es únicamente una propagación de la combustión, mediante la onda de choque de velocidad supersónica.

La mayoría de los autorizados no creen que ocurra una verdadera detonación en el proceso de combustión de un motor. Sin embargo por medio de fotografías de alta velocidad se han observado disturbios de alta presión viajando a velocidades por encima de la sónica (2134 - 2438 m/seg, aunque otros autores señalan sólo de 914 hasta 1981 m/seg.

Cuando en un motor se enciende la mezcla por medio de la bujía existe una liberación de energía en forma de calor y presión, esta presión comprime el resto de la mezcla que aún no se com

bustiona, elevando su presión y temperatura locales y si a la mezcla no combustionada, se la mantiene en estas condiciones el tiempo suficiente, entonces en diversos puntos ocurrirá un autoencendido, que se propagará formando otro u otros frentes de llama.

Si la combustión o propagación de la llama se realiza simultáneamente en varios puntos, una súbita elevación en la presión producirá disturbios capaces de hacer vibrar la estructura del motor.

Por otra parte el autoencendido puede ocurrir en diversos puntos con velocidad explosiva. En este caso, la dilatación de los elementos inflamados, si no vá acompañada de una rápida liberación de energía, aparecerá momentáneamente una elevación localizada de presión, luego superpuesta a la elevación total de presión, habrá diferencias localizadas de presión que viajarán a través del gas, chocando con las paredes del recinto y haciendo vibrar a las partes libres del motor.

Los disturbios en la combustión generalmente van acompañados por ruidos conocidos con el nombre de golpeteo, no pueden estos ruidos diferenciarse entre sí ya que están superpuestos, -

pudiendo incluso ocurrir en procesos normales de combustión, a causa de un mal acabado del motor.

OTRAS COMBUSTIONES ANORMALES

PRE-ENCENDIDO: Debido a la ineficiencia en el sistema de en friamiento, para disipar el calor, la temperatura del interior del cilindro se vá elevando progresivamente hasta que las par tes protuberantes interiores del cilindro, como partículas de carbón, electrodos de las bujías, se tornan incandescentes, -
llegando a encender la mezcla combustible produce una fuerza -
retardatriz en el pistón que aún se encuentra ascendiendo en -
la carrera de compresión, dando lugar a ruidos internos que -
dan origen también a un golpeteo.

POST-IGNICION: Cuando un motor sigue funcionando después de -
cortar el paso de energía eléctrica hacía la bujía, se dice
que tiene el defecto de post-ignición.

Este problema se presenta cuando partículas metálicas o carbonosas han sido calentadas lo suficiente para producir energía que inicie la combustión; este problema subsiste hasta el en friamiento de la camisa.

VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA DETONACION: Al hablar de los combustibles se hizo referencia a una característica llamada razón crítica de compresión que está estrechamente relacionada - con el número octano; la razón crítica de compresión, es la máxima compresión a que puede ser sometida una mezcla aire-combustible en un motor sin que llegue a detonar o autoencenderse.

Entonces puede decirse que la primera característica que influye en la detonación es el número octano del combustible.

En general cualquier medida que tiende a bajar la temperatura de la carga o mezcla aún no combustionada reducirá la tendencia a detonar, porque disminuye la posibilidad de alcanzar la temperatura crítica de autoencendido para esa presión y densidad de la mezcla. Lo mismo puede decirse de la presión y densidad de la mezcla.

Las siguientes prevenciones pueden reducir la tendencia a la detonación:

1. Reduciendo la relación de compresión, ya que descende la presión y la temperatura.
2. Disminuyendo la temperatura de entrada de la mezcla.

- 
3. Manteniendo las paredes de la cámara a la temperatura más -
baja posible.
 4. Retrazando el encendido para que el pico de presión sea al
canzado más tarde en la carrera de expansión.
 5. Empleando mezclas bien ricas o bien pobres para disminuir -
la temperatura de la llama.
 6. Reduciendo la cantidad de carga introducida, o rebajando el
grado de sobrealimentación, si el motor es sobrealimentado.

Por otra parte se reduce el peligro de detonación, si se aumen
ta la velocidad de combustión, por que de esta manera se tiende
a completar la misma en un período inferior al tiempo de induc
ción.

Conociéndose como período de inducción el tiempo transcurrido
desde el final de la carrera de compresión hasta que la mezcla
se autoenciende, a esas condiciones de presión y temperatura.

Por lo tanto será útil:

1. Aumentar la turbulencia.

- 
2. Aumentar la velocidad de rotación del motor, pues así resulta más intensa la turbulencia.
 3. Reducir la longitud del recorrido que tiene que realizar la llama en la cámara de combustión.
 4. Emplear una mezcla ligeramente más rica, ya que así aumenta la velocidad de la llama.

Entre todos los factores que limitan la potencia y el rendimiento de los motores ECH, la detonación es el más importante; ya que pone el límite a la máxima relación de compresión de un determinado combustible.

EFFECTO DEL NUMERO OCTANO SOBRE LA RAZON DE COMPRESION: Es bien conocido ahora que si se incrementa el octanaje de un combustible se puede incrementar la razón de compresión de un motor, con el correspondiente incremento en la potencia de salida y la disminución del consumo específico de combustible.

La figura 2.4, muestra la variación de la razón crítica de compresión con el número octano de los combustibles.

Si se mide la potencia de salida, en un motor de investigación, en el cual puede variarse la razón de compresión y se utiliza combustibles apropiados con números octanos se puede relacionar estos parámetros y mostrar la variación de la potencia de salida con el número octano, como se puede apreciar en la figura - 2.3, obsérvese también en esta figura que si aumenta el octanaje de 60 a 80 octanos la potencia se incrementa en un 20 % y - si se varía el octanaje de 80 a 100 octanos la potencia de salida se incrementa en el 40 %.

Finalmente en la figura 2.5, se representó el experimento realizado en un motor de automóvil, con un dispositivo que permite variar la relación de compresión desde un valor de 5 a 1 hasta 14 a 1. La presión media efectiva y el consumo específico de combustible se tomaron con el valor de la unidad para una razón de compresión de 5:1.

Sin embargo, se deja en claro que puede haber variación en otro motor que posea características diferentes tales como: forma de la cámara de combustión, posición de las válvulas, posición de la bujía, etc.

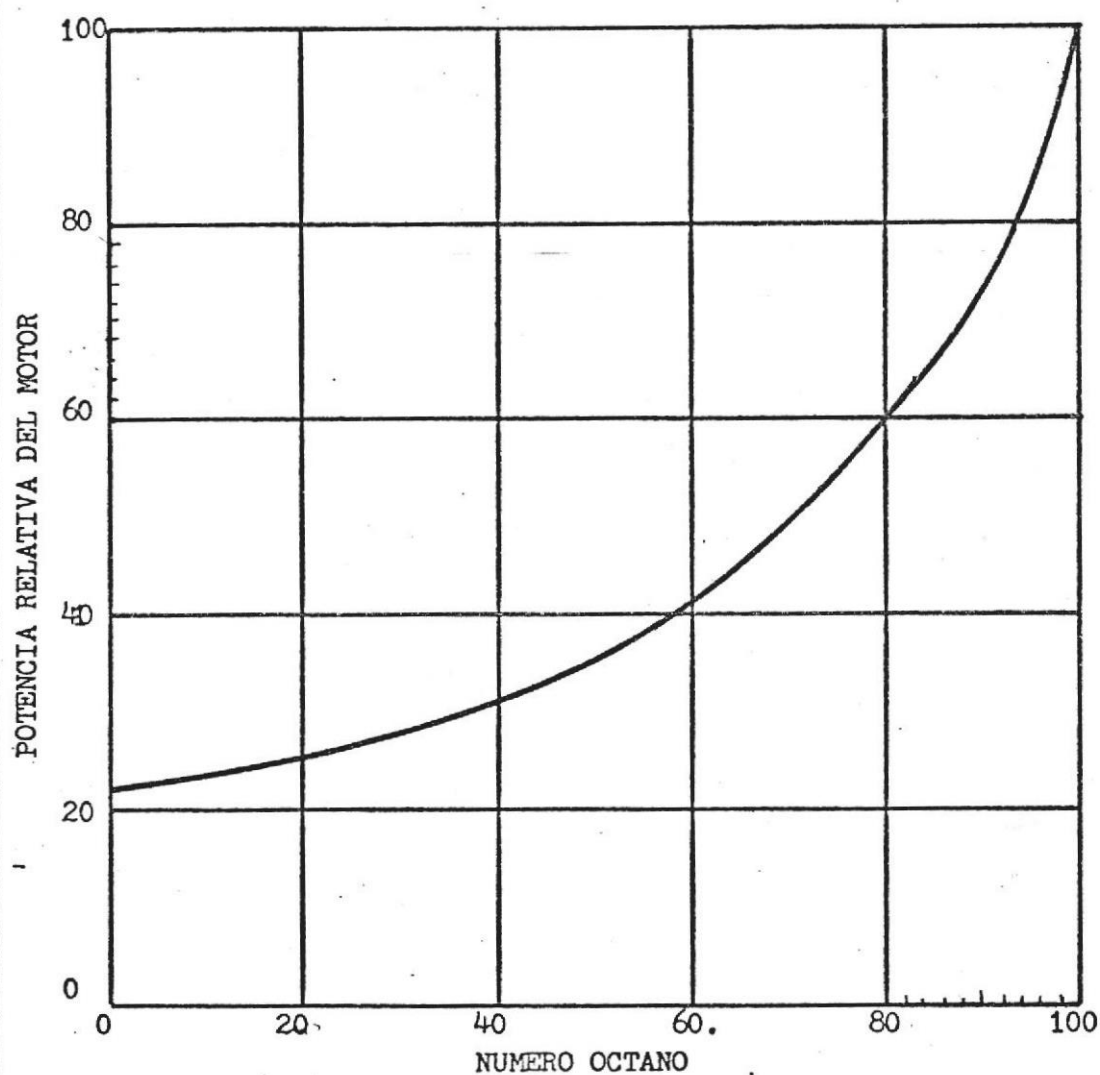


Fig 2-3 MUESTRA LA RELACION ENTRE EL NUMERO OCTANO DE
LOS COMBUSTIBLES Y LA POTENCIA RELATIVA DE
SALIDA DEL MOTOR.

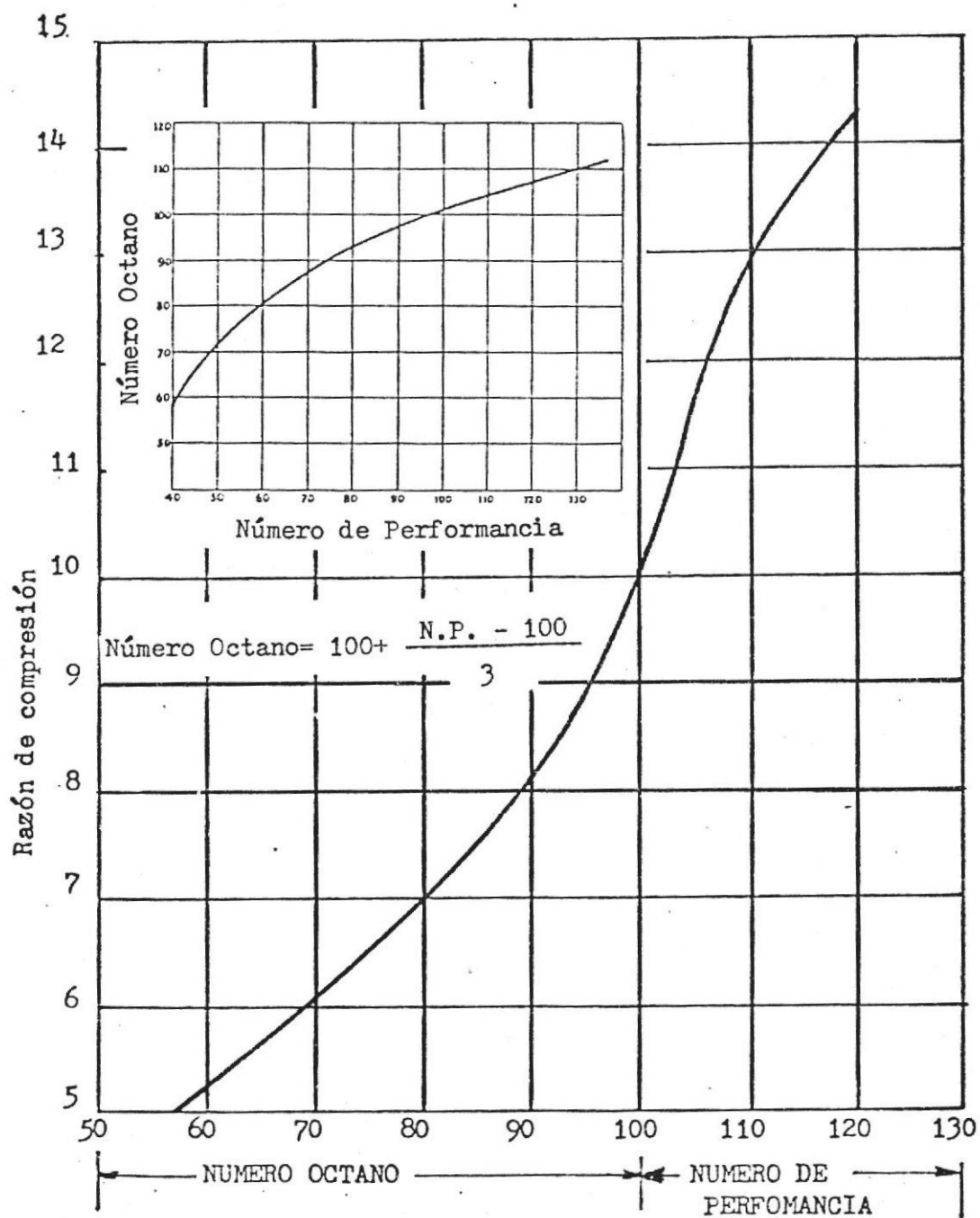


Fig 2-4 Relaciones entre número octano, número de performance y la razón de compresión

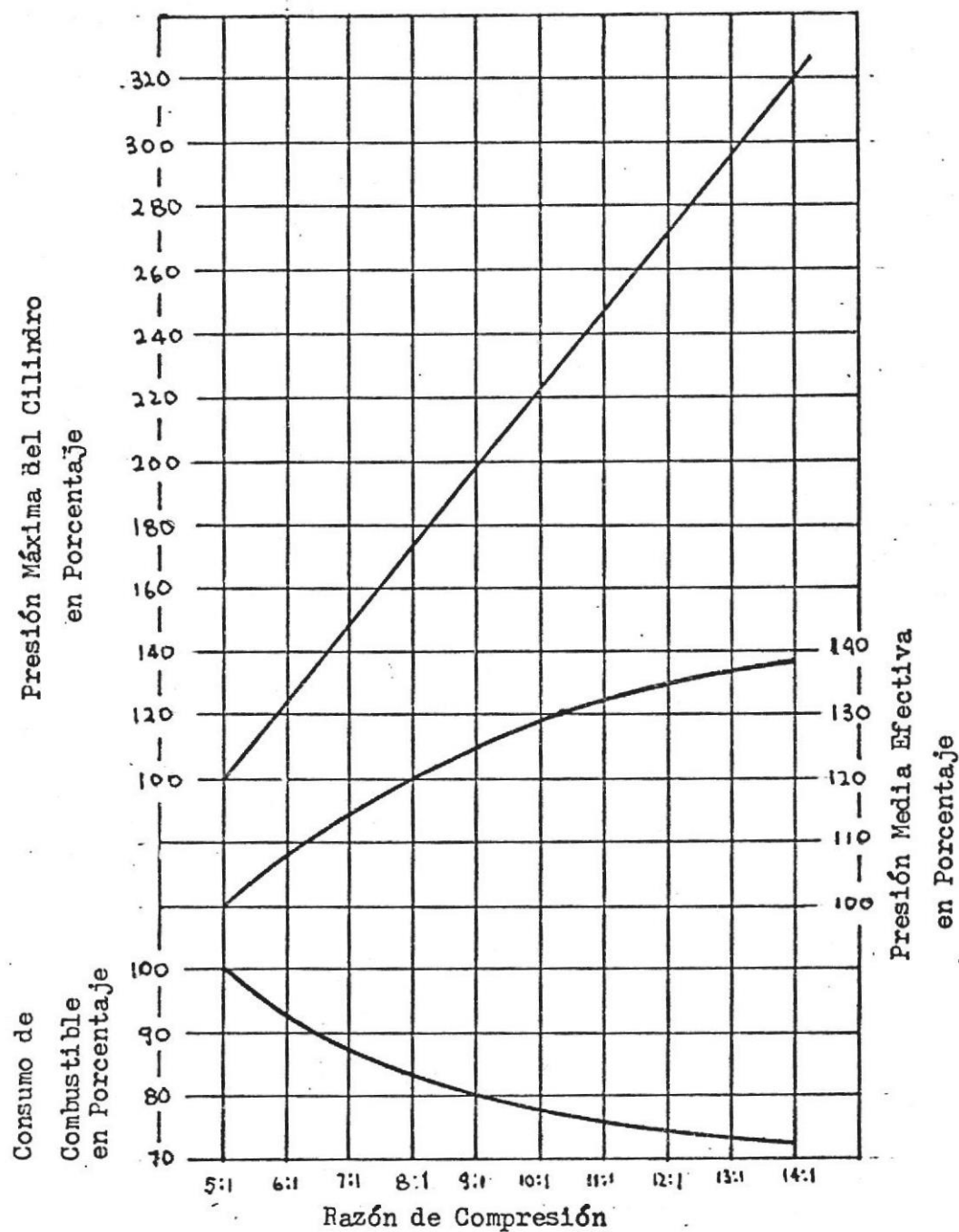


Fig 2-5 Curvas de Funcionamiento Para un Motor de Gasolina Moderno

2.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS (TEORICAS) DEL TRABAJO DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA CON GAS LICUADO DE PETROLEO

En este artículo se resumirán las posibles ventajas y desventajas que se puedan obtener del funcionamiento de un motor ECH - con GLP, al final del artículo se anotan las correspondientes referencias para que se pueda investigar.

El propano y el butano son obtenidos como producto de la destilación del petróleo para obtener gasolina natural y su costo es usualmente \$ 0.03 a \$ 0.04 menor que la gasolina. Puesto que estos combustibles a presión atmosférica son normalmente gases, deben ser licuados a presión y por tanto la botella de gas es llenada como un tanque suplementario del cual sale el gas lícuado por una manguera que va al intercambiador de calor en el que recibe calor del sistema de refrigeración del motor, ya que el gas lícuado absorbe calor al vaporizarse. El gas seco resultante es luego introducido al carburador, el cual es usualmente una simple válvula mezcladora con una entrada al venturí del carburador de gasolina.

El acelerador controla la cantidad de mezcla que entra al motor. El volumen del gas desplaza al aire que entra al motor, por tanto la eficiencia volumétrica del motor se reducirá del

3 al 5 % comparada con la gasolina. Este decremento es parcialmente compensado quitando el punto caliente que sirve para vapORIZAR la gasolina en los sistemas convencionales. El combustible vaporizado (seco) previene la dilución del aceite lubri-cante y reduce la formación de carbón en el motor.

Altas razones de compresión pueden ser usadas con GLP (10:1) - puesto que tiene un alto índice octano. Motores de gasolina - son usualmente modificados para trabajar optimamente con gas - licuado y podría rediseñarse un motor especialmente para este propósito, con el fin de obtener mayores ventajas.

Adams, investigó varios motores con gasolina y con propano y concluyó lo siguiente:

1. La fracción relativa aire - combustible en peso definida como:

$$F_r = \frac{A/C) \text{ actual}}{A/C) \text{ estequiométrica}}$$

Es menor para el propano que para la gasolina para máximo - torque (Fr 1.12 para el propano y Fr 1.18 para la gasolina), si se enriquecen las mezclas carburantes, el torque cae -

cuando se usa propano pero no cuando se usa gasolina debido a que el gas ocupa mayor volumen dentro del cilindro que la gasolina.

- ✓ 2. A una razón de compresión dada con carburadores comerciales y reguladores el motor disminuye su potencia del 3.5 al 5 % cuando se usa propano; un mejor diseño podría cambiar el cuadro.
- ✓ 3. Con propano se reduce el consumo específico en base masa de un 12 % a bajas velocidades (con razones de combustible o mezclas para máximo torque). El consumo de combustible (específico) en base volumen es mayor para el propano debido a su densidad.
- ✓ 4. La temperatura de entrada puede ser mantenida más baja aumentando el valor antidetonante.
5. El propano requiere un avance de encendido diferente que para la gasolina, debido a su sensibilidad a altas revoluciones (un combustible es sensitivo si tiene un amplio rango de octanaje para diferentes condiciones de funcionamiento).
6. El valor antidetonante (número octano) del propano y del bu

tano pueden ser elevado con un aditivo antidetonante como el tetrametilo de plomo.

✓ El propano se quema limpiamente, con mínimos depósitos de carbón. Sonidos producidos por detonaciones están casi ausentes con el uso de propano.

*✓ D El uso del gas licuado de petróleo necesariamente trae una disminución del espacio útil en el portaequipajes del coche, también un aumento en el peso, como consecuencia de la botella de gas, que es de construcción sólida.

D ✓ El aprovisionamiento del gas sería muy difícil en las circunstancias actuales, necesariamente tendrían que instalarse centros para el aprovisionamiento, si se decidiese generalizar el uso de este combustible a los vehículos.

X ✓ Se encuentra que el funcionamiento del coche en general es más suave y estable, soporta más una marcha sin tener que cambiar, no detona al pisar el acelerador a fondo y la velocidad aumenta paulatinamente dando una excelente aceleración, difícilmente se produce un autoencendido.

La vida del motor resulta prolongada y el mantenimiento más ba

X
rato, bujías y válvulas no se ensucian mayormente, depósitos -
de carbón son mínimos y la contaminación ambiental disminuye.

D El costo de la instalación inicial más el equipo necesario po-
dría resultar costosa.

2.5. OPERACION DEL CARBURADOR EN MOTORES DE ENCENDIDO POR CHISPA

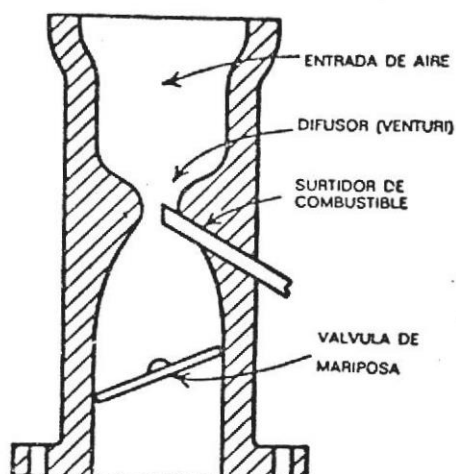
CARBURACION: Es la mezcla de gasolina con el aire de tal forma de obtener una mezcla gasolina-aire gaseosa. El carburador es el encargado de esta función generando mezclas combustibles de diversas proporciones según los requerimientos de la marcha.

PRINCIPIOS DE CARBURACION: Un carburador elemental puede estar constituido por un tubo cilíndrico con una restricción al veturí, un disco circular plano o válvula de mariposa, y un surtidor de combustible. Véase la figura 2-6 a.

EFFECTO VENTURI: Cuando el aire atravieza la garganta produce un vacío parcial o una depresión que aspira el combustible del surtidor dispersándolo en la corriente de aire. A continuación se presenta un dibujo en el que hay tres recipientes con mercurio, nótese los niveles alcanzados en las tres secciones.

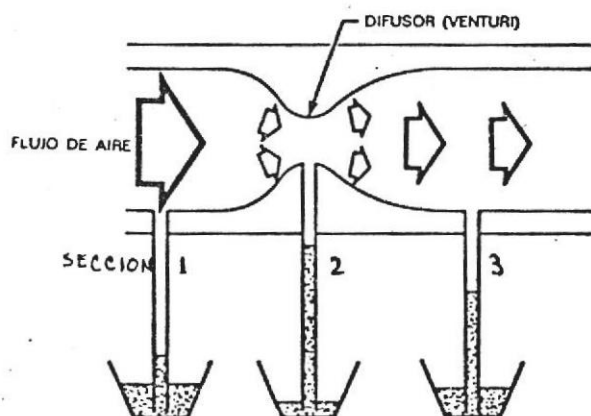
Ver figura 2.6.b.

Esto puede justificarse de la siguiente forma por medio de la ecuación de Bernoulli.



Carburador elemental. Consta de un tubo o canal de paso de aire, un surtidor y una válvula de mariposa.

FIG. 2-6 a



Por medio de los tubos que los conectan con el conducto de aire, los tres recipientes de mercurio muestran las diferencias de la depresión en los diferentes puntos, por el desnivel que el mercurio alcanza en ellos. En la constricción del venturi se encuentra la depresión máxima.

FIG. 2-6 b

$$\frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 = \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + h_p$$

p_1 = presión en la sección 1.

ρ_1 = densidad en la sección 1.

v_1 = velocidad en la sección 1.

g = constante de la gravedad

h_p = pérdidas por el rozamiento desde la sección 1 hasta la sección 2.

z_1 = altura desde el nivel de referencia hasta el punto 1.

$z_1 = z_2$

$p_1 = p_2$

Flujo de aire:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

A_1, A_2 áreas en las secciones 1 y 2 sea:

$$A_2 = A_1 - \Delta A$$

$$A_1 v_1 = (A_1 - \Delta A) v_2$$

$$v_1 = v_2 - \frac{\Delta A}{A_1} v_2$$

$$V_1 = V_2 - \Delta V \quad V_2 = V_1 + \Delta V$$

Reemplazando en la ecuación general:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + \frac{(V_1 + \Delta V)^2}{2} + h_p$$

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + V_1 \Delta V + \frac{AV^2}{2} + h_p$$

$$\frac{p_2}{\rho} = \frac{p_1}{\rho} - (V_1 \Delta V + \frac{AV^2}{2}) - h_p$$

Con lo cual se concluye que la presión en la sección 2 es menor que en 1 aún despreciando la caída de presión debido al rozamiento.

Compárese ahora la sección 1 y la sección 3 ✓

$$\frac{p_1}{\rho} + V_1^2 = \frac{p_3}{\rho} + \frac{V_3^2}{2} + h_p$$

$$A_1 = A_3$$

$$V_1 = V_3$$

$$\frac{p_3}{\rho} = \frac{p_1}{\rho} - h'p$$

Con lo que se puede concluir que la caída de presión desde la sección 1 hasta la sección 3 es debido a las pérdidas por rozamiento únicamente.

FUNCION DEL SURTIDOR Y VALVULA DE MARIPOSA

Como ya demostró, la sección 2 es la sección donde existe mayor depresión y es justamente donde está el surtidor principal que por el otro lado comunica con la cuba, la que a su vez tiene un orificio de aireacción que pone en contacto con la presión atmosférica, esta diferencia de presión entre la sección 2 y la presión atmosférica es la que hace entrar el combustible. Por otro lado la válvula de mariposa puede abrirse más o menos aumentando de esta forma la cantidad de mezcla combustible que entra al motor, según se requiere más o menos potencia. Ver la figura 2.7.

DOSIFICACION NECESARIA DE LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE

La dosificación se refiere a la proporción entre las libras de aire y las de combustible que entra al motor.

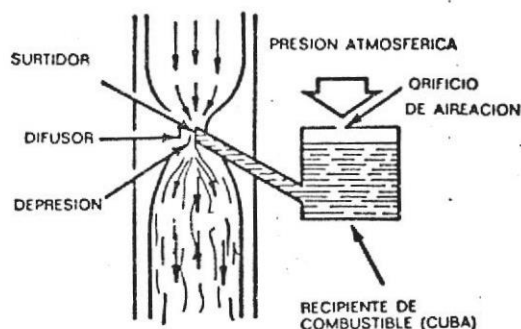
En el arranque y cuando el motor está frío debe enriquecerse -

la mezcla, debe ser alrededor de 9 libras de aire por cada libra de combustible (9:1) esto es porque parte del combustible se condensa en las paredes del múltiples de admisión a velocidades de ralenti es decir en vacío la mezcla se empobrece hasta la relación 12:1. Para velocidades de crucero se empobrece hasta 15:1 y con todo el acelerador abierto es decir cuando se requiere toda la potencia del motor se enriquece unicamente hasta 13:1. Cuando se abre súbitamente la válvula de mariposa entra una cantidad mayor de aire que empobrece la mezcla faltando potencia en el momento en que más se necesita, esto se evita mediante una pequeña bomba de aceleración que enriquece la mezcla momentáneamente. Ver figura 2.8.

CIRCUITOS DEL CARBURADOR

Con el fin de dejar completamente claro los dispositivos necesarios en un carburador y poder hacer cualquier comparación se describirán:

1. Circuito de la cuba con el flotador.
2. Circuito de ralenti y baja velocidad.
3. Circuito de alta velocidad y carga parcial.
4. Circuito de alta velocidad y plena potencia.



El venturi o difusor provoca un vacío o depresión que se desarrolla debajo de la constricción. Entonces, la presión atmosférica impulsa al combustible a salir por el surtidor.

FIG. 2-7

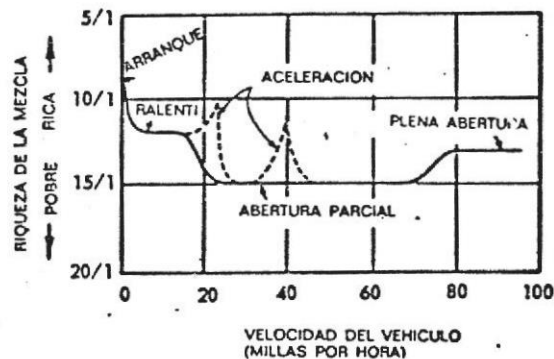


Diagrama de la riqueza de la mezcla para diferentes velocidades del vehículo (en millas por hora). Este diagrama es genérico y los valores concretos varían en diferentes vehículos.

FIG. 2-8

5. Circuito de la bomba de aceleración.

6. Estrangulador.

1. CIRCUITO DE LA CUBA CON EL FLOTADOR: Consta de cuba o depósito principal del carburador, de una válvula de aguja - accionada por el flotador.

Este circuito es el que permite mantener constante el nivel de combustible dentro de la cuba, ya que de otra forma la mezcla se enriquecería si el nivel se incrementara o se empobrecería en el caso contrario.

Cuando el nivel del combustible ha llegado a su límite superior se cierra la admisión debido a que el flotador empuja hacía arriba la válvula que impide la entrada. Una vez que el nivel baja, debido al consumo, el flotador y la válvula desciende permitiendo la entrada de gasolina. Pero para que quede claro la válvula toma una posición constante - de tal forma que entra igual cantidad de gasolina que la - que se consume, sin que el nivel cambie. Ver la figura 2.9.

Orificios de Ventilación de la Cuba

Como se explica anteriormente la entrada de combustible es de

bido a la diferencia de presión existente entre la garganta del venturí, y la presión en la cuba. Esta diferencia de presión es causada por 2 razones: aumento de velocidad debido a la disminución del área, y el rozamiento que puede ser incrementado debido a la suciedad existente en el filtro de aire enriqueciendo de ésta forma la mezcla a medida que el filtro se ensucia. Para evitar esto en algunos carburadores existe una comunicación de la cuba con la entrada de aire - por encima del estrangulador anulando de esta forma el efecto del filtro obstruido, estos carburadores se llaman equilibradores. La razón es porque equilibra la presión de la cuba con la del conducto de entrada de aire.

Existe otros carburadores que tienen una válvula mecánica a la cuba, ya sea con la atmósfera o con el conducto de entrada. Cuando el motor funciona en ralentí o bajas revoluciones, la temperatura del compartimiento del motor se eleva excesivamente produciéndose una vaporización de la gasolina que irían a enriquecer más la mezcla por el conducto de la cuba al conducto de entrada, para evitar esto, el paso directo a la atmósfera donde van los gases de la gasolina.

Otro método para controlar las mezclas excesivamente ricas a temperaturas elevadas, es utilizar una válvula atmosférica.

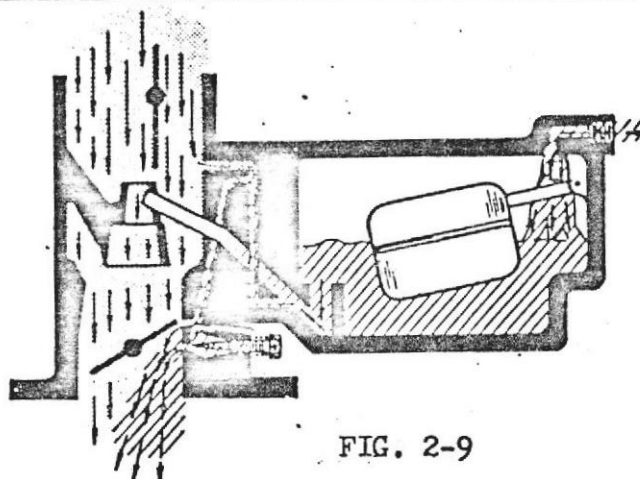


FIG. 2-9

Funcionamiento a baja velocidad. La válvula de manoposa está ligeramente abierta y el combustible se suministra a través de la lumbrera de baja velocidad así como a través de la de ralentí. El sombreado oscuro corresponde al combustible y el claro al aire.

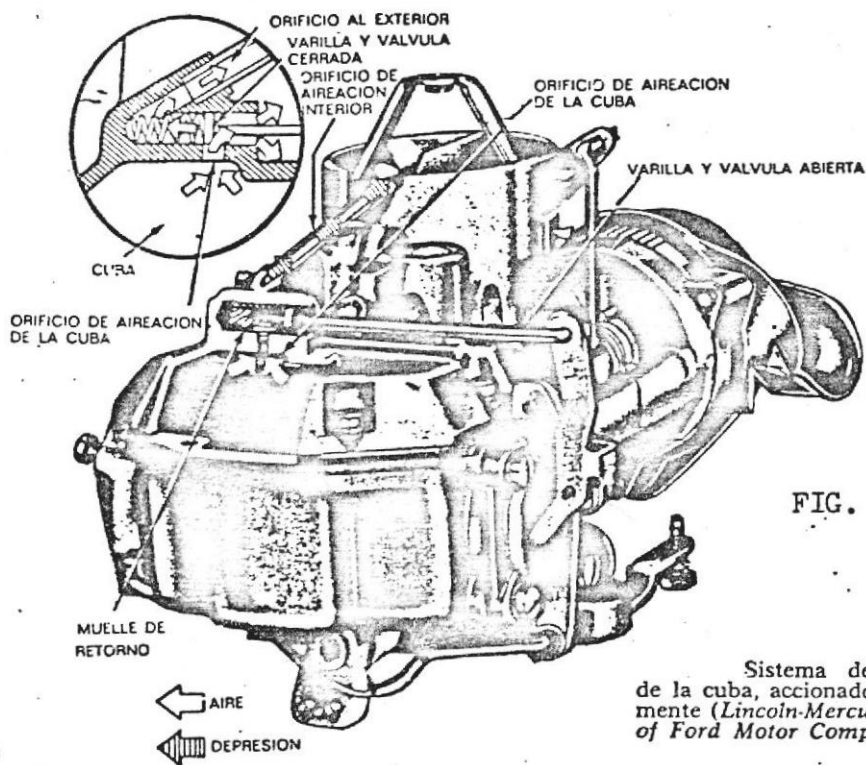


FIG. 2-10

Sistema de aireación de la cuba, accionado mecánicamente (Lincoln-Mercury Division of Ford Motor Company).

ca que permite la admisión de una cantidad adicional de aire cuando la temperatura en el comportamiento del motor es alta la lámina termostática se curva y se eleva la válvula de su asiento. De este modo puede circular aire a través de un paso especial, hacia el colector de admisión, y se compensa la excesiva riqueza producida por el circuito de ralentí, esta válvula es llamada "Compensador de Ralentí". Véase las figuras 2.10 y 2.11.

2. CIRCUITOS DE RALENTI Y BAJA VELOCIDAD: Cuando la mariposa de gases está total o parcialmente cerrada el flujo de - aire es insuficiente para producir aspiración en el surti-
dor principal, por esta razón es necesaria dotar de un circuito llamado de "Ralentí y de baja velocidad". Que satis-
faga estas condiciones. Obsérvese en la figura 2.12. Al
estar cerrada la válvula de mariposa, se crea una fuerte depresión debajo de esta, es decir en el colector de admisión.

La diferencia de presiones obliga al combustible a salir de la cuba por el canal que se mezclará con el aire el cual es aspirado por el otro canal y van a desembocar en la parte - inferior de la mariposa, en donde hay un tornillo con la -
punta cónica que sirve para regular la cantidad de emulsión para el ralentí, que se mezclará con el poco de aire que

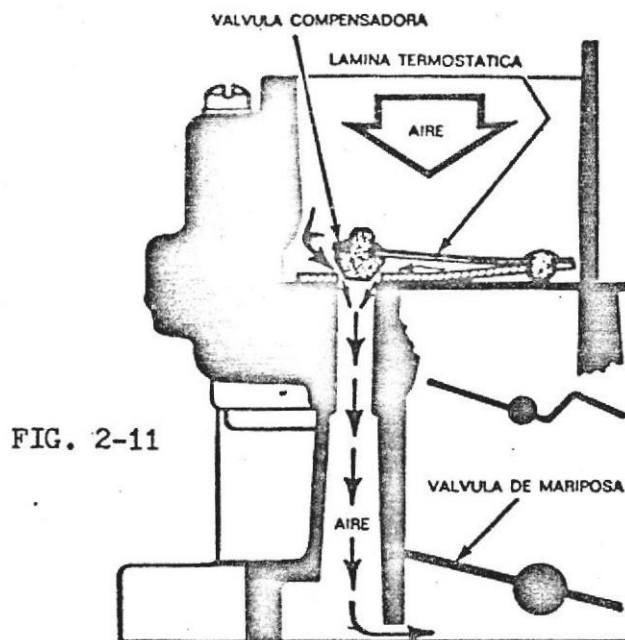


FIG. 2-11

Sistema de aireación de la cuba, accionado termostáticamente por una válvula de aire (Pontiac Motor Division of General Motors Corporation).

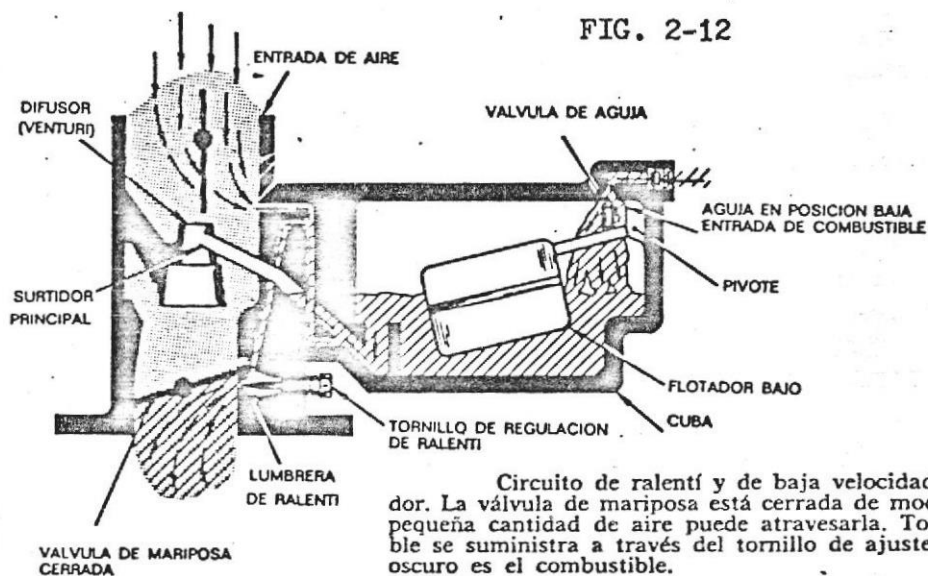


FIG. 2-12

Circuito de ralentí y de baja velocidad en el carburador. La válvula de mariposa está cerrada de modo que sólo una pequeña cantidad de aire puede atravesarla. Todo el combustible se suministra a través del tornillo de ajuste. El sombreado oscuro es el combustible.

entra por el espacio que queda en la mariposa.

Cuando la mariposa se abre parcialmente, como se muestra en la figura 2.13, se descubre la lumbrera de baja velocidad - en la pared del conducto de aire del carburador. Esta lumbrera es, bien una ranura vertical o una serie de agujeros superpuestos. Por esta lumbrera se permite la adición de una cantidad adicional de combustible que se mezclará con el aire que pasa a través de la válvula.

3. CIRCUITO DE ALTA VELOCIDAD Y CARGA PARCIAL: Cuando la mariposa está lo suficientemente abierta, más alta la lumbrera de baja velocidad, la depresión en el colector de admisión baja y es insuficiente como para aspirar mezcla combustible por los circuitos de baja y de ralentí, ya la cantidad de aire que pasa a través del venturí es suficiente para producir aspiración por el surtidor principal como se muestra en la figura 2.14.

Mientras mayor es la abertura de la mariposa, mayor es la cantidad de aire, y mayor la aspiración de gasolina por tanto, la mezcla se mantiene casi constante.

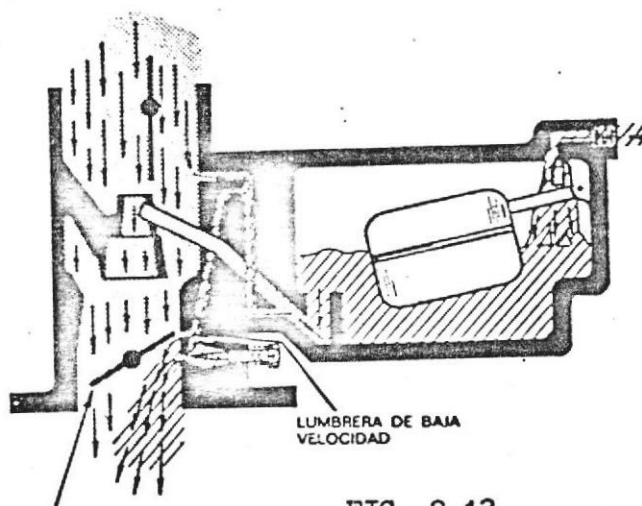


FIG. 2-13

VALVULA DE MARIPOSA
LIGERAMENTE ABIERTA

Funcionamiento a baja velocidad. La válvula de mariposa está ligeramente abierta y el combustible se suministra a través de la lumbrera de baja velocidad así como a través de la de ralentí. El sombreado oscuro corresponde al combustible y el claro al aire.

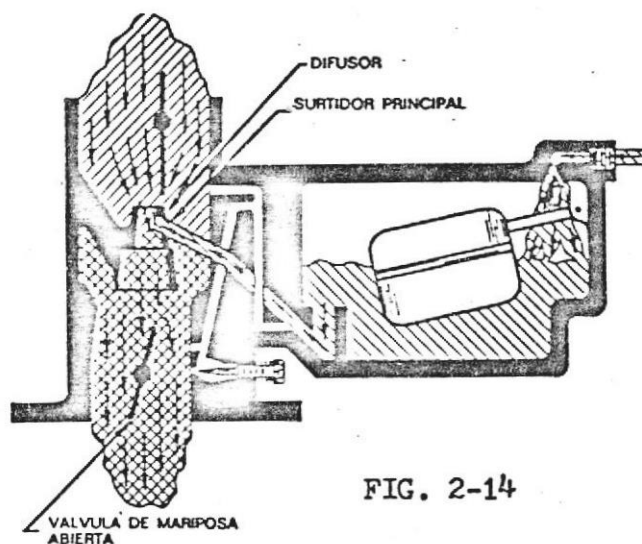


FIG. 2-14

VALVULA DE MARIPOSA
ABIERTA

Circuito de alta velocidad. La válvula de mariposa está abierta y el combustible se suministra a través del surtidor principal. El sombreado oscuro es el combustible y el claro, aire.

4. CIRCUITO DE PLENA POTENCIA: Funcionando a alta velocidad y a plena potencia es necesario enriquecer la mezcla como ya se indicó, para lo cual los carburadores disponen de dispositivos adecuados, que pueden ser mecánico o gobernados por la depresión del colector de admisión.

Por razones que se expondrán al final del capítulo, sólo se describirá el dispositivo mecánico.

Circuito de Plena Potencia de Mando Mecánico

Está constituido por un economizador, que consta de un calibre (orificio calibrado de precisión) y de una varilla o aguja del economizador térmico de punta cónica (diámetro gradualmente variable). Ver figura 2.15.

La varilla está unida al varillaje de mando de la mariposa, que constituye el acelerador. Cuando la mariposa está parcialmente abierta, es decir cuando el acelerador no es pisado a fondo y no es requerida toda la potencia del motor, la varilla está obstruyendo el paso de la gasolina con un diámetro mayor, dando una mezcla pobre pero suficiente para su funcionamiento. Cuando el acelerador es pisado a fondo - significa que se requiere la máxima potencia del motor, y la válvula mariposa está totalmente abierta, la varilla del

economizador se eleva, de tal forma que solamente el menor - diámetro de la varilla obstruye el paso de la gasolina, siendo por tanto mayor el caudal de combustible.

Ver la figura 2.16.

5. CIRCUITO DE BOMBA DE ACELERACION: Para acelerar el carburador debe suministrar una cantidad adicional de combustible. La mariposa provoca una mayor entrada de aire que debe ser enriquecida por una cantidad adicional de gasolina esto se logra con una bomba de aceleración. Figura 2.17.

Consta de un pistón, que es empujado hacia abajo por una palanca o balancín unido a una válvula de mariposa; cuando esta es abierta el pistón es forzado a realizar su carrera descendente, con lo cual obliga al combustible a salir por el surtidor previsto como en la figura 2.18.

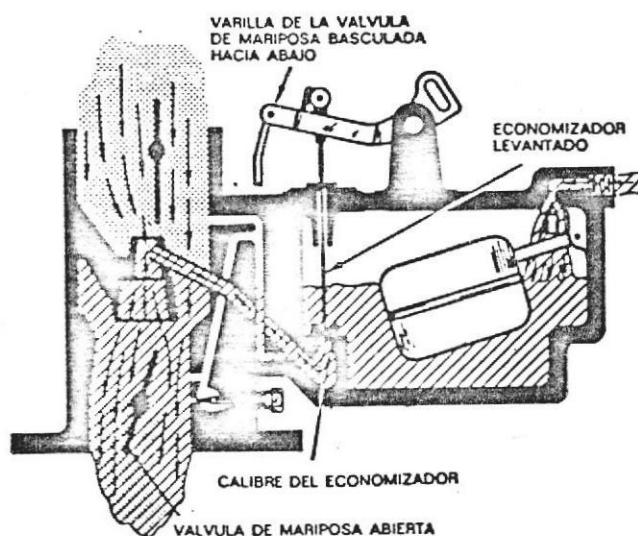
El pistón permite una descarga que dura varios segundos ya que el pistón es empujado por el resorte, que mantiene la presión a través de toda la carrera descendente del pistón.

6. ESTRANGULADOR: Cuando el motor está frío, y se desea arran



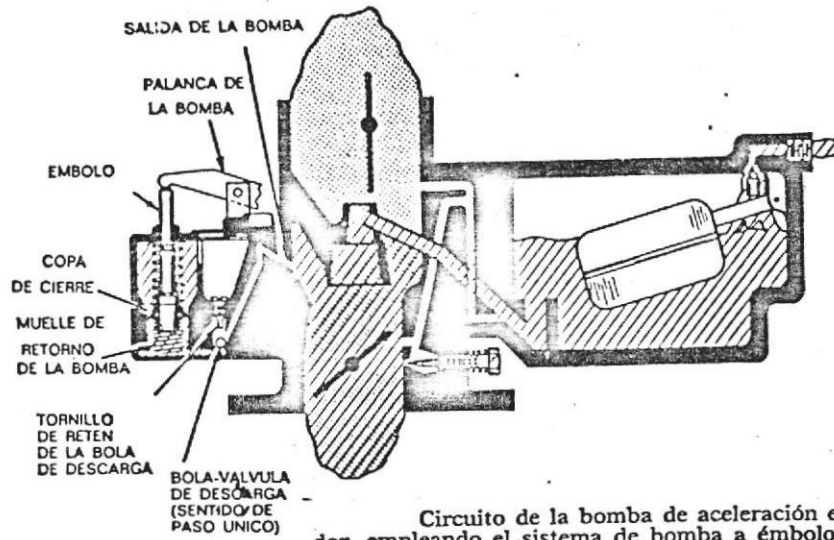
Varilla economizadora y calibre del economizador, para obtener mejor funcionamiento a plenos gases.

FIG. 2-15



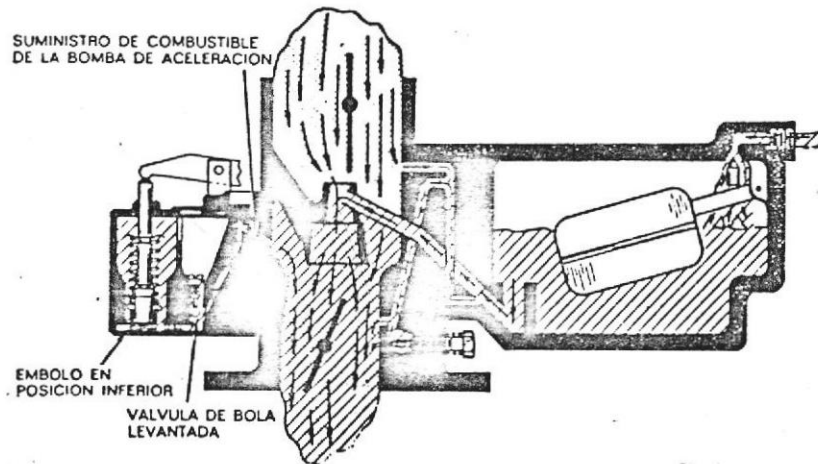
Circuito de plena potencia accionado mecánicamente. Cuando la mariposa está abierta, como en la figura, el economizador es levantado de modo que queda el máximo paso a través del calibre.

FIG. 2-16



Circuito de la bomba de aceleración en un carburador, empleando el sistema de bomba a émbolo.

FIG. 2-17



Cuando la mariposa está abierta, la palanca de la bomba empuja al émbolo hacia abajo, forzando al combustible a salir a través de dicho circuito.

FIG. 2-18

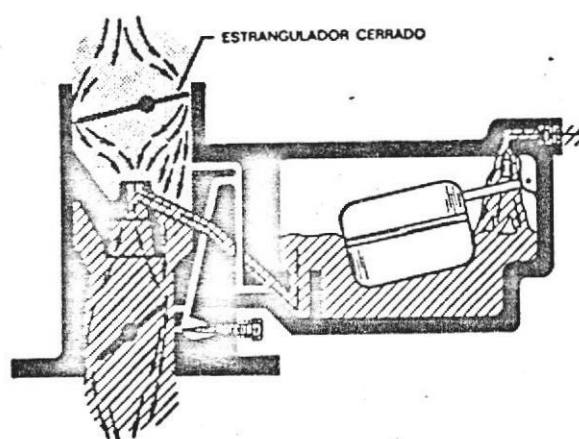
car el motor, se ha visto que el motor necesita una mezcla muy rica ya que parte del combustible se quedará condensado en las paredes del colector de admisión. Además el flujo de aire es pequeño debido a la baja velocidad del motor en el arranque.

En las condiciones ya descritas se hace necesario aumentar la depresión en el carburador que se logra con una mariposa situada en el conducto de aire. Figura 2.19.

Esta puede ser accionada mecánicamente desde el tablero o automáticamente por medio de una espiral termostática.

Una vez que el motor ha arrancado y la velocidad del motor ha aumentado, es necesario una mezcla más pobre que se logra montando dicha mariposa en un eje de rotación descentrado y con un resorte en espiral, de recuperación, que actúa en el mando de esta forma el flujo mayor de aire vencerá el resorte y la mariposa sólo cierra parcialmente la entrada.

Ya que el motor ha calentado se hace necesario abrir totalmente la válvula mariposa, de otra forma tendríamos mezclas muy ricas con todos los inconvenientes que esto representa:



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

FIG. 2-19

depósitos carbónicos, consumo de combustible elevado, etc.

Hasta aquí se completa el funcionamiento del carburador, sin embargo existen carburadores más sofisticados que no son descritos porque tendríamos que describir cada uno, y esto es necesario, solamente para aquellas personas dedicadas a este trabajo exclusivamente.

III. MODO EXPERIMENTAL

3.1. DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO

El equipo en general consta de un motor de cuatro tiempos, un dinamómetro hidráulico y todos los accesorios necesarios para tomar las mediciones experimentales.

MOTOR: El motor es de cuatro cilindros, cuatro tiempos, marca FORD, su desplazamiento volumétrico es de 1298 centímetros cúbicos (1300), el motor está equipado con el alternador, batería y todo el circuito necesario para satisfacer las necesidades de arranque y encendido de bujías.

El equipo no dispone de un radiador ni de ventilador, tiene en cambio un depósito abierto a la atmósfera cuya función consiste en aliviar la presión y temperatura del agua de enfriamiento que circula por las camisas del motor y un intercambiador de calor que sirve para enfriar el agua de enfriamiento; en igual forma dispone de otro intercambiador de calor para enfriar el aceite de lubricación. Para satisfacer las necesidades del agua de enfriamiento y del dinamómetro, existe una bom

ba de agua, que lleva el agua caliente a una torre de enfriamiento desde donde es recirculada al motor, removiendo de esta forma el calor del agua de enfriamiento del motor. Vale la pena hacer notar que el agua fría procedente de la torre de enfriamiento no es la que entra al motor caliente, puesto que esta agua fría podría romper al motor por choque térmico, siendo esta la razón de que el motor tenga un circuito propio para el agua de enfriamiento.

Existen termómetros instalados en el conducto de entrada del agua al motor, en la salida y en el aceite de lubricación; no existe termostato, y las temperaturas sean del motor, del aceite o del dinamómetro se regulan haciendo circular una mayor o menor cantidad de agua con la ayuda de llaves de paso.

El carburador es más o menos como el descrito en el capítulo correspondiente a carburación, sin embargo este no dispone de los tornillos de ajuste, teniendo en cambio una bomba de aire - que puede mantener una presión en la cuba, y dependiendo de esta presión podemos enriquecer o empobrecer la mezcla carburante.

DINAMOMETRO HIDRAULICO: Con el objeto de obtener la potencia en el eje de salida del motor en cuestión, se dispone de un

dinamómetro hidráulico, que acoplado al eje de salida del motor puede frenarlo, de acuerdo a las diversas necesidades. Al frenar el eje del motor, se produce una reacción que es medida - por medio de pesas que se equilibran en un brazo de longitud - determinada, de esta forma se calcula el torque y con este la potencia. Se entiende que este aparato está montado en cojinetes de bolas, que le permiten el movimiento basculante.

ACCESORIOS: Son dispositivos o aparatos instalados en el banco de prueba, con el objeto de medir el flujo de combustible, de aire, velocidad angular del motor y la presión en la cuba - del carburador.

MEDIDORES DE COMBUSTIBLE: Para medir el flujo de gasolina, - existe una probeta graduada en la cual se pueden medir volúmenes de 50 y 150 centímetros cúbicos, con los cuales se puede - determinar el tiempo que tarda en consumirse un volumen dado - de combustible. La cantidad de gas consumido se determina midiendo el tiempo que tarda en consumirse una determinada masa de gas la cual es medida por diferencia usando una balanza.

MEDIDOR DE FLUJO DE AIRE: Consiste en un tanque cilíndrico con un orificio circular calibrado ubicado en una de sus bases, y

que constituye la entrada del aire; la otra base está sellada por una membrana de caucho muy flexible, un orificio lateral comunica el tanque con el carburador, un manómetro de columna está conectado al interior del cilindro, de tal forma que mi de una diferencia de presión entre el exterior y el interior del cilindro, esta caída de presión debida al orificio de en trada es proporcional al flujo de aire, como se conoce previa mente el coeficiente de rozamiento del orificio calibrado, el flujo de aire Q en metros cúbicos por hora se determina con - la siguiente fórmula:

$$Q = K \sqrt{h}$$

Donde K es una constante conocida y h es la diferencia de pre sión medida en el manómetro.

La constante K se corrige para la presión atmosférica y para la temperatura ambiente.

Estos son los dispositivos que pueden no estar presentes en el motor de un vehículo, pero que son indispensables en este ban co de pruebas.

Existen dispositivos tales como tacómetro, manómetro para to

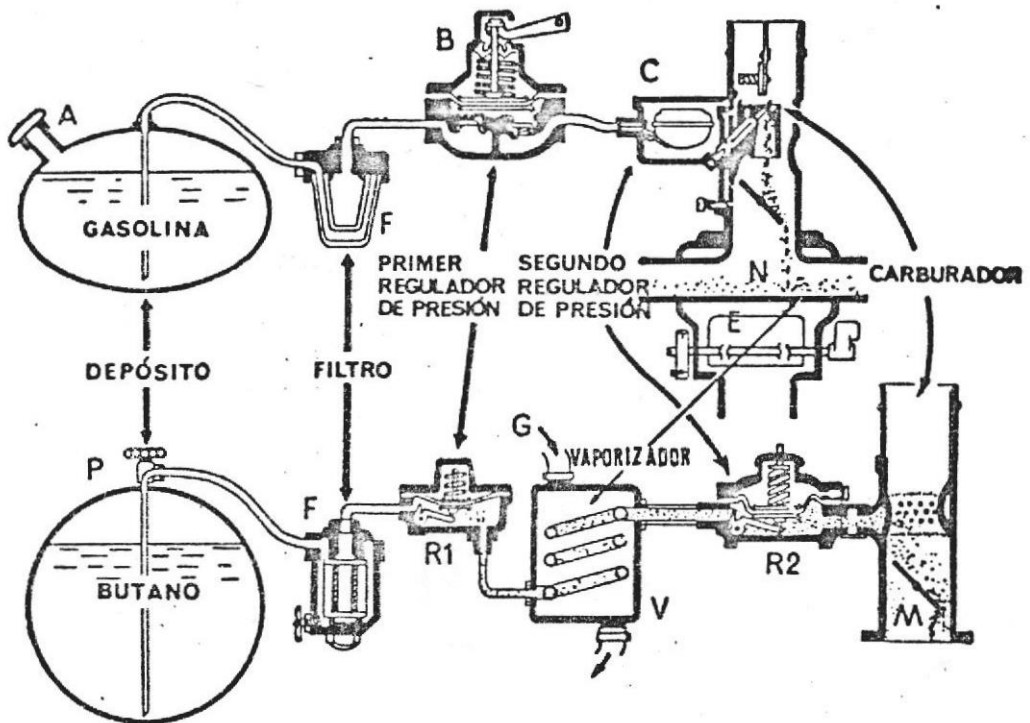
mar la presión del aceite de lubricación, etc., y que enumerar
los sería largo y que están fuera del alcance de este trabajo.

3.2. DISPOSITIVOS ADAPTADOS AL MOTOR PARA SU FUNCIONAMIENTO CON -
GAS LICUADO DE PETROLEO. BREVE DESCRIPCION DE CADA UNO
DE ELLOS.

✓ Las diferencias consisten en detalles mecánicos impuestos por -
las distintas maneras de ingreso de los combustibles al motor -
de combustión interna.

La figura 3.1, muestra los dos sistemas de alimentación de com
bustible al motor. La gasolina está en el depósito A, a pre
sión atmosférica, el gas está en cambio en la botella P a una
presión que depende de la composición y de la temperatura am
biente. La gasolina se atomiza en el carburador y se vaporiza
una parte en el colector de admisión, en cambio el gas debe va
porizarse en V antes de llegar al carburador en el que entra to
talmente gasificado. En ambos sistemas existen filtros F pa
ra limpiar de impurezas el combustible.

✓ Para reducir la presión con que viene el GLP, existen dos reduc
tores de presión; en el caso de la gasolina tenemos una bomba B,
que tiene dos válvulas M, una membrana accionada por mando mecá
nico, que envía la gasolina a la cuba C por la acción del resor
te cuya fuerza marca la presión de trasvace. En el GLP, el re



Carburación comparada de la gasolina y del butano.

FIG. 3-1

ductor R1 se llena con los líquidos procedentes del fondo P y filtro F; cuando la presión baja vence la resistencia del resorte, sube la membrana y cierra la válvula de entrada. Cuando la presión se hace menor que la fuerza del resorte, se abre la válvula de entrada y así sucesivamente. El GLP sale de R1 a la presión impuesta por la fuerza del resorte que viene a ser entre 0.7 y 0.2 Kg/cm².

El vaporizador V, consiste en un serpentín rodeado por una circulación G de agua caliente, tomada de la parte alta del motor (la más caliente) y después de ceder el calor del GLP para que se vaporice vuelve a la parte más baja del radiador (la fría).

Esa vaporización es la que en menor escala se efectúa con la gasolina ya pulverizada en el colector de admisión N, rodeado por los gases de escape E.

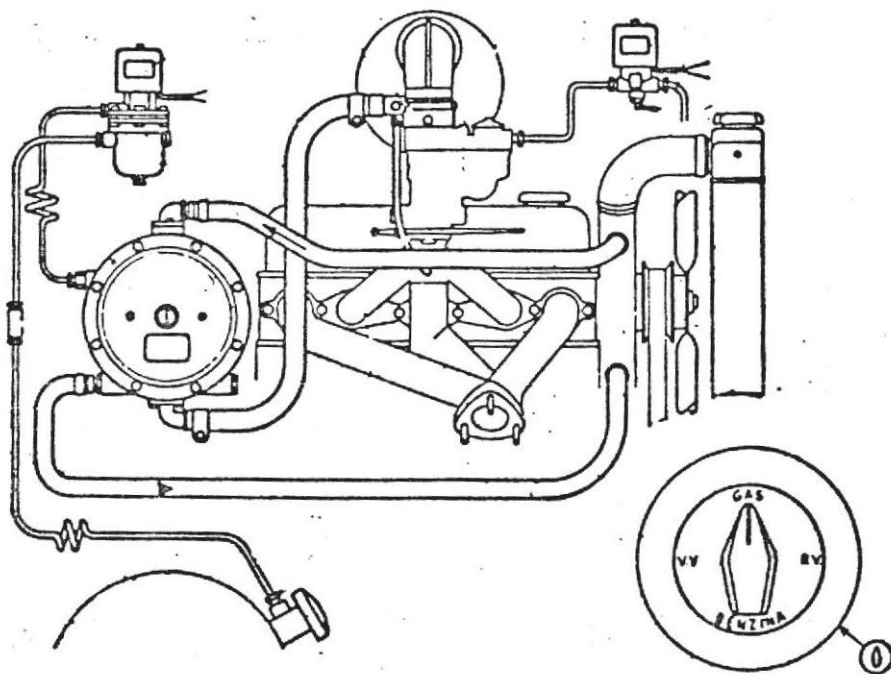
La segunda reducción de presión (ya convertido el GLP en gas) se hace en el regulador R2, que actúa como el regulador R1 cuyo resorte marca la presión con el que el gas vá a salir a la altura del difusor del carburador; la presión es ligeramente inferior a la atmosférica para el caso de que si no hay succión por parte de los cilindros, (vacío de admisión), se corte el paso del gas. Este papel es el que cumple la cuba como ya se explico -

en el correspondiente capítulo, la altura de la gasolina en la cuba marca la presión, siempre por debajo del surtidor para que no se derrame cuando el motor no funciona.

El sistema de los dos reductores, de presión y vaporizador es común en todos los sistemas de GLP, pero en algunos casos como el mostrado en la figura 3.2, el gas entra directamente al carburador por la parte superior, y tiene un conducto que vá a la parte inferior del carburador después de la válvula de mariposa con el objeto de alimentar el motor en ralentí. En el otro caso el gas vá a un mezclador y dosificador, esto se expondrá detalladamente ya que pertenece al sistema que se utilizó, de todas maneras tiene dos circuitos de alimentación, el principal, y el ralentí accionado por el vacío del colector para que entre - por el mismo conducto.

Nótese que en el regulador R_2 existe un botón en la parte superior, que al presionarlo baja la membrana y abre la entrada, - consiguiendo de esta forma una cantidad adicional de gas en el arranque. Esta válvula y otras válvulas que se explicarán después, pueden ser accionadas electricamente.

DESCRIPCION DEL REDUCTOR - VAPORIZADOR: El combustible sale en forma líquida de la parte inferior de la botella pasa por la -



Equipo de carburación con butano.

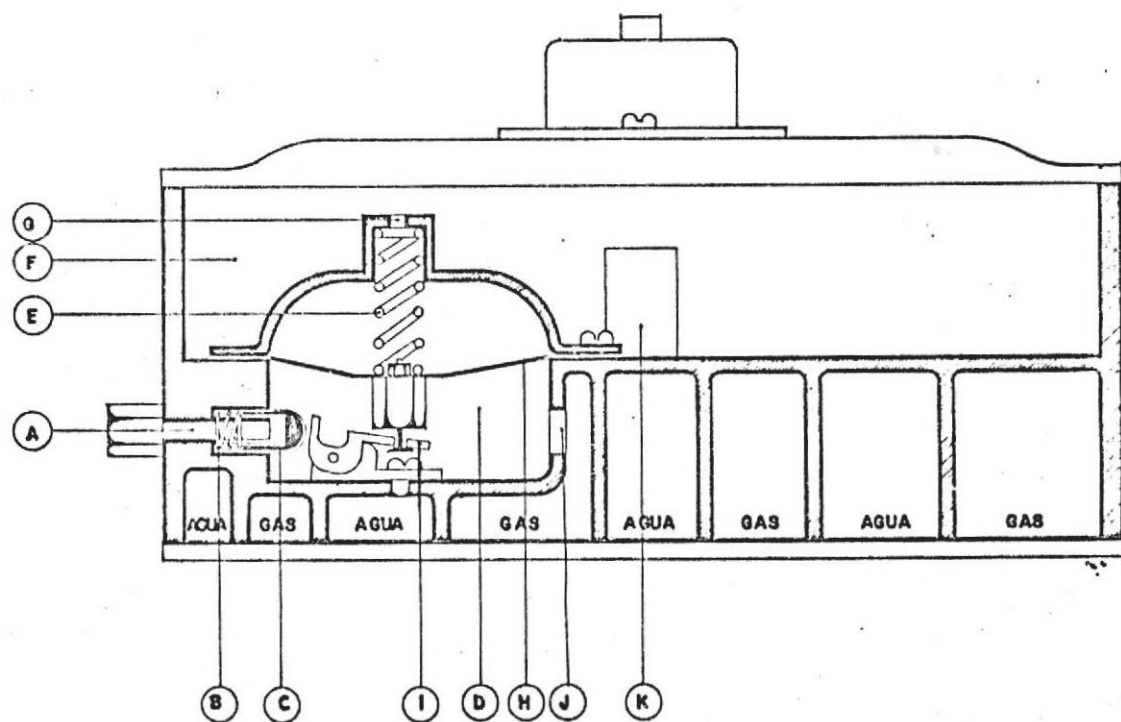
FIG. 3-2

válvula mostrada en la fotografía 1, la cual no reduce la presión; continúa por la manguera de alta presión hasta la válvula de solenoide mostrada en las fotografías 1 y 2, que se abre únicamente con el paso de la corriente eléctrica al cerrar el circuito del motor, en el caso de que el motor funcione con dos combustibles, existe otra válvula de este tipo en la entrada de la gasolina con un interruptor de tres posiciones, la primera está abierta para el circuito de la gasolina, en la segunda es tán las dos válvulas cerradas, y en la tercera posición está abierto el circuito de gas; no pueden estar abiertas al mismo tiempo la válvula de gas y la válvula de gasolina, ya que el mo tor se inundaría de combustible, de cualquier forma este no se ría el caso si el circuito está bien hecho. Al parar el motor deja de circular la corriente eléctrica y las dos válvulas se cierran.

REGULADOR DE ALTA PRESION (R_1): En la figura 3.3, se muestra un esquema del regulador de alta presión R_1 . El combustible lí quido ingresa por el conducto (A), en donde la presión ejercida por el resorte (B) mantiene abierto el capuchón (C), el cual permite el ingreso del combustible a la cámara (D). En esta cá mara, cuando la presión ejercida por el combustible se ha incre mentado lo suficientemente como para vencer las presiones debidas al resorte (E) y la comunicada por el orificio (G), entra -

Fig. 3-3

DETALLE DEL REGULADOR DE ALTA PRESION.



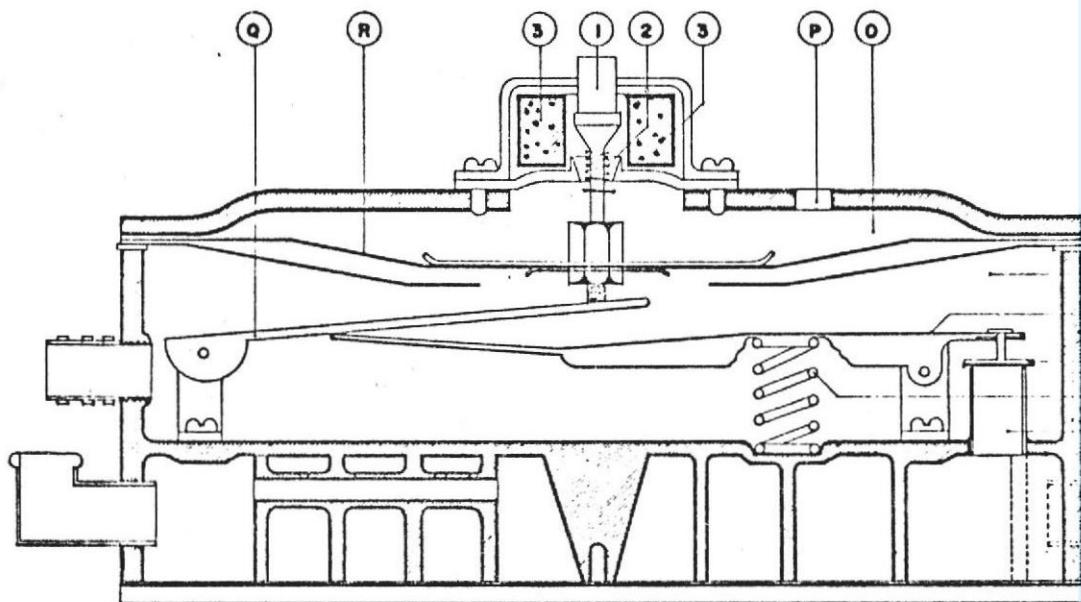
en acción la membrana (H), la cual asciende, poniendo en movimiento a la palanca (I), la que con su desplazamiento empuja al capuchón (C) cerrando así el ingreso del combustible por el con ducto (A). Cuando el combustible que llenaba a la cámara (D), ha atravesado el conducto (J), la presión decrece y la membrana (H) desciende, permitiendo a la palanca abrir el capuchón, in gresando nuevamente el combustible a la cámara (D), el combustible ya empieza a gasificarse y a través del serpentín vá al re gulador R2, y a la salida de este el combustible ya está en con diciones de ir al mezclador. Las fotografías 3 y 4 nos muestran al regulador de alta presión R₁.

VAPORIZADOR: El combustible sale por el conducto (J), mostrado en la figura 3.3, y pasa por un laberinto en forma de serpentín, en donde toma el calor cedido por el agua de enfriamiento del motor y de la cual se encuentra separado por las paredes del ser pentín, esto puede ser apreciado en las fotografías 5 y 6; final mente este combustible ya gasificado se comunica con el conducto (K) motrado en la figura 3.4, pero este conducto no está abierto como podría pensarse a partir del gráfico 3.3, si no que se lo ha graficado así por razones de simplicidad en el esquema.

REGULADOR DE BAJA PRESION: El conducto (K) está tapado por un disco circular (L), que es accionado por la palanca (M) conjunta

Fig. 3-4

DETALLE DE REGULADOR DE BAJA PRESION.



CORTE DEL REGULADOR DE PRESION EVAPORADOR

mente con el resorte (N); figura 3.4).

Cuando la presión atmosférica puesta en contacto con la cámara (O) mediante el orificio (P) vence el resorte (N) mediante las palancas (M) y (Q) que son empujadas hacia abajo por la membrana (R), queda libre la entrada de gas a la cámara (S), hasta que la presión en esta es tal que empuja la membrana (R) hacia arriba con ayuda del resorte (N), hasta que el gas dentro de la cámara (S) baja nuevamente.

DISPOSITIVO CEBADOR: (Figura 3.4). Con el propósito de dar una cantidad adicional de gas en el momento del arranque, hay el dispositivo cebador que consta del cuerpo (1), que es una varilla que puede ser desplazada hacia abajo venciendo el resorte (2) que la mantiene en la parte superior. La varilla (1) puede ser empujada normalmente o mediante la fuerza magnética inducida por el paso de una corriente eléctrica a través de la bobina (3).

En las fotografías 3 y 4 pueden verse las palancas y la cámara del regulador de baja presión. La fotografía 7 exhibe la membrana, un soporte anular que sirve de apoyo a la membrana y la tapa del regulador de baja presión; la fotografía 8 muestra la bobina y los componentes del dispositivo cebador.

MEZCLADOR: Después que el combustible ha sido vaporizado y su presión ha descendido, es necesario mezclarlo con una cantidad apropiada de aire antes de que entre al motor.

De esta operación se encarga el mezclador, observando las fotografías 9 y 10, podemos apreciar el mezclador completamente armado y desarmado, respectivamente.

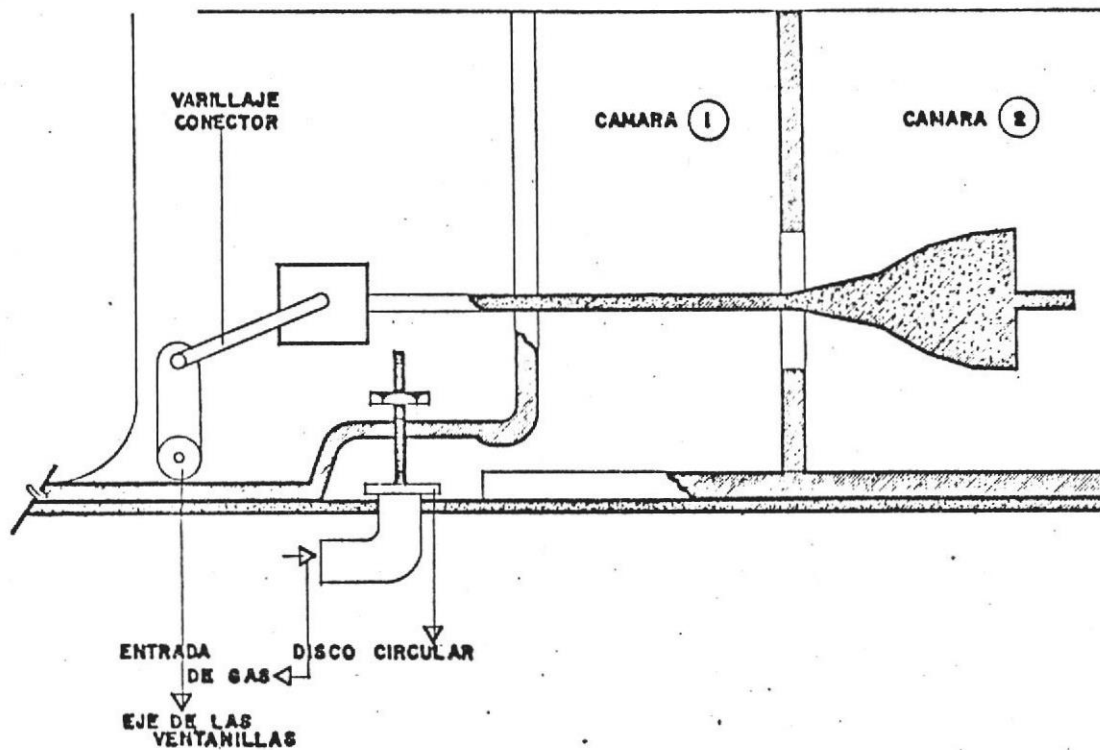
Existen tres circuitos para el funcionamiento del mezclador, estos son: el circuito principal, el circuito de plena potencia y el circuito de ralentí.

CIRCUITO PRINCIPAL: Es aquel que se ha dispuesto para que el motor trabaje a velocidad de régimen.

Después de salir del evaporador, el combustible a baja presión es aspirado por el motor, a través del mezclador, en el diagrama 3.5 puede observarse la entrada, la cual puede ser restringida por la placa circular antes de llegar a la cámara (1), como se muestra en el diagrama 3.5.

Entre las cámaras (1) y (2) existe un orificio circular y un cono que puede abrir o cerrar el paso conforme esta se deslice, observe la fotografía 11, el gas desde la cámara (2) es indudu

Fig. 3-5 ESQUEMA PARCIAL DEL MEZCLADOR.



cido por la parte inferior hasta dos aletas, por medio de cada una de las cuales sale gas para mezclarse, en la fotografía 10 pueden observarse las dos aletas, y en la fotografía 13 pueden verse los conductos que llevan el gas a las aletas para mezclarse con el aire.

Las dos ventanillas pueden abrirse o cerrarse a voluntad mediante el control como se puede observar en la fotografía 9, el esquema 3.6, indica la forma como se mezcla el gas y el aire. Entre el cono regulador del paso del combustible y las aletas existe una varilla que, a medida que se inclinan las ventanillas - dan más paso al aire, el paso se abre entre las cámaras (1) y (2).

El control de la aceleración se realiza con la válvula de mariposa que está en el carburador de gasolina. Diagramas 3.5 y 3.6.

CIRCUITO DE PLENA POTENCIA: Cuando el motor está trabajando a máxima velocidad y por tanto a toda su potencia requiere una cantidad adicional de gas en la mezcla.

Obsérvese el Diagrama 3.7., se sabe que al aumentar la velocidad del motor la cantidad de mezcla requerida es mayor, por tan

Fig. 3-6 ESQUEMA GENERAL DEL MEZCLADOR.

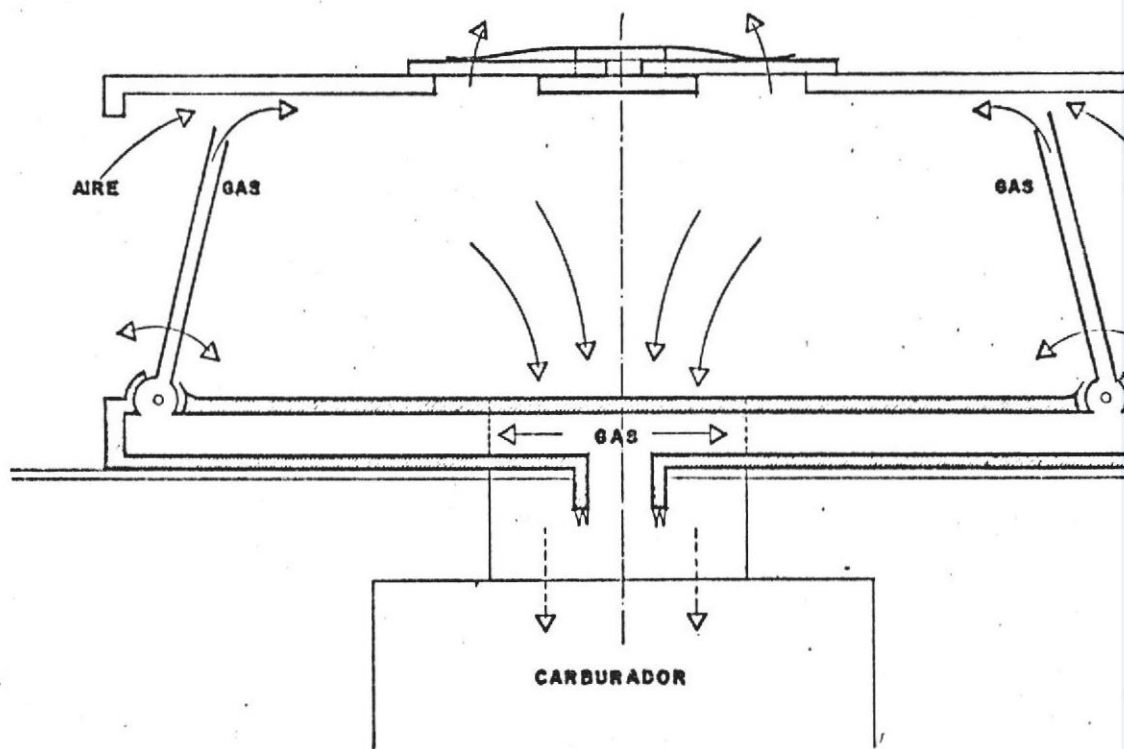
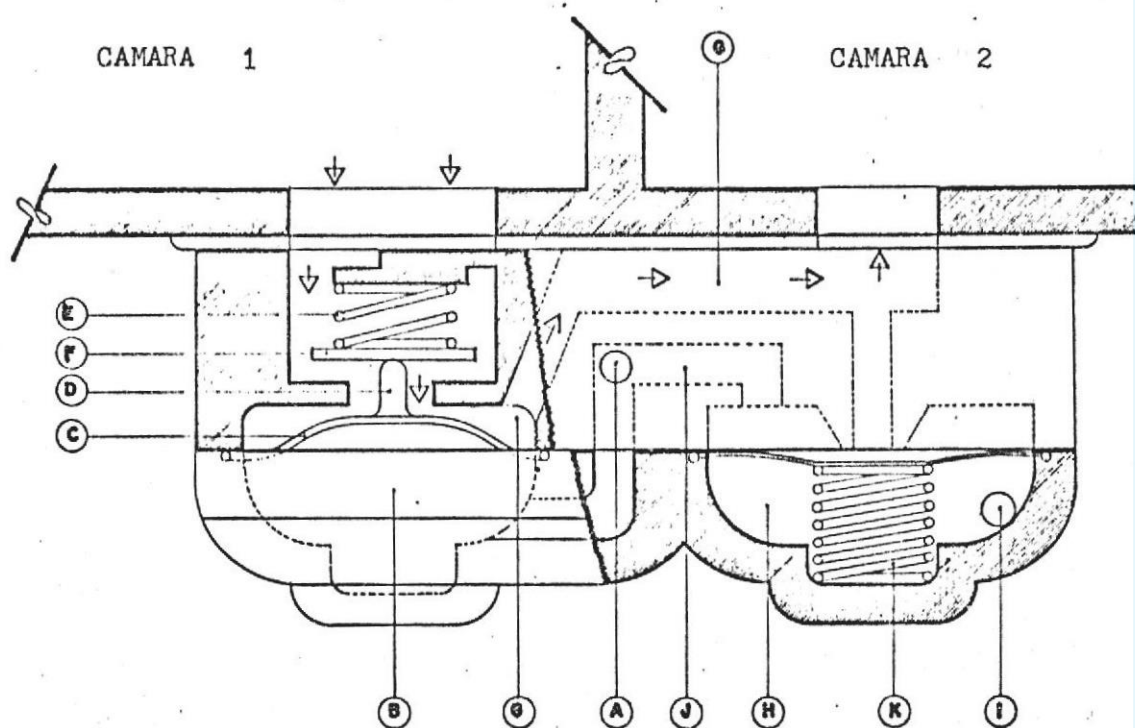


Fig. 3-7

DIAGRAMA DE LOS CIRCUITOS ADICIONALES.



to, la velocidad de esta es mayor y mayor también es el rozamiento, como consecuencia de esto la diferencia de presión entre la atmósfera y el conducto de gas es mayor, creándose un vacío dentro del conducto que lo forman las cámaras (1) y (2).

La presión atmosférica se comunica por el orificio (a) desde la cámara (b) empujando la membrana (c). Por medio del saliente de la membrana (d) vence el resorte (e) quedando separada la placa circular (f) de su asiento, comunicando de esta forma la cámara (1) y (2) por el conducto (g) que nos dá un mayor paso para el gas.

Cuando la velocidad del gas ha bajado porque la velocidad del motor ha disminuido , el resorte (e) junto con la presión del conducto (g) empujan la membrana hacia abajo, cerrándose el pase de gas.

CIRCUITO DE RALENTI: El motor en baja velocidad, cuando la mariposa del acelerador está casi cerrada, crea un gran vacío por debajo de la mariposa, el cual se pone en contacto por medio de una manguera flexible con la cámara (h) a través del orificio(i). Por otro lado de la membrana la presión atmosférica que se pone en contacto a través del conducto (j) con el orificio (a) empuja la membrana hacia abajo venciendo el resorte y convirtiendo -

el conducto (j) en paso de aire a la cámara (2). Obsérvese las fotografías 11, 12, 13 y 14. En esta última tenemos los circuitos secundarios desarmados.

IV. EXPERIMENTACION

Antes de entrar a la experimentación misma, se describirá la forma en que se lleva a cabo las diferentes pruebas.

Tratándose de determinar el mínimo consumo de combustible para cada uno de los casos, tanto con gasolina como con GLP, las condiciones de funcionamiento deben ser las mismas, así tenemos que se calibraron las válvulas, el encendido, se efectuó el cambio de bujías, platinos, condensador, aceite, etc.

Al realizarse pruebas consecutivas con los dos combustibles se determinó, que el consumo específico de combustible era demasiado alto. Para determinar las causas de esta anomalía se revisó en su totalidad el funcionamiento del motor, siendo dos las razones por las cuales sucedía lo indicado:

1. La relación de compresión con la que estaba trabajando el motor resultó ser demasiado baja, en efecto, al medir con un manómetro la presión de compresión, se obtuvo el valor de 115 lb./pulg.² (8.1 Kg/cm²), que corresponde a una relación de compresión de 6.8 a 1.0.

Finalmente se desmontó la culata y se procedió a determinar la -
compresión:

$$\text{AREA DEL PISTON} = \frac{\pi}{4} (8.1)^2 = 51.53 \text{ cm.}^2$$

$$\text{CARRERA DEL PISTON} = 6.33 \text{ cm.}$$

$$\text{VOLUMEN DE LA CAMARA DE COMBUSTION} = 31 \text{ cm.}^3$$

El volumen de la cámara se midió con una probeta calibrada y acei
te.

$$\text{ESPESOR DE LOS EMPAQUES Y UNA LAINA} = 0.48 \text{ cm.}$$

$$\text{RELACION DE COMPRESION} \quad r_c = \frac{V_d. + V_c}{V_c} \quad ; \text{ donde:}$$

$V_d.$ = volumen de desplazamiento x Area del pistón x Carrera.

$$V_d. = 51.53 \times 6.33 = 326.18 \text{ cm.}^3$$

$V_c.$ = Volumen de la cámara + Volumen debido a empaques y una
laina.

$$V_c. = 31 + 0.48 (51.53) = 55.73 \text{ cm.}^3$$

Finalmente tenemos que:

$$r_c = \frac{326.18 + 55.73}{55.73} = 6.85$$

De esta manera se pudo comprobar que la medición hecha con el ma
nómetro estuvo correcta.

Se decidió aumentar la compresión, pero al no existir una laina más delgada, solamente se puso el empaque con lo cual la relación de compresión aumentó hasta un valor de 10 a 1., obteniéndose una presión de 11.04 Kg/ cm.², en el manómetro.

Con esto se consiguió un considerable aumento de potencia y una disminución en el consumo específico de combustible.

2. La otra causa del elevado consumo estaba en el desajuste del car
burador y del mezclador respectivamente.

PRUEBAS EXPERIMENTALES: Se eligió como velocidad de prueba N=3360 RPM por ser el rango de elevado torque y se trabajó a 100 % de aceleración, con un adelanto al encendido de 8 grados antes del punto muerto superior, con lámpara de luz estroboscópica. La prueba del consumo específico de combustible versus la relación aire-combustii

ble (A/C) en peso es la prueba determinante.

FORMULAS UTILIZADAS: Las fórmulas que se utilizaron para todas las pruebas experimentales son las siguientes:

$$\text{POTENCIA (Kw)} = \frac{\text{TORQUE (New-m)} \times \text{N(RPM)}}{9549.305}$$

$$\text{FLUJO COMBUSTIBLE} = \frac{(\text{Kg/hora}) \text{ VOLUMEN (cm}^3) \times \text{DENSIDAD (gr/cm}^3) \times F}{\text{TIEMPO (Seg)}}$$

F = Factor de conversión

$$\text{FLUJO DE AIRE} = Q (\text{m}^3 / \text{hora}) = K g/h$$

K = Constante = 14.49 para 760 mm. de Hg y 20°C

h = Cabezal de aire en cm. de agua

El valor de K varía con la presión barométrica y la temperatura ambiente. Por tanto K se corrige de la siguiente manera:

Restar 0.675 por cada 10 mm. de Hg sobre los 760 mm. de Hg.

Sumar el 0.17 % del valor de K por cada 1°C sobre los 20°C.

$$K = 14.49 - 0.675 (P_b - 760) + 0.0017 \times 14.49 (t_o - 20).$$

Siendo P_b la presión barométrica y T_o la temperatura ambiental me
didas en el momento de realizar la experiencia.

$$\text{DENSIDAD NORMAL DEL AIRE} = 1.225 \text{ Kg/m}^3.$$

4.1. CURVAS CARACTERISTICAS DEL MOTOR FUNCIONANDO CON GASOLINA DE

92 OCTANOS

TABLA DE DATOS A VELOCIDAD CONSTANTES

N = 3360 R P M

T_m = 93 ± 3°C = Temperatura del motor

T_o = 27°C

P_b = 762.8 mm Hg.

ρ = 0.735 gr/cm³ = Densidad de la gasolina

TORQUE = (Newton - metro)

VOLUMEN DE COMBUSTIBLE (centímetros cúbicos)

TIEMPO (Segundos)

CABEZAL DE AIRE (milímetro de agua)

PRESION EN LA CUBA (milímetro de agua).

TABLA IV - I. a

TORQUE	VOLUMEN COMBUST.	TIEMPO	CABEZAL AIRE	PRESION CUBA
78.0	150	42.74	39.0	-40
78.0	150	42.92	39.0	-40
78.0	150	42.59	39.5	-40
78.0	150	44.29	39.5	-50
78.0	150	44.32	39.0	-50
78.5	150	44.38	39.5	-50
79.0	150	44.38	42.5	-60
78.5	150	44.24	41.0	-60
78.5	150	45.28	41.0	-60

Continuación TABLA IV -- I.a

TORQUE	VOLUMEN COMBUST.	TIEMPO	CABEZAL AIRE	PRESION CUBA
78.8	150	47.78	40.0	-80
78.0	150	47.46	40.5	-80
78.0	150	47.44	40.5	-80
79.0	150	46.25	42.5	-80
78.5	150	46.16	42.5	-80
78.0	150	47.11	41.0	-80
78.0	150	47.32	41.0	-80
78.0	150	48.51	40.0	-90
78.0	150	48.59	40.0	-90
78.0	150	48.73	40.5	-90
77.0	150	48.95	39.5	-100
77.0	150	49.27	39.5	-100
77.0	150	49.80	39.5	-100
78.5	150	47.89	43.0	-120
78.5	150	48.48	42.0	-120
78.0	150	48.98	42.0	-120

Continuación TABLA IV - I.a.

TORQUE	VOLUMEN	TIEMPO	CABEZAL	PRESION
	COMBUST.		AIRE	CUBA
77.5	150	50.22	42.0	-130
77.5	150	50.19	41.0	-130
77.5	150	50.38	41.0	-130
76.5	150	51.45	41.5	-140
76.5	150	51.61	40.5	-140
76.5	150	51.65	40.5	-140
74.5	150	53.04	40.0	-160
74.0	150	52.99	40.5	-160
74.0	150	52.70	40.0	-160
71.0	150	54.25	40.5	-180
71.5	150	53.88	40.5	-180
72.0	150	53.69	40.5	-180

TABLA IV - I.b

TABLA DE RESULTADOS CON GASOLINA 42 OCTANOS Y A VELOCIDAD CONSTANTE

PRESION CUBA EN mm H₂O

POTENCIA EN KILOVATIOS (Kw)

CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE (C.E.C.) gramos/ Kw - hr

RELACION AIRE COMBUSTIBLE (ADIMENSIONAL)

PRESION CUBA	POTENCIA	C.E.C.	A/C
-40	27.44	334	12.11
-50	27.50	321	12.59
-60	27.68	317	13.2
-80	27.44	300	13.68
-80	27.58	304	13.67
-90	27.44	293	13.96
-100	27.09	293	14.04
-120	27.56	293	14.01
-130	27.27	286	14.34
-140	26.92	282	14.59
-160	26.10	283	14.88
-180	25.16	289	15.23

Fig 4-1 Curvas a 3360 RPM con gasolina de 92 octanos.

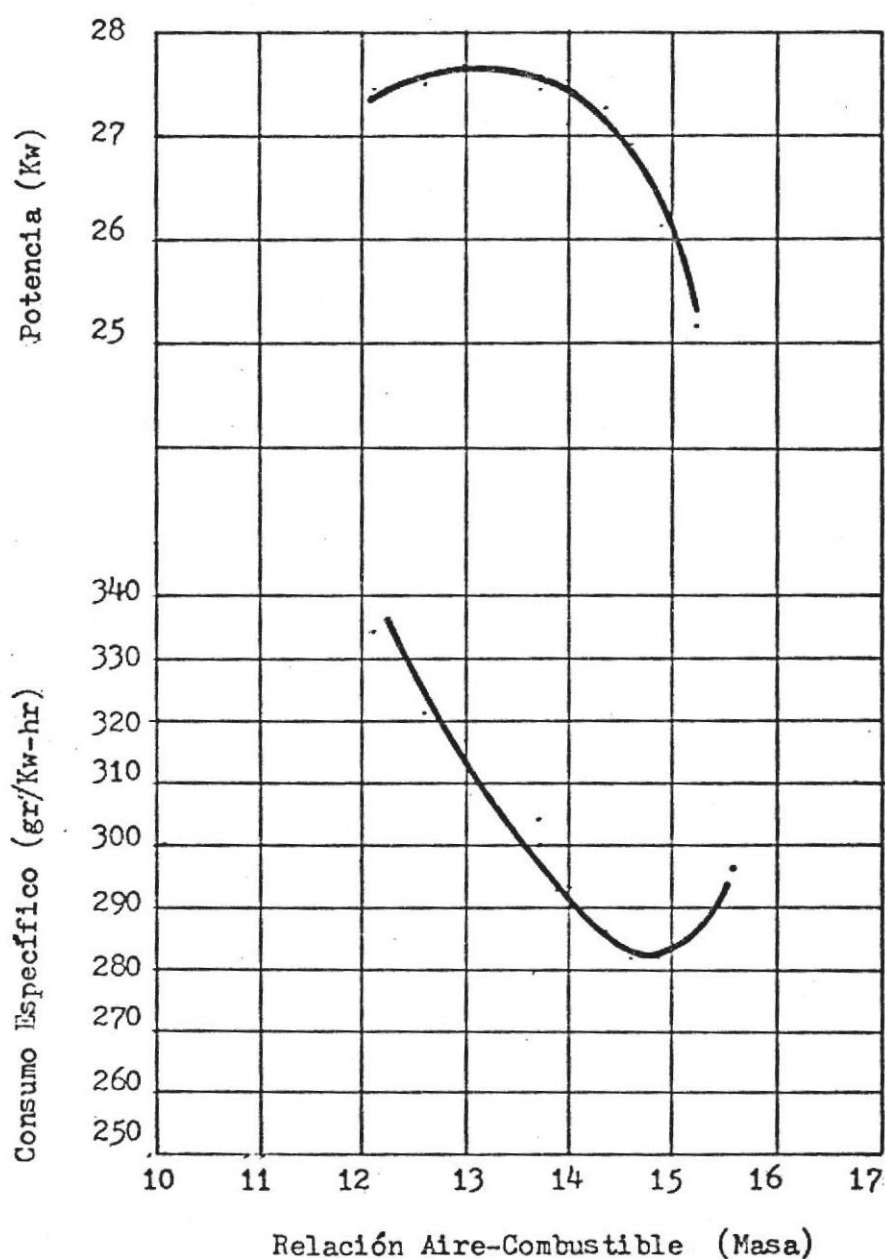
Consumo Específico y Potencia Vs. Relación
Aire-Combustible

TABLA IV - III.a

TABLA DE DATOS A VELOCIDAD VARIABLE CON GASOLINA DE 92 OCTANOS

Pb = 765 mm Hg

To = 27°C.

Tm = 93 ± 3°C

P = 0.735 gr/cm³100 % DE ACELERACION

R P S	TORQUE	VOLUMEN COMBUST.	TIEMPO	CABEZAL AIRE	PRESION CUBA
=====	=====	=====	=====	=====	=====
50	77.0	150	55.27	32.5	-130
55	76.5	150	51.80	38.5	-130
60	76.5	150	47.65	45.0	-130
65	75.0	150	45.15	51.5	-130
70	73.0	150	42.51	58.0	-130
75	71.0	150	42.37	62.5	-130
80	68.5	150	38.30	67.5	-130
85	65.0	150	36.22	72.0	-130
90	62.0	150			-130
=====	=====	=====	=====	=====	=====

TABLA IV - III.b

TABLA DE RESULTADOS CON GASOLINA DE 92 OCTANOS Y VELOCIDAD VARIABLE

R P M	TORQUE	POTENCIA	C E C	A/C
=====				
3000	77.0	24.19	297	13.91
3300	76.5	26.44	290	14.19
3600	76.5	28.84	289	14.11
3900	75.0	30.63	287	14.30
4200	73.0	32.11	291	14.28
4500	71.0	33.46	294	14.09
4800	68.5	34.43	301	13.89
5100	65.0	34.71	316	13.56
5400	62.0	35.60	320	
.....				

...

Fig. 4-3 CURVAS CARACTERISTICAS CON GASOLINA DE 92 OCTANOS

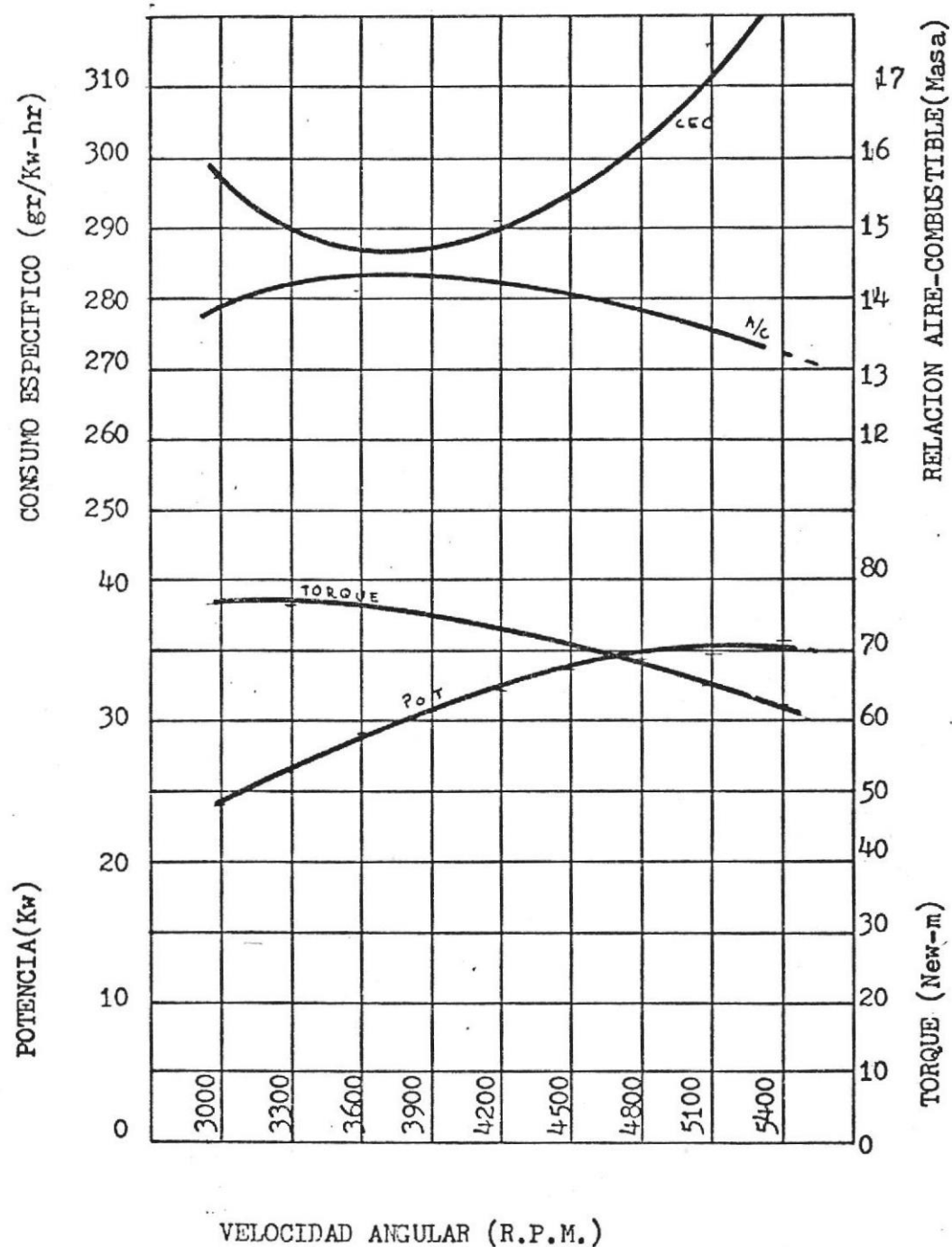


TABLA IV - IV.a

TABLA DE DATOS CON GASOLINA DE 92 OCTANOS Y VELOCIDAD VARIABLE

Pb = 765.0 mm Hg

To = 28.5°C

Tm = 93 ± 3°C

100 % DE ACELERACION

R P S	TORQUE	TIEMPO	CABEZAL	VOLUMEN	PRESIO N
			AIRE	COMBUST.	CUBA
=====					
50	75.5	56.12	32.5	150	-140
60	75.0	48.42	45.0	150	-140
65	73.5	45.40	52.0	150	-140
70	72.0	43.39	58.5	150	-140
75	70.0	41.22	64.5	150	-140
80	67.5	39.28	69.0	150	-140
85	65.0	36.87	73.0	150	-140
90	61.5	35.33	77.5	150	-140
=====					

TABLA IV - IV.b

TABLA DE RESULTADOS CON GASOLINA DE 92 OCTANOS Y VELOCIDAD VARIABLE

R P M	TORQUE	POTENCIA	C.E.C.	4/C
=====				
3000	75.5	23.72	298	14.18
3600	75.0	28.27	290	14.39
3900	73.0	30.01	291	14.51
4200	72.0	31.67	289	14.64
4500	70.0	32.99	292	14.67
4800	67.5	33.93	298	14.46
5100	65.0	34.71	310	13.97
5400	61.5	34.77	323	13.97

Fig. 4-4 CURVAS CARACTERISTICAS CON GASOLINA DE 92 OCTANOS.

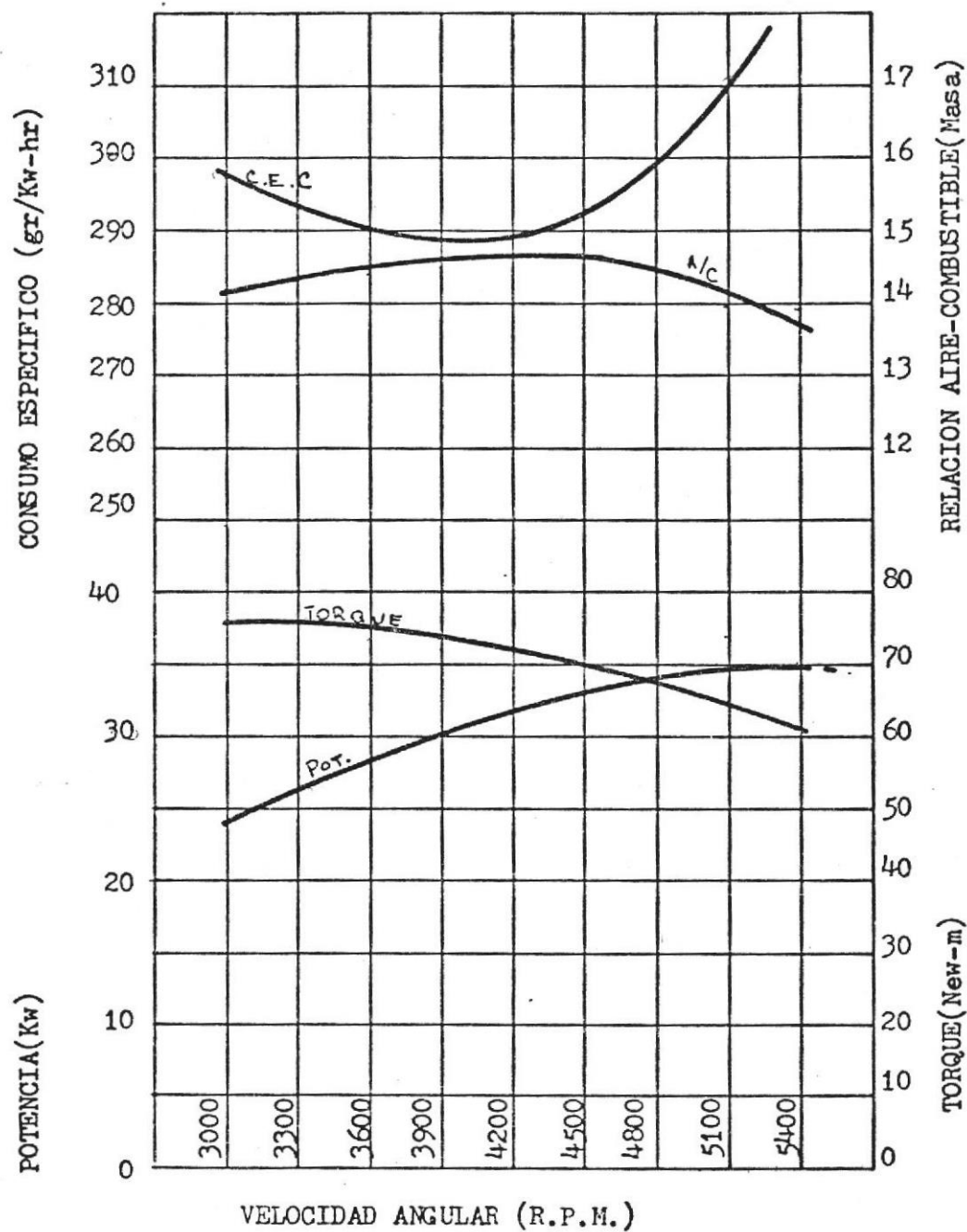


TABLA IV - V.a

TABLA DE DATOS CON GASOLINA DE 92 OCTANOS Y VELOCIDAD VARIABLE

Pb = 765.0 mm Hg

To = 26°C

Tm = 93 ± 3 °C

P = 0.735 gr/cm³100 % DE ACELERACION

R P S	TORQUE	VOLUMEN COMBUST.	TIEMPO	CABEZAL AIRE	PRESION CUBA
50	74.0	150	56.56	33.0	-160
55	74.0	150	53.63	39.5	-160
60	73.5	150	49.34	45.0	-160
65	71.5	150	46.74	51.5	-160
70	69.5	150	44.51	56.5	-160
75	67.0	150	42.29	62.0	-160
80	64.0	150	40.53	67.0	-160
85	60.5	150	39.38	70.5	-160
90	56.0	150	38.59	74.5	-160

105
X

TABLA IV - V.b

TABLA DE RESULTADOS CON GASOLINA DE 92 OCTANOS Y VELOCIDAD VARIABLE

R P M	TORQUE	POTENCIA	C.E.C.	A/C
=====				
3000	76.0	23.88	293	14.36
3300	74.0	25.57	289	14.88
3600	73.5	27.71	290	14.62
3900	71.5	29.20	291	14.81
4200	69.5	30.57	292	14.76
4500	67.0	31.57	297	14.60
4800	64.0	32.17	304	14.65
5100	60.5	32.31	312	14.59
5400	51.0	31.67	325	14.70

...

TABLA IV - II.a

TABLA DE DATOS CON GAS LICUADO DE PETROLEO Y A VELOCIDAD CONSTANTE

N = 3360 RPM
 Pb = 671.3 mm Hg
 Tm = 90 $\pm$ 3°C

100 % DE ACELERACION

Masa (gramos)

TORQUE	MASA COMBUST.	TIEMPO	CABEZAL AIRE
73.0	300	126.43	34.0
74.0	300	136.81	33.5
74.0	300	141.20	33.5
73.5	300	151.23	83.0
72.5	300	158.89	32.5
70.0	300	149.74	33.0
71.0	300	165.07	32.5
73.5	300	153.79	33.0
74.0	300	148.29	32.5
74.0	300	145.81	32.5
74.0	300	144.27	33.5
73.5	300	140.70	33.5
73.5	300	137.37	33.5

TABLA IV - II.b

TABLA DE RESULTADOS CON GAS LICUADO DE PETROLEO Y VELOCIDAD CONSTANTE

TORQUE	POTENCIA	C.E.C.	A/C
73.0	25.69	332	12.24
74.0	26.04	303	13.16
74.0	26.04	294	13.57
73.5	25.86	276	14.43
72.5	25.51	267	15.03
70.0	24.63	293	14.29
71.0	24.98	262	15.63
73.5	25.86	271	14.68
74.0	26.04	279	14.04
74.0	26.04	285	13.80
74.0	26.04	287	13.86
73.5	25.80	297	13.53
73.5	25.86	304	13.21

Fig. 4-2 Curvas a 3360 RPM con Gas Licuado de Petróleo:
Consumo Específico y Potencia Vs. Relación
Aire-Combustible

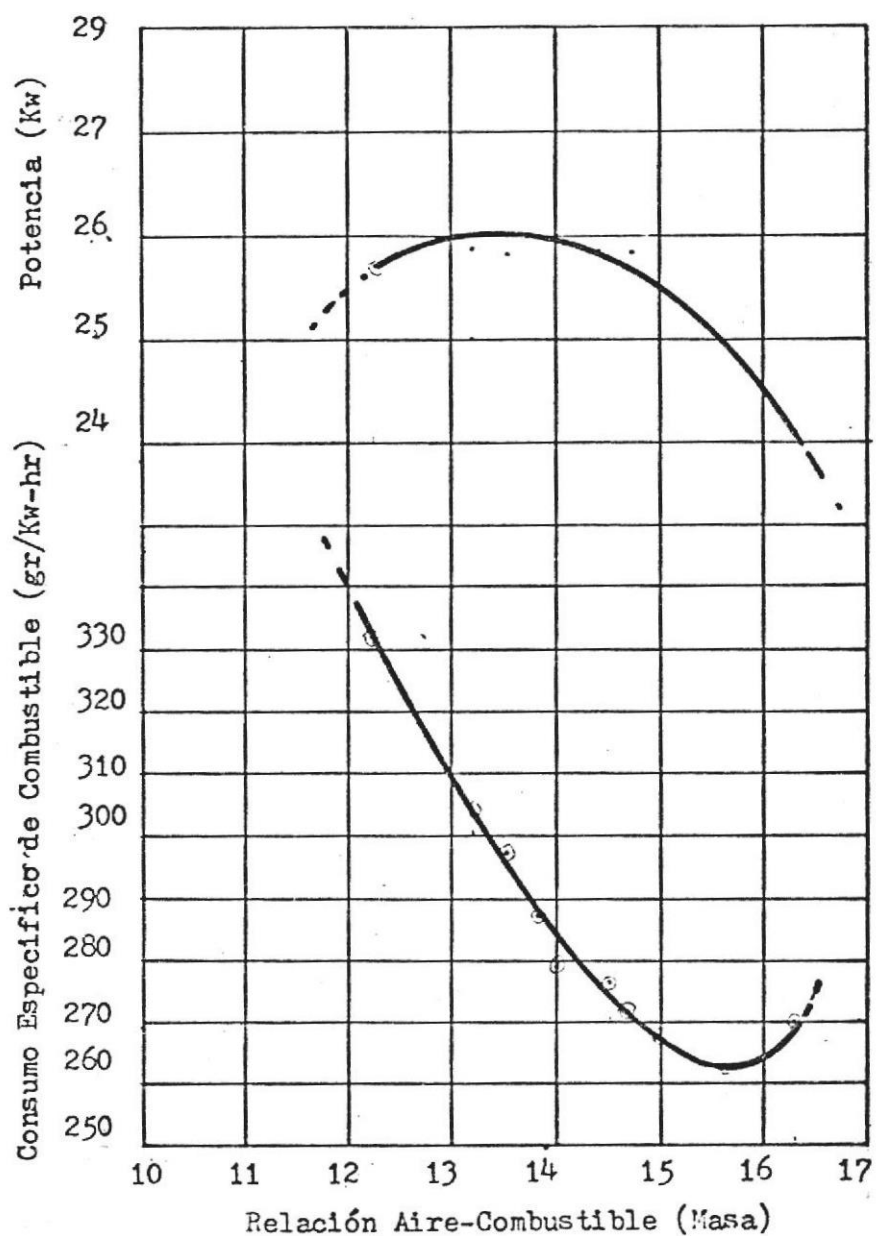


TABLA IV - VI.a

TABLA DE DATOS CON GAS LICUADO DE PETROLEO Y VELOCIDAD VARIABLE

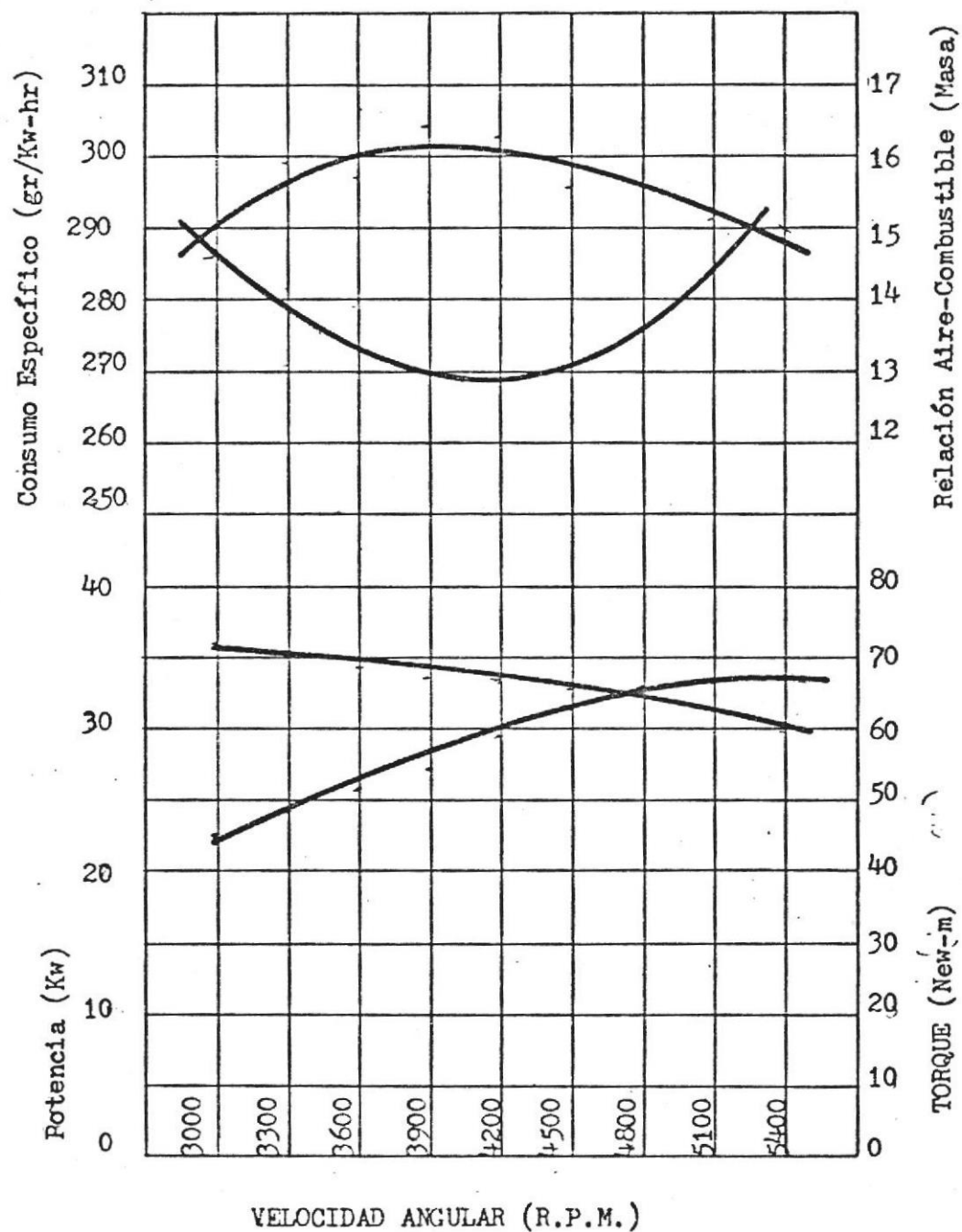
R P S	TORQUE	MASA COMBUS.	TIEMPO	CABEZAL AIRE
=====				
50	72.0	500	296.21	30.0
55	70.5	400	218.13	36.0
60	68.5	400	200.12	41.0
65	67.0	400	196.43	47.0
70	67.0	400	182.14	54.0
75	66.5	400	166.24	59.0
80	65.5	400	161.82	63.0
85	62.5	600	226.01	67.5
90	59.5	500	183.57	71.0

TABLA IV - VI.b

TABLA DE RESULTADOS CON GAS LICUADO DE PETROLEO Y VELOCIDAD VARIABLE

R P M	TORQUE	POTENCIA	C.E.C.	A/C
=====				
3000	72.0	22.62	288	14.70
3300	70.5	24.36	271	15.91
3600	68.5	25.82	279	15.57
3900	67.0	27.36	268	16.37
4200	67.0	29.47	268	16.26
4500	66.0	31.34	276	15.53
4800	65.5	32.92	270	15.61
5100	62.5	33.38	285	15.12
5400	59.5	33.65	292	15.03

Fig. 4-6 CURVAS CARACTERISTICAS CON GAS LICUADO
DE PETROLEO



V. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. COMENTARIOS ACERCA DE LAS CURVAS. CARACTERISTICAS DEL MOTOR - FUNCIONANDO CON GASOLINA DE 92 OCTANOS Y CON GAS LICUADO DE PETROLEO. COMPARACION ENTRE ELLAS

Como ya se indicó previamente el análisis del consumo específico de combustible se lo realiza manteniendo una velocidad constante, y variando la relación aire - combustible, de esta forma se elimina en lo posible cualquier variación dependiente; sea del carburador o del equipo de gas.

CURVAS. POTENCIA Y CONSUMO ESPECIFICO Vs. RELACION AIRE-COMBUSTIBLE.

Las tablas IV - I.a y IV - I.b, se refieren a la experiencia que está graficada como figura 4.1.

En esta figura se puede observar que el consumo específico varía en un rango apreciable dependiendo, como es lógico pensar, de la relación aire-combustible. Se tiene un consumo de

313 gr/kw-hr, para más una relación aire-combustible de 13 - disminuyendo a medida que se empobrece la mezcla hasta llegar al mínimo de 282 gr/kw-hr para una relación aire-combustible de 14.75. Después de este mínimo, el efecto de empobrecer la mezcla es aumentar nuevamente el consumo y además el funcionamiento del motor va haciéndose irregular.

Nótese que el mínimo consumo de combustible se da para una mezcla ligeramente más rica que lo estequiométrica, pero es to se debe a que la mezcla no es homogénea.

Las tablas IV - II.a y IV-II.b, están graficadas en la figura 4.2 y son los correspondientes a los anteriores, pero funcionando con gas licuado de petróleo. Basicamente el comportamiento de la curva es similar, pero el consumo mínimo es 262 gr/kw-hr que se obtiene para una mezcla cuya relación - aire - combustible es 15.65 aproximadamente; que es también ligeramente más rica que la estequiométrica.

La máxima potencia sin embargo se obtiene para mezclas más ricas que aquellas que se dan para mínimo consumo.

Vale la pena dejar en claro que la potencia máxima obtenida

con gas licuado de petróleo es menor en un 5.5 % lo cual ya es de esperar puesto que quedó demostrado por los cálculos de la Tabla 1.

Se pone de manifiesto que el G.L.P., es vaporizado mediante el agua de refrigeración que sale del motor, la temperatura de esta no es regulada por un termostato, por tanto al variar esta temperatura también varía el volumen específico del gas que entra al motor observándose una variación mayor en las experiencias, puesto que es muy difícil mantener una sola temperatura en el agua de refrigeración.

No sucede esto con la gasolina que es atomizado en la corriente de aire de entrada y una pequeña parte es vaporizada en el colector de admisión, entonces cualquier variación en la temperatura del agua de refrigeración deja de tener influencia en la calidad de mezcla y otros parámetros.

CURVAS POTENCIA Y TORQUE Vs. VELOCIDAD ANGULAR

Las anteriores diferencias permitieron hacer el ajuste sea del carburador como del equipo de gas, para obtener la curva con velocidad angular variable y 100 % de aceleración con un mínimo consumo.

Las Tablas IV- III.a	;	IV - III,b
IV- IV,a	;	IV - IV.b
IV- V.a	;	IV - V.b

Corresponden a las figuras 4.3; 4.4 y 4.5, respectivamente. Y representan el funcionamiento del motor con gasolina de 92 octanos. Se escogió la figura 4.3, con sus correspondientes tablas IV- III.a y IV - III.b para compararlas con los correspondientes para el gas licuado de petróleo; la razón es por que esta permite un consumo de combustible menor, que indica un mejor ajuste de la carburación.

Las tablas IV - VI.a y IV - VI.b corresponden al funcionamiento con gas licuado de petróleo y están representadas gráficamente en la figura 4.3.

Entonces comparando la figura 4.3, con la figura se observa - claramente una disminución de potencia en perjuicio del gas esta varía debido desde un 10 % a bajas velocidades hasta un 5 % a máximas velocidades y potencia es función de este, y su comportamiento puede ser claramente observado en las figuras.

Los valores de potencia son relativos a ese motor a esas condiciones de funcionamiento y por tanto no son aplicables a

otro motor, es esta la razón por la que no se cita estos valores.

CURVAS CONSUMO ESPECIFICO Y RELACION AIRE - COMBUSTIBLE Vs.

VELOCIDAD ANGULAR

Las figuras 4.3; 4.4 y 4.5 corresponden así mismo al funcionamiento del motor con gasolina y la figura 4.6 al gas licuado de petróleo.

Las figuras 4.4. y 4.5 corresponden así mismo se obtuvieron - empobreciendo la mezcla ligeramente más allá del valor mínimo por tanto los resultados fueron contraproducentes y se escogerá la figura 4.3 para la comparación.

De la observación podemos deducir que el consumo específico depende en su mayor parte de la relación aire-combustible de la mezcla que está entrando al motor, por tanto citar estos valores es inútil porque dependen de los equipos respectivos sin embargo, valores más objetivos se citaron en las experiencias a velocidad constante, en donde se variaba la relación - aire-combustible a velocidad angular constante para estudiar el efecto sobre el consumo específico.

El estudio del consumo específico en función de la velocidad angular sería útil si la relación aire-combustible se mantuviera constante a cualquier velocidad del motor, pero esto no es posible porque el carburador tal como ha sido diseñado nos dá una variación en la calidad de la mezcla para diferentes regímenes de funcionamiento.

Las curvas citadas sin embargo nos dan la variación del consumo específico para esas condiciones de funcionamiento. De cualquier forma el consumo específico es menor para el gas licuado.

VI. CONCLUSIONES

ANALISIS DE COSTO DEL COMBUSTIBLEGASOLINA DE 82 OCTANOS

$$\frac{15 \text{ sucres}}{1 \text{ galón}} \times \frac{1 \text{ galón}}{3.7854 \text{ lts.}} \times \frac{1 \text{ litro}}{1000 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{0.735 \text{ gr}} \times \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} = \frac{5.39 \text{ sucres}}{\text{kg}}$$

GASOLINA DE 92 OCTANOS

$$\frac{20 \text{ sucres}}{1 \text{ galón}} \times \frac{1 \text{ galón}}{3.7854 \text{ lts.}} \times \frac{1 \text{ litro}}{1000 \text{ cm}^3} \times \frac{1 \text{ cm}^3}{0.735 \text{ gr}} \times \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}} = \frac{7.19 \text{ sucres}}{\text{kg}}$$

GAS LICUADO DE PETROLEO

$$\frac{150 \text{ sucres}}{14 \text{ kg.}} = \frac{10.71 \text{ sucres}}{\text{kg}}$$

Como puede observarse los precios de los combustibles son variables por supuesto obedecen a una razón muy importante; calidad de combustible que se traduce como octanaje.

En las actuales condiciones existe una diferencia del 35 % entre el precio del gas licuado de petróleo y la gasolina de 92 octanos, y

el ahorro debido a la disminución de consumo específico del gas li
cuado es apenas del orden del 7.1 %. Sin embargo también existe -
una diferencia del 26 % entre la gasolina de 82 octanos y la gasolii
na de 92 octanos, por lo cual se hace una comparación más objetiva.

Según la figura 2.3, la potencia relativa del motor con un combustii
ble de 8- octanos es el 62 % con un combustible de 92 octanos es el
77 % y la potencia relativa de un combustible de 100 octanos es el
100 % es decir es tomado como base.

Se supone que el gas licuado tiene 100 octanos, como una mezcla de
butano - propano al 50 %. (1).

Se paga entonces 1.87 sucres por el incremento del 15 % en la poteni
cia relativa del combustible con una regla de tres se obtiene que
debería pagarse un incremento en 2.87 sucres por el 23 % de increment
to de potencia relativa del combustible, lo que en verdad se paga
es 3.52 sucres , es decir un 6.1 % más del precio total del gas, lo
que podría justificarse con aquella disminución en el consumo del -
gas.

(1) Consúltase la referencia 5 de la Bibliografía en la tabla V.

Se deja en claro que ese incremento en la potencia no se obtiene - con el simple hecho de cambiar el octanaje del combustible, en esas condiciones no existe aumento de potencia apreciable en el motor, y el consumo específico tampoco varía.

Para obtener un aumento en la potencia del motor es necesario aumentar la relación de compresión hasta el valor conocido como, razón - crítica de compresión para el octanaje de ese combustible, en la figura 2.4, se indica la relación de compresión permitida para un octanaje dado.

La figura 2.5, indica que el incremento en la potencia no se debe al aumento del número octano del combustible, sino al aumento de la razón de compresión en el motor, en igual forma la disminución en el consumo específico del combustible.

Por tanto si un motor funciona normalmente con un combustible de bajo octanaje, no hay razón de alimentarlo con un combustible de mayor octanaje porque el aumento de precio es un desperdicio, solo es justificable en el caso de que el motor esté funcionando sin peli gro, es decir que haya auto encendido, detonación o golpeteo, o si se decide aumentar la razón de compresión del motor. Pero esta - tampoco puede hacerse sin restricción, sino que debe pensarse que el motor fue calculado para resistir una razón de compresión deter

minada.

Así como es un desperdicio utilizar un combustible de alto octanaje en un motor que no lo necesita, también puede ser peligroso para el motor, el utilizar un combustible inapropiado en un motor que funciona con elevada razón de compresión.

ANALISIS DE LA POTENCIA

✓ Evidentemente existe una disminución de la potencia en perjuicio - del gas, pero esta disminución no se debe a una menor eficiencia de combustión, sino a que la cantidad de combustible (de masa) que entra al cilindro es menor en el caso del gas porque esta ocupa un lugar mayor en el cilindro, desplazando de esta forma la cantidad de aire necesaria para la combustión. Puede comprobarse mediante la tabla I, y también con las curvas obtenidas experimentalmente.

✓ Sin embargo la disminución de potencia no es detectada por el conductor que rara vez hace funcionar su motor a toda potencia.

Si el conductor de un vehículo que pisa bruscamente el acelerador solicitando un rápido aumento en la velocidad, escucha un golpeteo característico del autoencendido o de la detonación, llega a la

conclusión de que el combustible utilizado no es el apropiado, por supuesto esto es verdad, pero también concluye erróneamente que, la potencia de su vehículo es menor, que cuando él utiliza un combustible con número octano mayor. Se puede demostrar experimentalmente que la potencia generada con 2 combustibles líquidos esencialmente igual, siempre que no exista una combustión anormal, es decir no haya detonación autoencendido o golpeteo en ningún caso.

Al escuchar el golpeteo del motor, un conductor más o menos experimentado tomará las medidas necesarias para evitar las detonaciones, que podrían causar roturas en los pistones, anillos, etc. Generalmente disminuirá la cantidad de carga introducida al motor, - disminuyendo la aceleración, si esto no es posible a causa de los requerimientos del camino, entonces cambiará a una marcha más fuerte para generar esa misma potencia a una velocidad del motor mayor con el consiguiente incremento en el consumo que esto ocasiona.

Aunque haya una disminución de la potencia del motor por ciclo, esto trae la ventaja que las condiciones de funcionamiento son menos severas, porque la cantidad (en masa) de combustible es menor, puede observarse menor ruido en el motor.

Las pruebas fueron realizadas con la idea de utilizar gasolina o gas, razón por la cual las condiciones del motor fueron iguales en

las dos cosas. Aunque se ha hablado de un aumento en la razón de compresión, esto limita a utilizar el motor con un combustible de alto octanaje, de lo contrario existe el peligro expuesto anteriormente.

COSTO DE MANTENIMIENTO

En condiciones de arranque del motor, es decir cuando este se encuentra frío, y en los cilindros no hay una película de aceite que proteja el desgaste entre las partes metálicas entre una cantidad de mezcla relativamente fría, y rica con el objeto de compensar - aquella parte de combustible que se condensa en el colector y el cilindro, entonces en las primeras etapas de funcionamiento diluir el aceite lubricante empeorando las condiciones de desgaste. Tanto es así que el desgaste de un vehículo de ciudad es considerado tres veces mayor que un vehículo que realiza viajes largos, - por esta y otras razones.

Si se utiliza gas en cualquier condición este entrará y en ningún momento podría diluir el lubricante, en consecuencia es obvio pensar que las condiciones de desgaste son menos severas junto con las condiciones anteriormente expuestas, traerán un ahorro en el mantenimiento o desgaste del motor.

Ya que el aire y el G.L.P. son gases, se puede obtener una mezcla más homogénea, y en consecuencia una mayor eficiencia en la combustión generándose un menor consumo específico, una combustión más limpia con pocos residuos y una menor contaminación ambiental. El período de cambio de aceite lubricante deberá alargarse ya que se ensucia muy poco pero a causa de la oxidación deberá usarse aceite de menor viscosidad.

Finalmente, la velocidad de llama es mayor para mezclas cercanas a la estequiométrica, disminuyendo para mezclas más pobres, o más ricas que esta, el uso del gas permite mezclas más cercanas a la estequiométrica por tanto la velocidad de la llama es mayor y la combustión se termina dentro del cilindro, en caso contrario la combustión terminaría fuera de él con el peligro de quemar las bujías y válvulas de escape esto se notó claramente en el color rojizo que tomó el múltiple de escape cuando el motor funcionaba con gasolina y mezclas cercanas a la estequiométrica.

La alta velocidad de la llama permite que termine la combustión antes de que el período de inducción se completa disminuyendo las posibilidades de auto encendido.

Existen inconvenientes por el mal uso del gas que inciden en la marcha normal del motor.

Cuando el combustible (gas licuado) no es extraído en forma líquida significa que la vaporización se está realizando dentro de la botella, por lo que el gas necesita tomar una cantidad de calor que depende de la cantidad de líquido vaporizado, en este caso la vaporización es tal que provoca un descenso en la temperatura de la botella de gas, condensándose humedad ambiental en ella que luego se congela, esto es acompañado de una disminución en la presión anterior del cilindro, que hará que disminuya el flujo de gas, empobreciéndose la mezcla hasta provocar una marcha irregular acompañada de explosiones en el escape, si se disminuye la velocidad del motor la irregularidad disminuye o desaparece momentáneamente por obvias razones.

El gas licuado es una mezcla en proporciones variables de propano, butano, butileno, propileno, etc., pero sus mayores proporciones son propano y butano, y el propano tiene su punto de ebullición en -43.73°F (-42.07°C) y el butano en 31.1°F (-0.5°C) a presión atmosférica.

Esto indica que la vaporización se efectúe dentro de la botella primeramente saldrá el propano y luego el butano pudiendo causar irregularidad en la marcha, por sus diferentes condiciones de funcionamiento, estas dos razones son las que obligan a sacar el gas en forma líquida del fondo de la botella.

OBSERVACIONES

Es momento de discutir algunos detalles sobre el manejo del gas, con el propósito de aclarar asuntos de seguridad. Podría instalarse - en el vehículo un tanque o cilindro el cual tendría una conexión - para llenarse, otra forma sería utilizar los tanques de uso doméstico e industrial, se discuten a continuación los dos casos.

Para poder instalar definitivamente un tanque de gas en un vehículo se necesitaría disponer de estaciones que provean este combustible, para lo cual el llenado de gas deberían realizarlo personas con co nocimientos adecuados, capaces de comprender los riesgos del sobre llenado de los tanques, mal manejo, etc. En este caso la botella de gas podría ocupar el espacio del porta-equipaje, que por otra - parte se ve reducido.

Si se decide utilizar las botellas domésticas o industriales el - uso se vería limitado a camionetas y camiones, porque éstas bote llas tienen que usarse en forma invertida (por supuesto con un so porte adecuado) ya que de la botella deberá salir el gas en forma líquida y el espacio único disponible es el porta-equipaje en el cual no caben las botellas en esa posición.

Si un vehículo utiliza 20 galones de gasolina esto equivale aprox

madamente la misma cantidad en peso de gas.

SEGURIDAD

Si se llena un depósito fijo en el vehículo este debería ser llenado solamente hasta un cierto límite el cual deberá ser marcado para que en ningún caso pueda ser sobrepasado, para entender plenamente la razón de la anterior sentencia, se explica lo que sucede dentro del cilindro.

Cuando un cilindro es llenado como se puede observar en la figura 6.1., en donde se puede ver que en la parte superior hay gas y en la parte inferior de la botella líquida. Si la temperatura del cilindro y su conjunto sube, el nivel del líquido subirá, y parte de gas en estado líquido evaporizará y en consecuencia la presión aumentará, obsérvese la figura 6.2.

Por supuesto si la temperatura sube demasiado el nivel subirá, llegando al nivel del líquido a colmar el cilindro y en este moemnto es evidentemente peligroso, por razones obvias.

Por supuesto los cilindros son llenados hasta un límite tal que el aumento de temperatura no provoque esto, a no ser que sea intencio

nalmente calentado o se descuide su almacenamiento. Pero si es llenado por encima de ese límite el nivel de "completamente lleno de líquido" lo alcanzará a temperatura menor.

Si la temperatura baja, nuevamente parte del gas se condensará al viándose la presión y descendiendo el nivel de líquido.

De cualquier forma existe una válvula de alivio instalada en la línea de gas, hacía el exterior del vehículo, que una vez sobrepasada una cierta presión se abre aliviando de esta forma la presión.

La presión de trabajo de un cilindro de 14 kg es de 260 lbs/pulg². y de los 27 Kg 240 lbs/pulg², pero estos son comprobados a una pre sión de prueba; la presión de rotura es aproximadamente el doble - de la presión de prueba siendo de 1040 lbs/pulg². para el cilindro de 14 kg y 960 lbs/pulg² para el de 27 kg.

Naturalmente esto es asunto de las personas que construyen el equipo pero es importante saberlo, para que no se cometa imprudencias.

Fig. 6-1

Temperatura 1

Presión 1

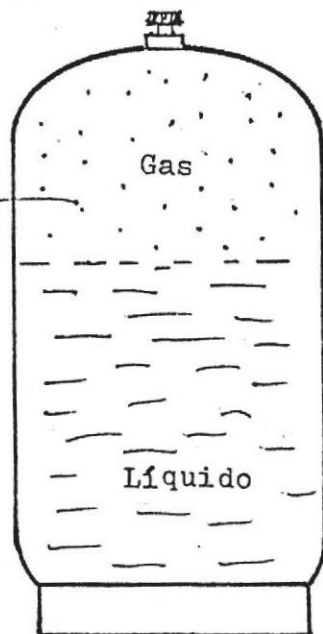
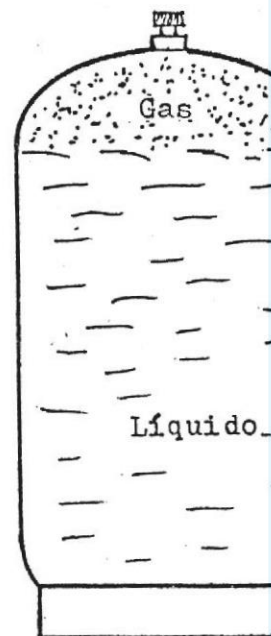


Fig. 6-2



$T2 > T1$

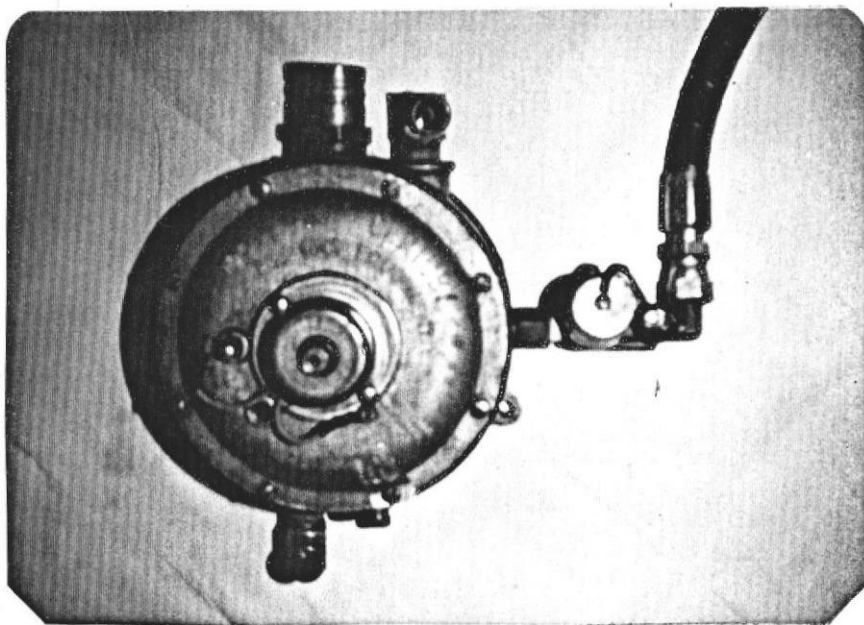
$P2 > P1$

Efecto de la temperatura del medio sobre el nivel de líquido y la presión interna del cilindro con gas licuado de petróleo.

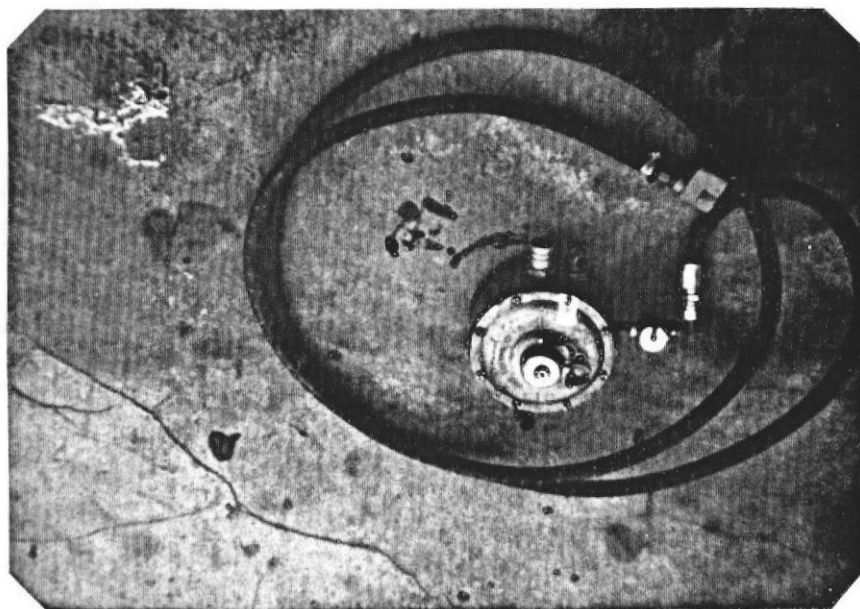
VII. APENDICE

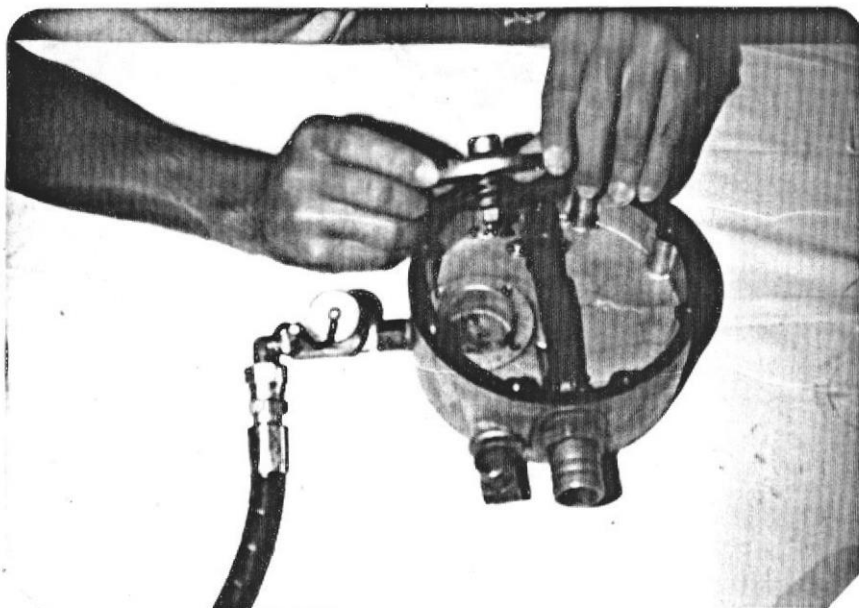
7.1. FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA 2

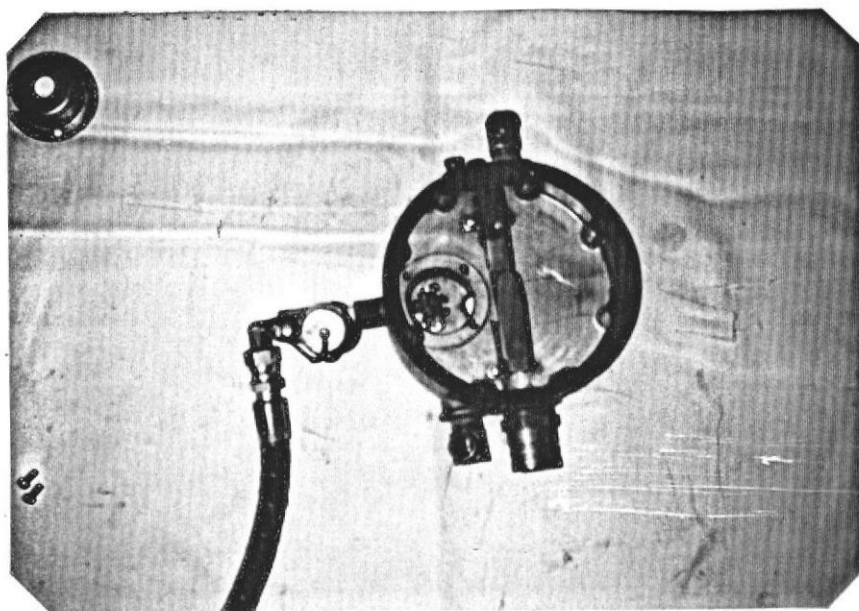


FOTOGRAFIA 1

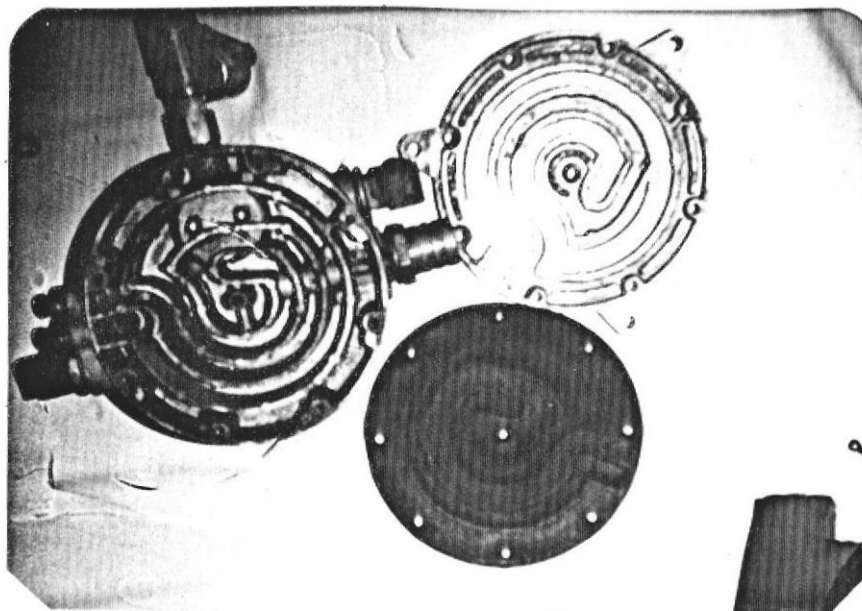




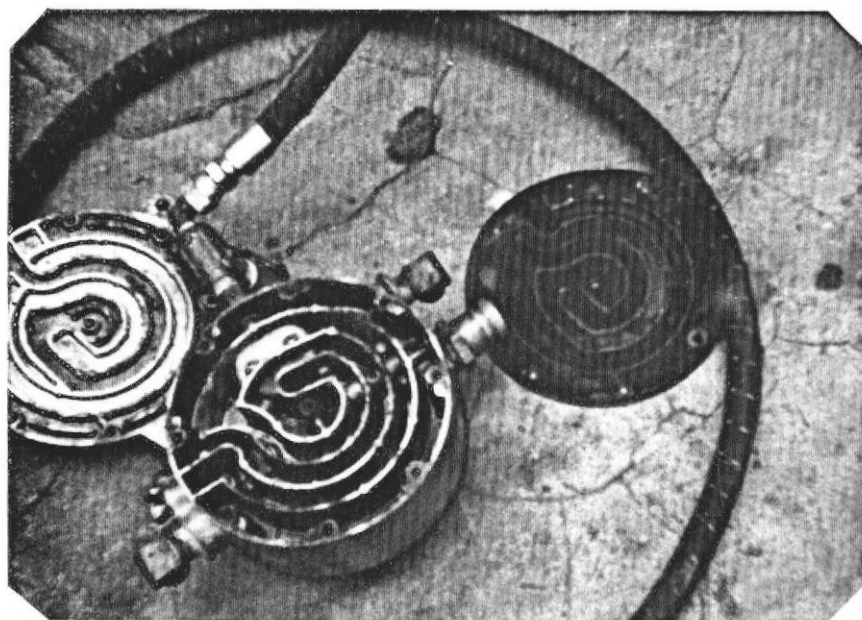
FOTOGRAFIA 3



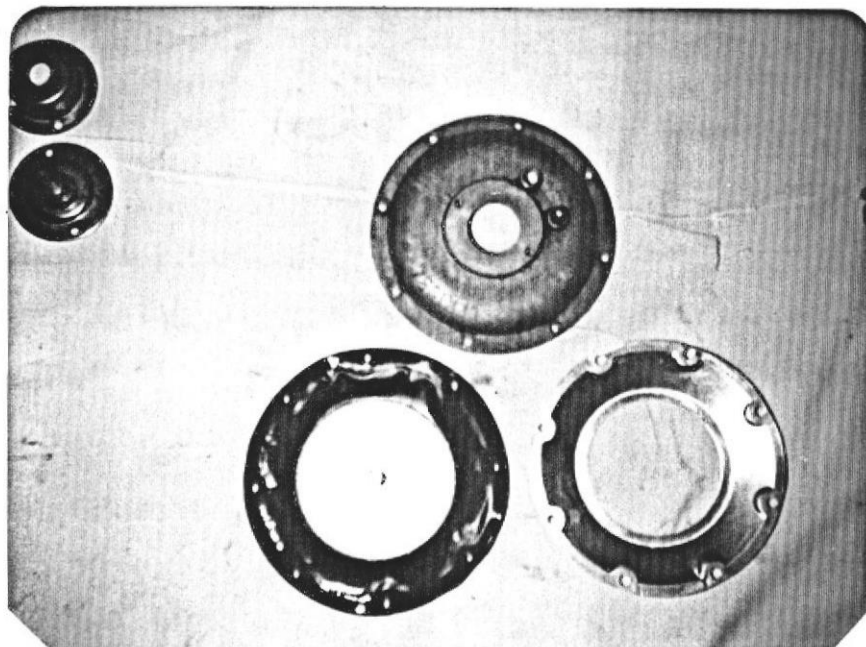
FOTOGRAFIA 4



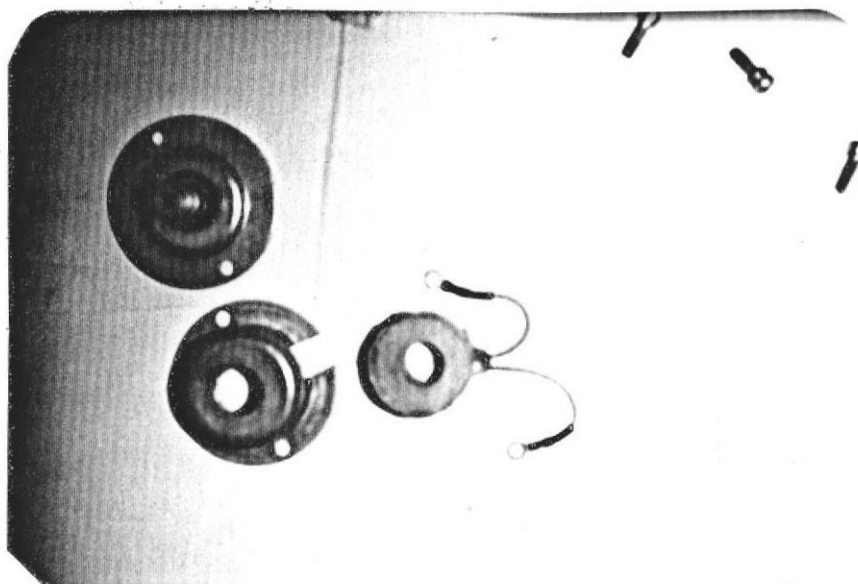
FOTOGRAFIA 5



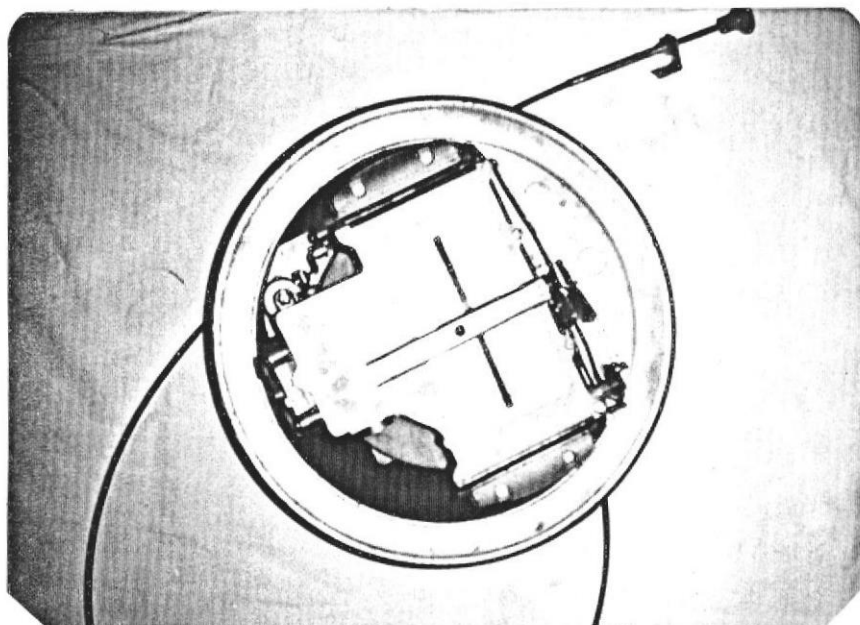
FOTOGRAFIA 6



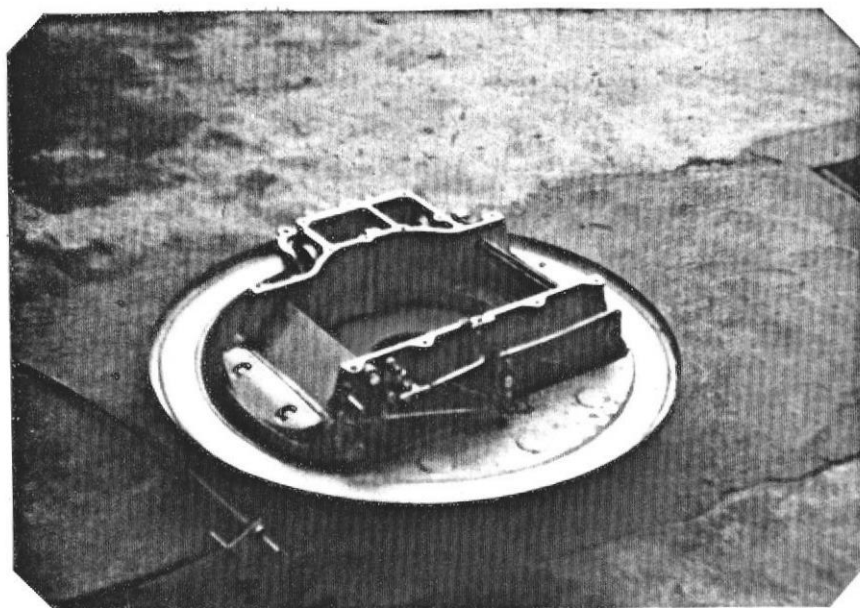
FOTOGRAFIA 7



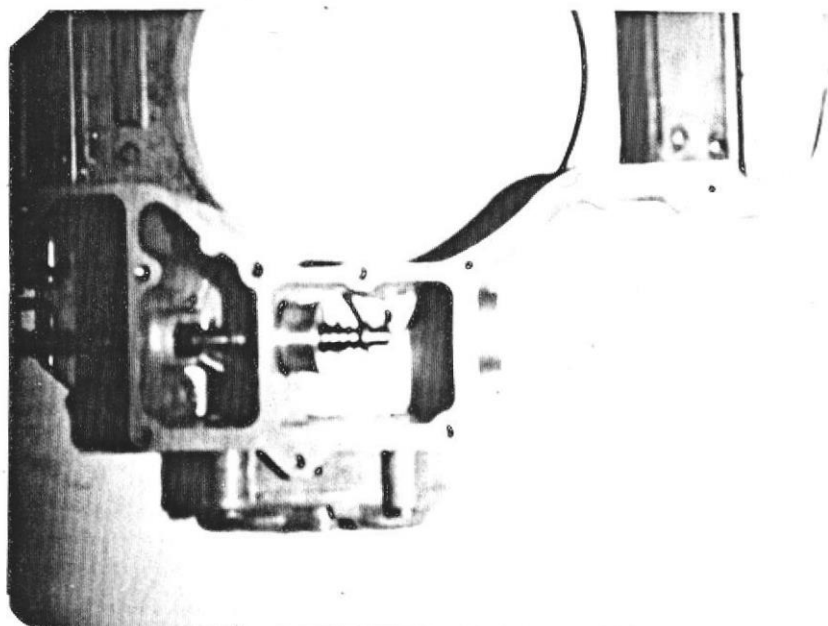
FOTOGRAFIA 8



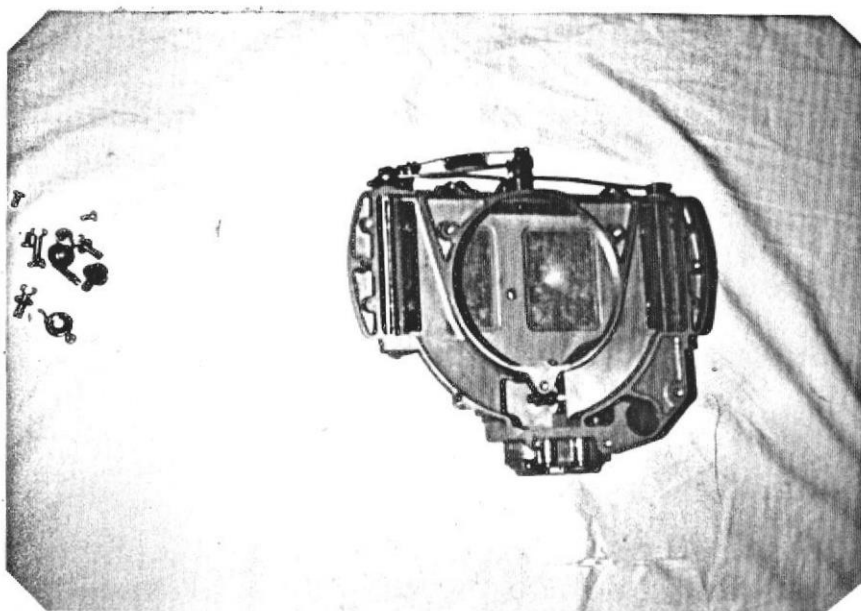
FOTOGRAFIA 9



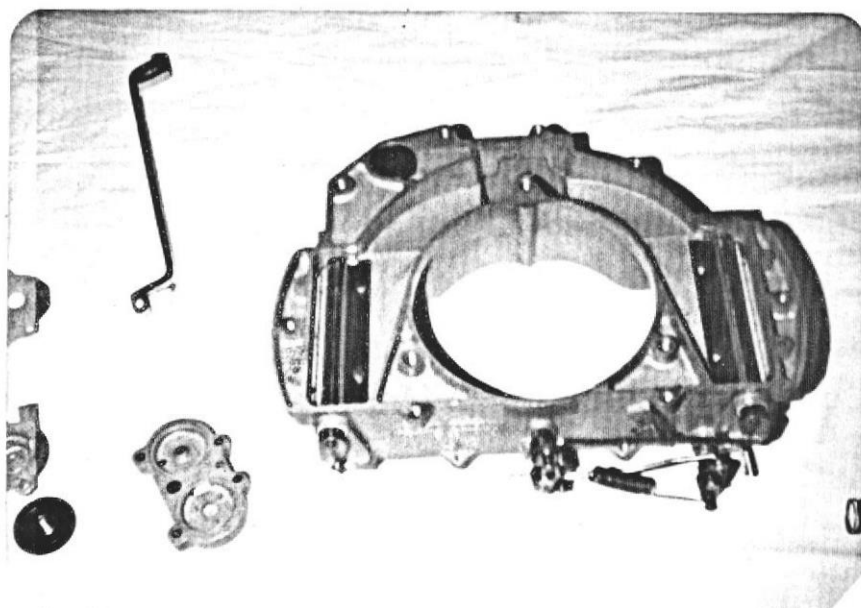
FOTOGRAFIA 10



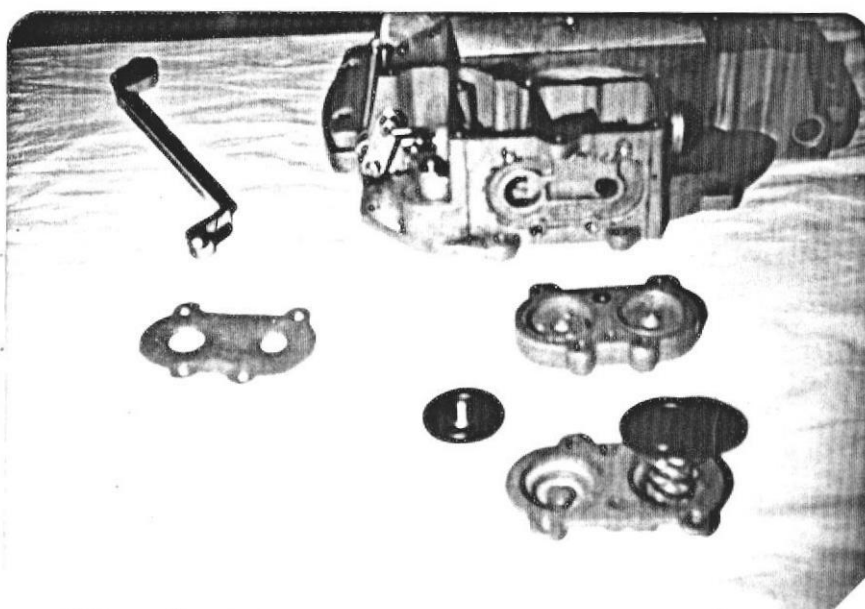
FOTOGRAFIA 11



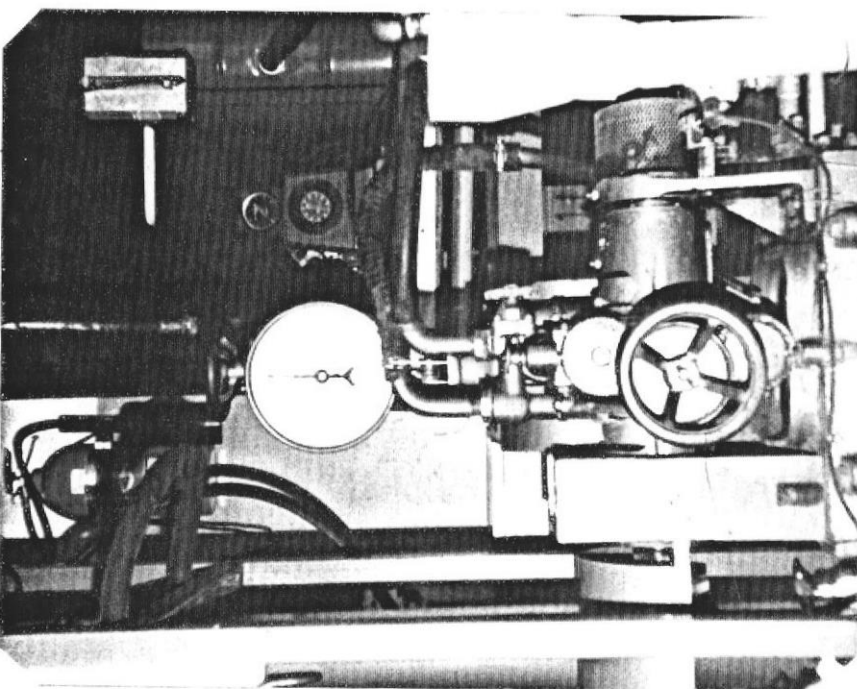
FOTOGRAFIA 12



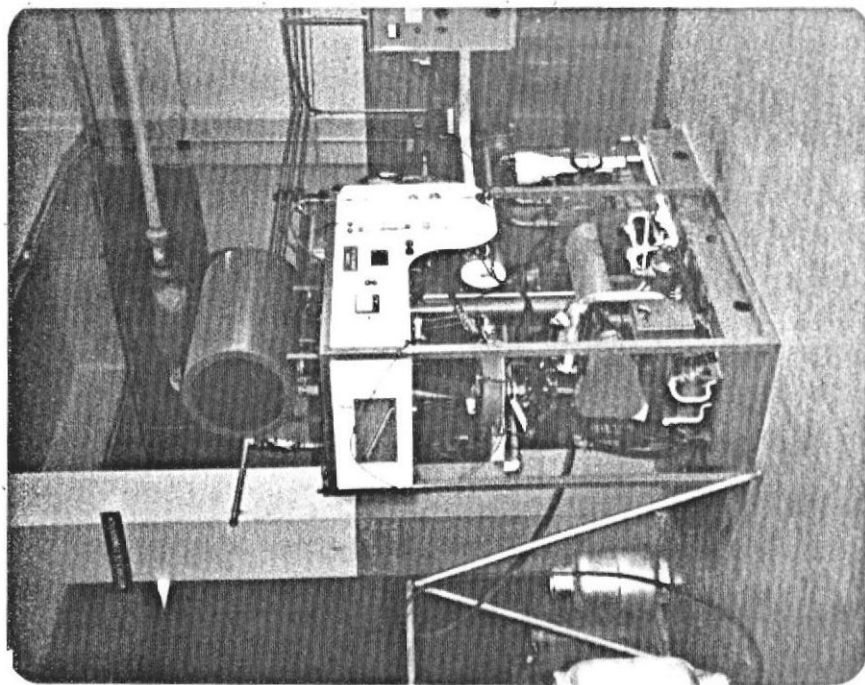
FOTOGRAFIA 13



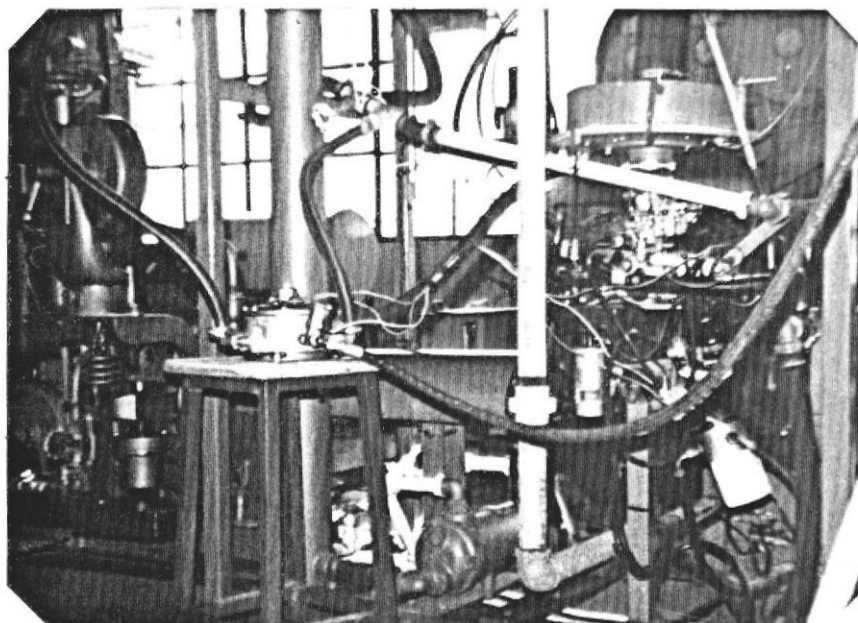
FOTOGRAFIA 14



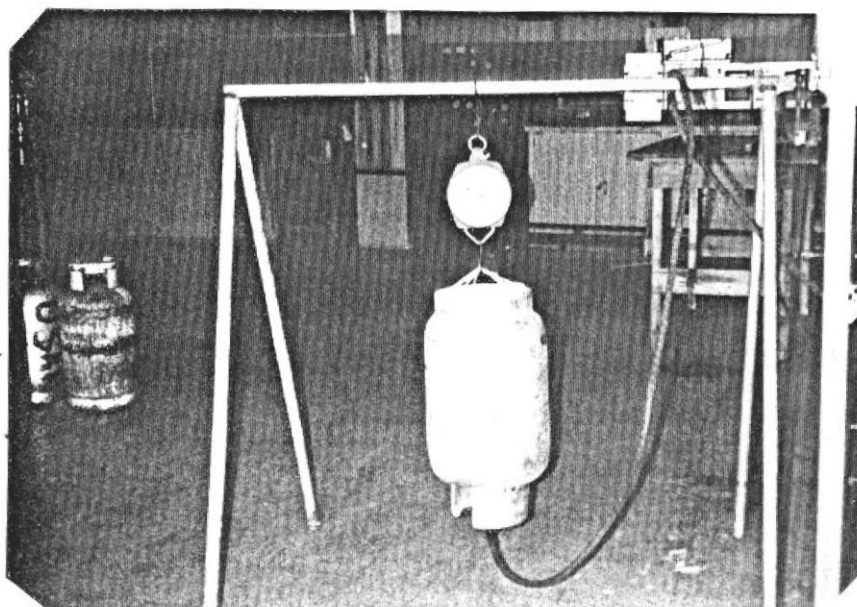
FOTOGRAFIA 15



FOTOGRAFIA 16



FOTOGRAFIA 18



FOTOGRAFIA 17

7.2. ANEXOS

En el presente capítulo se presentan los cálculos correspondientes a los ciclos teóricos que se presentan en la Tabla I, además las bases teóricas del ciclo aire-combustible y la utilización de las cartas C-1, C-2, C-3 y C-4.

CICLO IDEAL OTTO

Supóngase tener un motor con paredes aisladas termicamente en cuyos cilindros se desplace un pistón sin rozamiento, el motor es de cuatro tiempos y su desplazamiento volumétrico total es de 1298 centímetros cúbicos; entra aire al motor a 82°C y una presión de 0.984 Kg/cm^2 , luego se comprime hasta un volumen 9 veces menor; se añade calor instantáneamente en la medida correspondiente a la combustión estequiométrica para esa cantidad de aire admitida, el combustible quemado es C_8H_{18} iso-octano, peso molecular 114.2; densidad es 0.696 gr/cm^3 ; poder calorífico inferior es 10672 K cal/Kg relación aire-combustible es 15.1 a 1 y el motor trabajará a 4000 revoluciones por minuto (RPM).

Es perfectamente comprensible que el octano líquido ocupa un volumen despreciable dentro del cilindro puesto que entra en

finas gotas mezclado con aire, en todo caso el volumen está ocupado sólo por aire.

ADMISION

m = masa

p = presión

V = volúmenes

R = constante universal de los gases

T = temperatura en grados absolutos

El sub-índice a significa aire, y el sub-índice c, combustible.

La cantidad de aire que entra al cilindro será:

$pV = m R T$ para gases perfectos.

$$m_a = \frac{p_a \cdot V_a}{R_a \cdot T_a}$$

$$m_a = \frac{0.984 \text{ Kg/cm}^2 \times 1298 \text{ cm}^3 \times 0.01 \text{ m/cm}}{29.269 \frac{\text{Kg-m}}{\text{Kg}^\circ\text{K}} \times (82 + 273)^\circ\text{K}}$$

$$m_a = 1.2292 \times 10^{-3} \text{ Kg} \quad \text{en cada admisión}$$

PROCESO 1-2 COMPRESION ISENTROPICA

$$T_1 = 355^\circ\text{K}$$

$$p_1 = 0.984 \text{ Kg/cm}^2$$

$$K = 2.4$$

$$C_v = 0.1714 \text{ K cal/Kg}^\circ\text{K}$$

$$\gamma_e = 9$$

$$p_1 V_1^k = p_2 V_2^k$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{k-1/k}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1/k}$$

$$T_2 = 355 (9)^{0.4} = 854.92^\circ\text{K}$$

$$p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k$$

$$p_2 = 0.984 (9)^{1.4} = 21.33 \text{ Kg/cm}^2 \quad 965.$$

$$\Delta\mu = \mu_2 - \mu_1 = C_v (T_2 - T_1)$$

$$\Delta\mu = 0.1714 (854.92 - 355) = 85.69 \text{ K cal/Kg aire}$$

COMBUSTION

$$A/C = 15.1 = m_a/m_c$$

Q_c = poder calorífico bajo del combustible

Q_a = calor añadido en cada combustión

Q'_a = calor añadido por cada kilogramo de aire que entra al motor.

$$Q_a = m_c Q_c$$

$$Q_a = \frac{1.2292 \times 10^{-3}}{15.1} \times 10672 = 13118 \text{ K cal}$$

$$Q'_a = \frac{Q_c}{A/C}$$

$$Q'_a = \frac{10672 \text{ K cal/Kg combustible}}{15.1 \text{ Kg aire/Kg combustible}}$$

$$Q'_a = 706.75 \text{ K cal/ Kg aire}$$

PROCESO 2-3 A VOLUMEN CONSTANTE

$$Q = \Delta u = C_v (T_3 - T_2)$$

$$T_3 = \frac{Q_{a1}}{C_v} + T_2$$

$$T_3 = \frac{706.75 \text{ K cal/Kg}}{0.1714 \text{ K cal/Kg}^\circ\text{K}} + 854.92^\circ\text{K}$$

$$T_3 = 4978^\circ\text{K}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3}{p_2} \quad p_3 = \frac{4978}{854.92} \times 21.33$$

$$p_3 = 124.20 \text{ Kg/cm}^2$$

PROCESO 3-4 EXPANSION ISENTROPICA

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{k-1/k}$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$$

$$T_4 = 4978 (1/9)^{0.4}$$

$$T_4 = 2058 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$p_4 = p_3 \left(\frac{T_4}{T_3} \right)^{k/k-1}$$

$$p_4 = 124.20 \left(\frac{2058}{4978} \right)^{1.4/0.4}$$

$$p_4 = 5.64 \text{ Kg/cm}^2$$

Los gases en el escape tendrán presión atmosférica (1.033 Kg/cm^2) y la siguiente temperatura (T_5)

$$\frac{T_5}{T_4} = \left(\frac{p_5}{p_4} \right)^{k-1/k}$$

$$T_5 = 2058 \left(\frac{1.033}{5.64} \right)^{0.4/1.4} = 1267^\circ\text{K}$$

El calor rechazado será (a volumen constante)

$$Q_r = C_v (T_4 - T_1)$$

$$Q_r = 0.1714 (2058 - 355) = 292 \text{ K cal/Kg}$$

El trabajo neto será (W_n)

$$W_n = Q'_a - Q_r$$

$$W_n = (706.75 - 292) = 414.75 \text{ K cal/Kg.}$$

La eficiencia térmica será (η_t)

$$\eta_t = \frac{W_n}{Q'_a} = \frac{414.75}{706.75} = 0.5868$$

La potencia que genera el motor a 4000 RPM

$$Pot = \dot{m}_a W_n$$

$$\dot{m}_a = 4000 \frac{\text{Rev}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ ciclo}}{2 \text{ Rev.}} \times 1.2292 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{ciclo}} = 2.4584 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

$$Pot = 2.4584 \frac{\text{kg}}{\text{min}} \times 414.75 \frac{\text{K cal}}{\text{kg}} \times \frac{1 \text{ Kw} \cdot \text{hr}}{860 \text{ K cal}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}$$

$$Pot = 71.136 \text{ Kw}$$

El consumo específico de combustible (C.E.C.)

$$M_c = \frac{M_a}{15.1} = 0.1628 \text{ Kg/min}$$

$$C E C = 0.162 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1}{71.14 \text{ Kw}}$$

$$C E C = 0.138 \text{ Kg/Kw} - \text{hr}$$

CICLO DE AIRES CON CALORES ESPECIFICOS VARIABLES

Se dan a continuación los cálculos para este ciclo, utilizando las tablas de Keenan y Kaye las condiciones de entrada son iguales y para el mismo valor.

CONDICIONES DE ENTRADA

$$T_1 = 355 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$p_1 = 0.984 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\gamma_c = 9$$

PROCESO ISENTROPICO i-2

Para $T_1 = 355$ obtenemos de la tabla de Aire a bajas presiones

$$\eta_1 = 85.05$$

$$p_{r1} = 2.514$$

$$u_1 = 60.67$$

$$v_{r1} = 94.30$$

$$\phi = 0.64159$$

$$\frac{v_{r2}}{v_{r1}} = \frac{v_2}{v_1}$$

$$v_{r2} = v_{r1} \left(\frac{v_2}{v_1} \right)$$

$$v_{r2} = 94.30 (1/9) = 10.48$$

Con el valor de $v_{r2} = 10.48$ interpongamos en la tabla el resto de valores.

T	p_r	μ	V_r
811	50.34	143.63	10.743
822	53.04	145.80	10.336
-11	-2.7	-2.17	0.407
X	X	X	0.144
T_2	$\bar{p}_{r2}$	μ_2	V_{r2}
818	52.08	145.03	10.48

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_{r2}}{p_{r1}}$$

$$p_2 = 0.984 \left(\frac{52.08}{2.514} \right)$$

$$p_2 = 20.38 \text{ Kg/cm}^2$$

COMBUSTION

La cantidad de calor añadido es igual que en el caso anterior por -

tanto:

$$Q_a = 13.118 \text{ Kcal/ciclo}$$

$$M_a = 1.2292 \times 10^{-3} \text{ Kg/ciclo}$$

$$Q'_a = 706.75 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg aire}}$$

$$M_c = \frac{m_a}{15.1}$$

$$\mu_3 = \mu_2 + Q'_a$$

$$\mu_3 = 145.03 + 706.75$$

$$\mu_3 = 851.78 \text{ Kcal/Kg}$$

Extrapolamos en la tabla con este valor:

T	p _r	μ	v _r
=====			
3333	20120	717.22	0.11047
3611	28974	784.93	0.08310

278	8854	67.71	-2.737x10 ⁻²
X	X	66.85	X

T ₃	p̄ _{r3}	μ ₃	v _{r3}
3885	37715	851.78	0.05608

LEY DE CHARLES

$$p_3 = p_2 \left(\frac{T_3}{T_2} \right)$$

$$p_3 = 20.38 \left(\frac{3885}{818} \right) = 96.79 \text{ Kg/cm}^2$$

EXPANSION ISENTROPICA

$$\frac{v_{r4}}{v_{r3}} = \gamma_c$$

$$v_{r4} = 9(0.05608)$$

$$v_{r4} = 0.50472$$

Interpolamos:

T	p_r	μ	v_r
19 44	1829.3	388.04	0.7087
2222	3280.0	452.25	0.4518
-278	-1450.7	-64.21	0.2569
X	X	X	5.29×10^{-2}
T_4	p_{r4}	μ_4	v_{r4}
2164.8	2981.3	439.03	0.5047

$$p_4 = p_3 \left(\frac{p_{r4}}{p_{r2}} \right)$$

$$p_4 = 96.76 \left(\frac{2981.3}{37715} \right) = 7.65 \text{ Kg/cm}^2$$

Si se expande hasta la presión atmosférica tenemos:

$$p_5 = 1.033 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{p_5}{p_4} = \frac{p_{r5}}{p_{r4}}$$

$$p_{r5} = p_{r4} / p_5/p_4$$

$$p_{r5} = 2981.3 (1.033/7.60)$$

$$p_{r5} = 402.57$$

Con este valor se interpola en la tabla

T	p _r
1361	400.05
1389	435.7
28	35.62
X	2.52
T ₅	
1363	

$$Q'_a = 706.75 \quad \text{Kcal/Kg}$$

$$Q_r = \mu_4 - \mu_1 = 439.03 - 60.67 = 378.36 \quad \text{Kcal/Kg}$$

$$W_n = Q'_a - Q_r = 706.75 - 378.36 = 328.39 \quad \text{Kcal/Kg.}$$

La cantidad de aire que ingresa es igual que en el caso anterior y tenemos:

$$P_{ot} = 2.4584 \text{ Kg/min} \times 328.39 \text{ Kcal/Kg} \times \frac{1 \text{ Kw} - \text{hr}}{860 \text{ Kcal}} \times$$

$$\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr.}}$$

$$P_{ot} = 56.32 \text{ Kw}$$

$$\eta_t = \frac{W_n}{Q_a} = \frac{328.39}{706.75} = 0.4646$$

$$C E C = \frac{0.16281 \text{ Kg/min}}{56.32 \text{ Kw}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr.}}$$

$$C E C = 0.173 \text{ Kg/Kw-hr}$$

CICLO DE AIRE CON CALORES ESPECIFICOS EN FUNCION DE LA TEMPERATURA
Y EL USO DE UN COMBUSTIBLE GASEOSO

Este ciclo es similar al anterior pero con un combustible gaseoso, con el propósito de observar las diferencias en el funcionamiento. Se supone que el combustible es una mezcla de propano y butano al 50 %.

PROPANO C_3H_8 Peso molecular = 44.06

Poder calorífico inferior = 11146 Kcal/Kg.

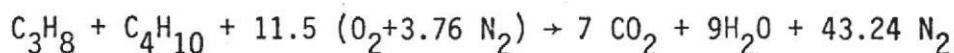
Relación aire - combustible estequiométrica A/C = 15.6

BUTANO C_4H_{10} peso molecular = 58.1

Poder calorífica inferior 11026 Kcal/Kg.

Relación aire-combustible estequiométrica A/C = 15.4

Reacción de combustión:



1 MOL + 1 MOL + 54.74 MOLES $\rightarrow$ 7 MOL + 9 MOL + 43.24 MOLES

Relación aire - combustible en Volumen $(A/C)_v$

Será:

$$(A/C)_v = 54.74/2 = 27.37$$

En este caso, el volumen que ocuparía el gas dentro del cilindro - no es despreciable como el caso del combustible líquido por tanto - supongase que:

V_c = volumen del cilindro ocupado por el combustible

V_a = volumen del cilindro ocupado por el aire.

$$V_a + V_c = 1298 \text{ cm}^3$$

$$\frac{V_a}{V_c} = 27.37 = (A/C)_v$$

$$V_a = 27.37 (1298 - V_a)$$

$$28.37 V_a = 27.37 \times 1298$$

$$V_a = 1252.25 \text{ cm}^3$$

$$V_c = 45.75 \text{ cm}^3$$

Supongase que el aire y el gas entrarían al motor a la misma temperatura.

$$p_1 = 0.984 \text{ Kg/cm}^2$$

$$T_1 = 355 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$R = 29.269 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$p V = mRT \quad \text{para gases ideales}$$

$$m_a = \frac{0.984 \text{ Kg/cm}^2 (1252.25 \text{ cm}^3) \times 0.01 \text{ m/cm}}{29.269 \text{ Kg-m/Kg}^\circ\text{K} \times 355^\circ\text{K}}$$

$$m_a = 1.1859 \times 10^{-3} \text{ Kg aire/ciclo}$$

a 4000 RPM la cantidad de aire será

$$\dot{m}_a = 1.1859 \times 10^{-3} \text{ Kg/ciclo} \times 4000 \text{ Rev/min} \times 1 \text{ ciclo/2 Rev.}$$

$$m_a = 2.3718 \text{ Kg/min}$$

$$m_c = \frac{m_a}{15.51} = 0.15292 \text{ Kg/min}$$

Las condiciones de entrada y las del final, de la compresión son exactamente iguales al caso anterior:

$$T_1 = 355^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 818^\circ\text{K}$$

$$p_{r1} = 2.514$$

$$p_{r2} = 52.08$$

$$\mu_1 = 60.67 \text{ Kcal/Kg aire}$$

$$\mu_2 = 145.03$$

$$V_{r1} = 94.30$$

$$V_{r2} = 10.48$$

$$p_2 = 20.38 \text{ Kg/cm}^2$$

COMBUSTION

Se toma el valor medio de los poderes caloríficos bajos de los dos gases componentes en igual forma la relación aire-combustible estequiométrica.

$$Q_c = 11086 \text{ Kcal/Kg}$$

Calor añadido

$$Q_a = P_c / A/C$$

$$Q_a = \frac{11086 \text{ K cal/Kg combustible}}{15.51 \text{ Kg aire / Kg combustible}}$$

$$Q_a = 714.76 \text{ K cal/ Kg aire.}$$

$$\mu_3 = \mu_2 + Q_a$$

$$\mu_3 = 145.03 + 714.76 = 859.79 \text{ Kcal/Kg aire}$$

Con este valor se extrapola en la tabla

T	p _r	μ	v _r
=====			
3333	20120	717.22	0.11047
3611	28974	784.93	0.08310
.....			
278	8854	67.71	2.737 x 10 ⁻²
x	x	74.86	x
.....			
T ₃	p _{r3}	μ ₃	v _{r3}
3918	38763	859.79	0.05284
.....			

$$p_3 = p_2 \left(\frac{T_3}{T_2} \right) \quad \text{LEY DE CHARLES}$$

$$p_3 = 20.38 \left(\frac{3918}{818} \right)$$

$$p_3 = 97.61 \text{ Kg/cm}^2$$

EXPANSION ISENTROPICA

$$v_{r4} = v_{r3} \left(\frac{v_4}{v_3} \right)$$

$$v_{r4} = 0.5284 \quad (9)$$

$$v_{r4} = 0.47556$$

Interpólese este valor en la Tabla.

T	p_r	μ	v_r
=====			
1944	1829.3	388.04	0.7047
2222	3280.0	452.25	0.4518

278	1450.7	64.21	-0.2569
X	X	X	2.38×10^{-2}

T_4	p_{r4}	μ_4	v_{r4}
2196	3145.6	446.30	0.4756

$$\frac{p_4}{p_3} = \frac{p_{r4}}{p_{r3}}$$

$$p_4 = p_3 \left(\frac{p_{r4}}{p_{r3}} \right)$$

$$p_4 = 97.61 \left(\frac{3145.6}{38763} \right)$$

$$p_4 = 7.92 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

Si los gases se expanden hasta la presión atmosférica se tiene:

$$\frac{p_5}{p_4} = \frac{p_{r5}}{p_{r4}}$$

$$p_{r5} = 3145.6 \left(\frac{1.033}{7.92} \right)$$

$$p_{r5} = 410.28$$

De la tabla con este valor se tiene:

T	p_r
1361	400.5
1389	435.7
28	35.2
X	9.78
+5	
1369	

$$Q_r = u_4 - u_1 = 446.30 - 60.67 = 385.63 \text{ K cal/Kg}$$



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL BIBLIOTECA CENTRAL

HOJA DE TRABAJO PARA DESCRIPCION DE TESIS

1. NOMBRE DEL ARCHIVO ESPOL _____ 2. NUMERO DE ACCESO _____
3. UBICACION FISICA ESPOL - BC % T 697.93% R621% C.2
4. TIPO DE LITERATURA T _____ 5. NIVEL BIBLIOGRAFICO m _____ 6. NIVEL DE REGISTRO m _____
7. NOMBRE CENTRO PARTICIPANTE EC - ESPOL - BC _____
8. NUMERO CONTROL CENTRO PARTICIPANTE 593-3111000-00040 _____

NIVEL MONOGRAFICO

16. AUTOR PERSONAL % Pizarro Vásquez, Jorge Eduardo % Martínez, Ernesto
18. TITULO Implementación del programa de mantenimiento de equipos climatizadores de una cadena de Supermercados.
20. PAGINAS p 90 p. 21. NUMERO DE VOLUMEN _____

DATOS DE EDICION

38. EDITORIAL Espol. Fac. de Ing. Mecánica
39. CIUDAD DE LA EDITORIAL Guil 40. PAIS EDITORIAL EC _____
42. INFORMACION DESCRIPTIVA plus
43. FECHA DE PUBLICACION 19 91

TESIS

22. DIRECTOR DE TESIS Martínez Lezano, Ernesto
50. INSTITUCION ESPOL _____
51. GRADO ACADEMICO Ing. Mecánica

INFORMACION COMPLEMENTARIA

68. NOTAS Informe Técnico: Ing. Mecánica

ANALISIS DE CONTENIDO

73. NUMERO DE REFERENCIAS _____
76. DESCRIPTORES: CONTENIDO TEMATICO AIRE ACONDICIONADO // ATMOSFERAS CONTROLADAS // DISEÑO // VENTILACION // MANTENIMIENTOS // EQUIPOS CLIMATIZADOS
80. CATEGORIA TEMATICA PRIMARIA (CP-TEC) _____
81. CATEGORIA TEMATICA SECUNDARIA (CS ING. MECANICA) (CS-) _____

ANALISIS DE CONTENIDO

72. RESUMEN Trata principalmente del mantenimiento de los equipos acondicionadores de aire de la cadena de supermercados "El COMISARIATO". Se divide en dos departamentos con el fin de planificar y organizar la reparación de los equipos climatizadores en todas sus sucursales. Con el objeto de disminuir el costo de mantenimiento y aumentar el cliente. Continuando su trabajo aplicando una reparación completa a los equipos y prioridades.

INFORMACION ADICIONAL

90. CONTROL FECHAS DE PROCESAMIENTO /

$$Q_a = 714.76 \text{ K cal/Kg}$$

$$W_n = Q_a - Q_r = 714.76 - 385.63 = 329.13 \text{ K cal}$$

$$\eta_t = \frac{W_n}{Q_a} = \frac{329.13}{714.76}$$

$$\eta_t = 0.4605$$

$$Pot = 2.3718 \frac{\text{Kg aire}}{\text{min}} \times 329.3 \frac{\text{K cal}}{\text{Kg}} \times \frac{1 \text{ Kw} \cdot \text{hr}}{860 \text{ K cal}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}$$

$$Pot = 54.46 \text{ Kw}$$

$$m_c = \frac{2.3718 \text{ Kg aire/min}}{15.51 \text{ Kg aire/Kg combus.}} = 0.15292 \frac{\text{Kg comb}}{\text{min}}$$

$$C E C = \frac{m_c}{Pot} = \frac{0.15292 \text{ Kg com/min}}{54.46 \text{ Kw}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}}$$

$$C E C = 0.168 \text{ Kg/Kw-hr}$$

7.3. CICLO TEORICO COMBUSTIBLE - AIRE

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL FLUIDO ACTUAL DE TRABAJO: Al -
empezar la compresión, el aire atmosférico constituye la mayor
porción del fluido de trabajo en todos los tipos de motores de
combustión interna. En motores reciprocantes, al empezar la
carrera de admisión el cilindro contiene siempre una cierta frac-
ción de gases residuales, esto es, sobrante de la combustión an-
terior. Si el combustible es suministrado por un carburador o su
equivalente, el aire también contiene combustible al cual puede
estar en forma gaseosa o líquida, o parcialmente en las dos fa-
ses. Muchos diferentes combustibles y muchas razones aire-com-
bustible pueden ser usadas en cada tipo de motor. Considerando
esto para presentar las características termodinámicas del fluí-
do de trabajo sería una tarea inmensa.

Afortunadamente podemos simplificar el problema considerando el
aire y los combustibles más usuales y haciendo ciertas asuncio-
nes que simplifican el procedimiento sin introducir errores nu-
méricos serios.

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE AIRE SECO: La carta C-1, nos da
las propiedades termodinámicas del aire sobre los 2500°R. Como
se explicará más tarde las escalas auxiliares sobre uno de los

lados de la carta pueden ser usados para obtener las características termodinámicas de las mezclas octano gaseoso aire y sus productos de combustión, y el aire conteniendo vapor de agua. La masa base de c-1 es 1 lbm-mol de gas. La base termodinámica asigna cero a la energía interna del aire a 560°R. Los simbolos usados en la carta C-1 son definidos como siguen:

p = presión en psia.

T = temperatura en grados Rankine

V = volumen de 1 lb-mol en pies cúbicos

C_v = calor específico a volumen constante, BTU/lbm. R.

m = peso molecular

$E^\circ = m \int_{560}^T C_v. dT$ = energía interna sobre 560°R. en BTU/lb - mol.

$H^\circ = E^\circ + pV^\circ/J$ = entalpia, BTU/lb - mol

S° = entropía, BTU/lb - mol°R

Para aire seco, E° y H° se leen a lo largo de las líneas donde F_r la relación aire-combustible relativa; y f , fracción de gases residuales son cero.

El uso de la base cero de energía interna a 560°R, dá una entalpia cero a 397°R. para aire seco.

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE LOS COMBUSTIBLES: La mayoría de los combustibles comunes para motores de combustión interna son derivados del petróleo y consisten de mezclas de diferentes hidrocarburos. La composición exacta de tales combustibles es variada, y en la mayoría de los casos no es conocida exactamente. Sin embargo, para la mayoría de propósitos las características termodinámicas de los combustibles del petróleo pueden ser satisfactoriamente representadas por simples hidrocarburos que tienen el mismo peso molecular y la misma razón carbón hidrógeno. Así para cálculos termodinámicos del C_8H_{16} (Octano) puede tomarse como representativo de la gasolina. En la práctica los combustibles pueden ser usados en estado líquido o gaseoso, por tanto sus propiedades en cada uno de los estados deben ser consideradas.

PROPIEDADES SENSIBLES DE LOS COMBUSTIBLES: Cuando los combustibles son usados en asociación con el aire, la posibilidad de una liberación de energía por una reacción química está siempre presente.

Sin embargo, siguiendo con el proceso de mezcla y compresión de la mezcla combustible aire ha sido conveniente excluir la reacción química basando las propiedades termodinámicas sobre la composición de el combustible antes de la reacción. La base -

usada aquí para este propósito asigna cero a la energía interna al combustible en estado gaseoso y no combustionado a 560°R.

Las propiedades calculadas en esta base serán llamadas propiedades sensibles para distinguirlas de las propiedades calculadas a partir de la base en la cual se incluye la reacción química. Las propiedades sensibles serán designadas por el subíndice excepto para las propiedades que tienen como base una mol. Todas las propiedades dadas en la carta C-1 son sensibles.

Usando la base justamente definida, la entalpía y energía interna sensibles por unidad de masa de combustible se dan por medio de las siguientes relaciones:

Para combustibles gaseosos

$$E_{sf} = \int_{560^{\circ}}^T C_v \cdot dT \quad (7.1)$$

$$H_{sf} = E_{sf} + pV/J \quad (7.2)$$

Para combustibles líquidos

$$(E_{sf})_1 = E_{sf} + E_{lg} \quad (7.3)$$

$$(H_{sf})_1 = H_{sf} + H_{lg} \quad (7.4)$$

Donde:

C_v = calor específico para un combustible gaseoso a volumen - constante;

E_{sf} = energía interna sensible por unidad de masa de combustible gaseoso a temperatura T ;

H_{sf} = entalpía sensible por unidad de masa de combustible gaseoso;

E_{lg} = energía interna por unidad de masa de combustible líquido menos su energía interna en estado gaseoso;

H_{lg} = entalpía por unidad de masa de combustible líquido menos su entalpía en estado gaseoso;

y el subíndice l indica estado líquido.

La figura 7.1 da los valores de H_{sf} para octano líquido y gaseoso a varias temperaturas.

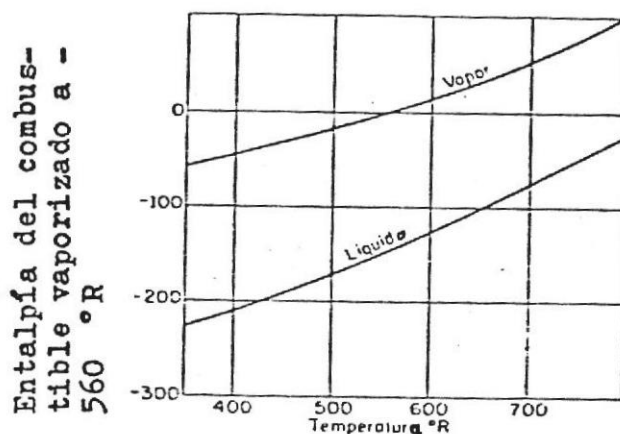


Fig. 7.1.

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE MEZCLAS COMBUSTIBLE-AIRE ANTES DE LA COMBUSTION

Las propiedades termodinámicas de las mezclas combustible-aire dependerán de las siguientes características:

1. Composición del combustible
2. Razón combustible - aire.
3. Contenido de vapor de agua.
4. Contenido de gases residuales.

En general cartas separadas serían necesarias para cada una de las combinaciones de las cantidades ya mencionadas. Sin embargo, introduciendo aproximaciones apropiadas es posible hacer una sola carta que cubra un considerable rango de estos valores.

Siguiendo con tales mezclas las siguientes definiciones serán - usadas:

F = relación en masa combustible a aire seco;

F_c = relación estequiométrica combustible - aire;

F_r = F/F_c fracción gas residual, definida como la razón de masas

gas residual a la masa de aire seco más combustible más -
gas residual.

h = razón de masa de vapor de agua a aire seco.

De las relaciones precedentes,

$$F = F_r + F_c \quad (7.5)$$

y dado que:

$$M = M_a + M_f + M_r + M_v \quad (7.6)$$

Las siguientes pueden ser derivadas:

$$\frac{M_a}{M} = \frac{1 - f}{1 + F + h(1 - f)} \quad (7.7)$$

$$\frac{M_f}{M} = \frac{F(1 - f)}{1 + F + h(1 - f)} \quad (7.8)$$

$$\frac{M_r}{M} = \frac{f(1 + F)}{1 + F + h(1 - f)} \quad (7.9)$$

$$\frac{M_v}{M} = \frac{h(1 - f)}{1 + F + h(1 - f)} \quad (7.10)$$

Donde M es la masa total de la mezcla gaseosa y los subíndices a , f , r y v se refieren a aire, combustible, gas residual y vapor de agua respectivamente.

Puesto que el número total de moles N es igual a la suma de las moles de cada constituyente.

$$N = N_a + N_f + N_r + N_v \quad (7.11)$$

De esto se sigue que:

$$N = \frac{M_a}{29} + \frac{M_f}{m_f} + \frac{M_r}{m_r} + \frac{M_v}{18} \quad (7.12)$$

El peso molecular de la mezcla es la masa total dividida para el número de moles. Dividiendo la Eq. 7.6, para la ecuación 7.12 y substituyendo las masas dadas por las Eqs. 7.7 a la 7.10 tenemos que:

$$m = \frac{M}{N} = \frac{1 + F + h(1-f)}{(1/29 + F/m_f + h/18)(1-f) + f(1+F)/m_r} \quad (7.13)$$

Donde N es el número de moles y m es el peso molecular en cada caso. Puesto que $N = 1$ en la carta C-1, el peso molecular y

la masa de la mezcla en esa figura están dados por la ecuación 7.13. El peso molecular del octano es 112, y el peso molecular de la mezcla octano -aire seco quemado y no quemado están dados en la figura 7.2.

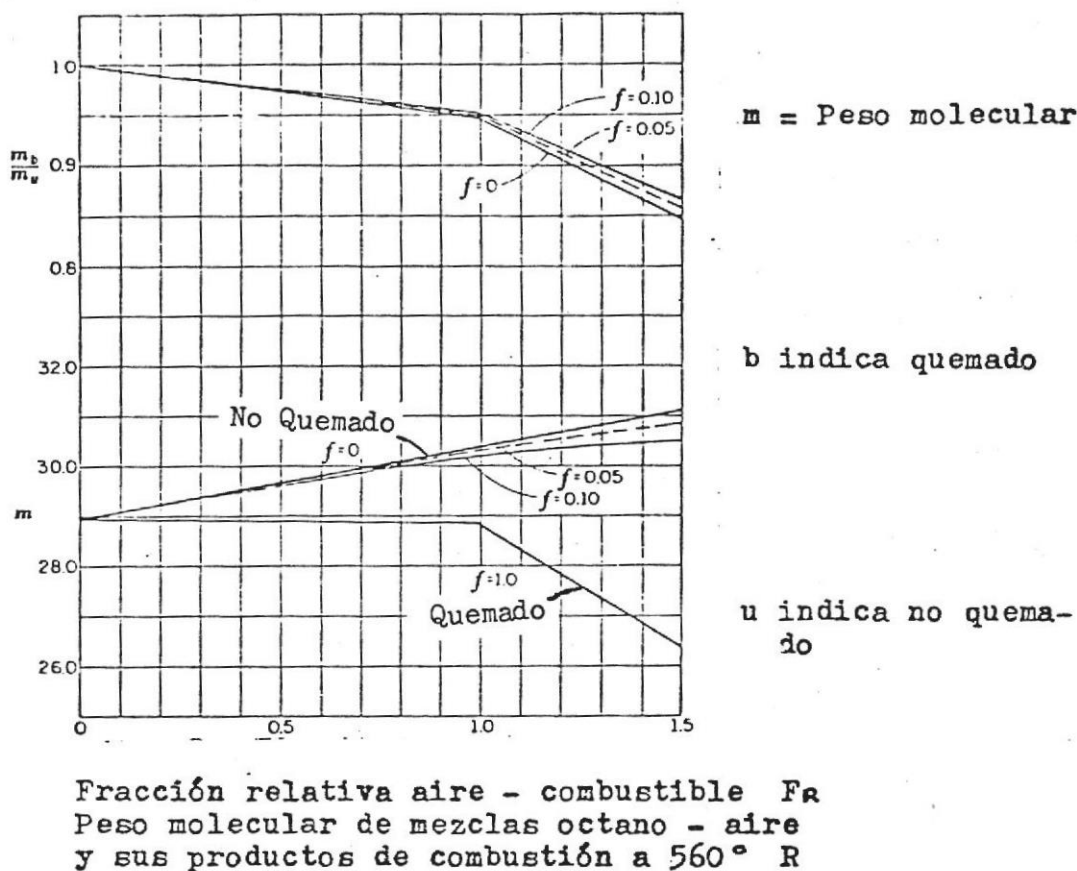


Fig. 7.2

Puesto que la energía interna de la mezcla es igual a la suma de las energías internas de cada uno de los constituyentes se puede escribir:

$$E_s = \frac{(E_{sa} + F E_{sf} + h E_v)(1 - f) + f E_{sr}(1 + F)}{1 + F + h(1 - f)} \quad (7.14)$$

Donde E_s se refiere a la energía interna sensible por unidad de masa de mezcla. La entalpía sensible tendrá una relación correspondiente a la entalpía por unidad de masa de cada constituyente. La energía y entalpía de 1 mol de gas es obtenida multiplicando las ecuaciones 7.14 y 7.13.

USO DE LA CARTA C-1 PARA LAS MEZCLAS COMBUSTIBLE - AIRE

Las escalas de energía interna y entalpía en el lado derecho de la carta C-1 son m veces el valor calculado por medio de la Eq. 7.14 y su correspondiente forma para la entalpía.

Los valores dados son valores sensibles porque la base de energía cero es para aire, combustible y gas residual a 560°R , en sus composiciones químicas originales. La masa base, solo para aire, es una libra - mol de mezcla. El volumen de una mol, depende solamente de la temperatura y presión, y por lo tanto las líneas de volumen están dadas para todos los rangos de F_r y f .

CARACTERISTICAS SENSIBLES DE GAS RESIDUAL: Los valores de la carta C-1 marcadas con $f = 1$ son para mezclas quemadas al aire y combustible, y por tanto corresponden a gas residual en

un motor. Estas características son definidas para una base de cero energía interna a 560°R , en estado gaseoso y su composición química existente en ese estado. Se asume que no hay cambio en la composición química sobre los rangos de temperatura de C-1.

PESO MOLECULAR DE GAS RESIDUAL: El peso molecular de gas residual para mezclar aire octano; y para el gas residual está dado en la figura 7.2.

CONTENIDO DE GAS RESIDUAL: Curvas para los valores de $f = 0$, $f = 0.05$ y $f = 1.0$ (mezcla quemada) están incluidas en las escalas auxiliares de C-1.

En motores recíprocos, f usualmente varían entre cero y 0.10. Dentro de este rango, interpolación y extrapolación por medio de las curvas $f = 0$ y $f = 0.05$ dan resultados dentro de la exactitud de lectura de los gráficos.

FRACCION RELATIVA COMBUSTIBLE - AIRE: La cantidad F_r usada en las cartas, es la relación F/F_c . Se notará que para octano, la base para las cartas termodinámicas del combustible se reproducen aquí:

$$f_c = 0.0678 \text{ lbm/lbm de aire}$$

$$F_c = 0.0175 \text{ mol/mol de aire}$$

$$mf = 112$$

$$F = 0.0678 \text{ Fr.}$$

$$F^\circ = 0.0175 \text{ Fr.}$$

LINEAS DE ENTROPIA CONSTANTE: Para ejecutar la operación a entropía constante para mezclas combustible-aire de un punto dado en la carta, mueva paralelamente a la inclinación apropiada a las líneas de entropía en el lado izquierdo de la carta; para aire seco puro $Fr = f = 0$, y las líneas de entropía son verticales.

VAPOR DE AGUA: En la práctica, la presencia de vapor de agua - puede tener importantes efectos en el funcionamiento del motor. Estos efectos van en contra no solamente de la influencia del vapor de agua sobre las propiedades termodinámicas de los gases y la combustión sino además de la influencia del vapor de agua sobre la masa de aire seco por unidad de volumen.

Puesto que C-1 se aplica a aire seco solamente, su uso para mezclas que contienen vapor de agua influyen algún grado de aproximación. Sin embargo, puesto que el contenido de vapor es usualmente pequeño, cuando se usa la carta C-1 es suficiente asumir que el vapor de agua tiene las mismas características termodinámicas.

micas que una igual masa de gas residual. Así, cuando el contenido de vapor de agua es h , el valor de f a ser usado en la lectura de C-1 será:

$$f' = \frac{f(1 + F) + h(1 - f)}{1 + F + h(1 - f)} \quad (7.15)$$

En las Eqs. 2.7 a 2.14 los valores actuales de f y h serían - usados. Aproximaciones más exactas son posibles pero esta de aquí es suficiente para la mayoría de propósitos.

MEZCLAS COMBUSTIBLE - AIRE: En muchos problemas relacionados - con motores de combustión interna el proceso de mezcla de combustible y aire debe ser manejado en términos termodinámicos. Para mezcla a volumen constante sin trabajo o transferencia de calor tenemos,

$$E_{sm}^* = \frac{E^{\circ}a}{m_a} + f \cdot E_{sf} \quad (7.16)$$

y a presión constante tenemos,

$$H_{sm}^* = \frac{H^{\circ}a}{m_a} + F \cdot H_{sf} \quad (7.17)$$

El subíndice m se refiere a mezcla, a al aire, f a combustible.

Los valores molales pueden ser leídos de C-1. Los valores E_{sf} y H_{sf} son calculados como se indica en las Eqs. 7.1 a 7.4 y m de la Eq. 7.13. El asterisco indica que la masa después de la mezcla es $1 + F$ lbs. de material.

PRINCIPIOS TERMODINAMICOS DE LA COMBUSTION

Una gran cantidad de investigaciones ha sido desarrolladas pero el conocimiento relacionado al proceso químico que ocurre durante el proceso de la combustión es muy limitado debido a que estos procesos normalmente ocurren con gran rapidez y a muy altas temperaturas.

En lo que se refiere al proceso de combustión termodinámica sólo el estado final es considerado. Para establecer el estado final, de un estado inicial dado se usará las leyes de conservación de masa y energía, además la asunción de equilibrio completo de la combustión. Así, al permanecer la masa constante podemos escribir el balance de energía por medio de la ecuación de la primera ley:

$$E_2 - E_1 = Q - \frac{W}{J}$$

Por unidad de masa donde las velocidades son cero:

$$E_b - E_u = Q - \frac{W}{J} \quad (7.18)$$

Donde E es la energía interna, Q es la energía neta añadida, w es el trabajo neto por unidad de masa de mezcla hecho por el fluido y el subíndice b se refiere a quemado y u a no combustionado.

La ecuación 7.18, requiere que el valor de la energía interna - incluya sus componentes debidos a la combinación química.

Como se ha visto, estas componentes no están incluidas en las - propiedades sensibles, puesto que para estas la energía interna es tomada como cerp ára gases en su composición química original.

La energía interna atribuible a la reacción química está incluí da al asignar cero energía interna a los productos de la combustión completa a la temperatura base.

Cuando el material combustible consiste de hidrógeno y carbón - con aire, ocurre una combustión completa, lo que significa la - reducción de todo el material en la mezcla combustible aire a CO₂, vapor de agua, O₂ y N₂ a la temperatura base.

La relación entre la energía interna y la entalpía por unidad -

de masa de mezcla no quemada pueden ser expresadas como sigue:

$$E = E_{sm} + \Delta E \quad (7.19)$$

$$H = E_{sm} + \Delta E = \frac{PV}{J} = H_{sm} + E \quad (7.20)$$

Donde ΔE es la diferencia en energía atribuible al cambio de base. Para una mezcla no quemada de aire combustible y gas residual, puesto que el aire está compuesto aproximadamente de O_2 y N_2 , el valor de ΔE depende enteramente de la cantidad y composición del combustible y el gas residual. Por una unidad de masa de mezcla conteniendo gas residual en la fracción f , y con una razón combustible aire F se puede escribir:

$$\Delta E = \{ (1-f) F E_c + (1+F) f q \} / (1+F) \quad (7.21)$$

El producto fFq en esta ecuación es despreciablemente pequeño y es omitido en los subsiguientes cálculos.

En la Eq. 7.21, E_c puede ser llamada energía de combustión por unidad de combustible y q es la energía de combustión de una unidad de masa de gas residual.

Puesto que las cartas termodinámicas a ser usadas en este trabajo, incluyendo la carta C-1 están todas basadas para el estado

gaseoso cuando se la permite reaccionar a CO_2 gaseoso, vapor de agua a la temperatura base.

No es factible efectuar tal reacción a temperatura constante, pero los mismos resultados pueden ser obtenidos experimentalmente. En la práctica, valores de E_c son determinados por experimentos en calorímetros en los cuales una cantidad medida de combustible en cuestión es quemada a volumen constante en un recipiente los carbonos sean transformados a CO_2 y todos los hidrógenos a agua. Después de quemado, la bomba y su contenido son retornados a la temperatura inicial y la cantidad de calor liberada es medida. Si se escribe el balance de energía para este proceso, puesto que no hay trabajo, tenemos:

$$E_2 - E_1 = \frac{Q}{M_f} \quad (7.22)$$

Donde E_2 es la energía final por unidad de masa del combustible E_1 la inicial, Q es el calor liberado en el experimento, y M_f la masa de combustible involucrada.

Si las temperaturas inicial y final del experimento son iguales a la temperatura base sobre la cual se definió la energía interna, y si los estados inicial y final del combustible y los productos de la combustión son gaseosos por definición tenemos:

$$E_c = E_2 - E_1 \quad (7.23)$$

Los estados gaseosos se requieren porque los datos termodinámicos con los cuales se desarrollaron las cartas C-1 a la C-4, es tán basadas en estados gaseosos para todos los componentes.

En la práctica tales experimentos se empiezan y terminan usualmente a la temperatura ambiente (70°F), a la cual la mayoría de los combustibles de interés son líquidos y el agua en productos de la combustión está también en forma líquida. Bajo estas con diciones E_c es calculado como sigue:

$$E_c = \frac{Q}{M_f} - E_{lg} + \frac{E_w \cdot M_w}{M_f} \quad (7.24)$$

Donde E_{lg} es la energía interna de evaporación por unidad de masa de combustible (un número negativo puesto que se requiere calor) a la temperatura base, E_w es la energía interna de evaporación por unidad de masa de agua (también negativa) a la tem peratura base, y M_w es la masa de agua líquida en los productos de combustión. Así, el experimento en la bomba es corregido a los estados gaseosos para combustible y agua.

CALOR DE COMBUSTION : El calor de combustión de los combustibles usados, en la definición de eficiencia de un motor, es so lamente obtenida de experimentos en el calorímetro. Por co ostum

bre y conveniencia es definida como entalpía de combustión a temperatura ambiente de combustibles líquidos o gaseosos según el caso lo requiera. Dos valores son reconocidos el poder calorífico alto de combustión donde el agua y sus productos son líquidos y el poder calorífico bajo de combustión donde los resultados experimentales son corregidos para vapor de agua. Así tenemos:

$$Q_{ch} = (Q + \frac{(p_2 - p_1)V}{J}) / M_f \quad (7.25)$$

$$Q_c = Q_{ch} + \frac{H_w \cdot M_w}{M_f} \quad (7.26)$$

Donde Q_{ch} = valor calorífico alto de combustión

Q_c = valor calorífico bajo de combustión

p_2, p_1 = presiones en la bomba después y antes de la combustión.

V = volumen de la bomba;

H_w = entalpía de evaporación por unidad de masa de agua a la temperatura de la prueba (número negativo)

Todas las eficiencias serán calculadas para valores caloríficos bajos de combustión. Valores de Q_{ch} y Q_c están dados en la Tabla 3-1, pág. 34 de la referencia 9 de la bibliografía

Los siguientes valores son aplicados para el octano a la temperatura base de 560°R.

$$Q_c = 19035 \text{ BTU/lbm}$$

$$E_c = 19180 \text{ BTU/LBM}$$

$$H_{lg} = -145 \text{ BTU/lbm. (fig. 7.1)}$$

$$F_c = 0.0678$$

$$F = F_r \times 0.0678$$

Datos similares para otros combustibles están dados en la Tabla VII.I

ENERGIA DE COMBUSTION DE LOS GASES RESIDUALES: Con mezclas combustibles aire donde F_r 1.0, los gases residuales pueden contener apreciables cantidades de componentes tales como CO y H₂. Por definición tales componentes tienen apreciable energía interna, referida a la base de CO₂ y H₂O. La energía de combustión de gas residual q está determinada de la energía de combustión de componentes tales que no sean CO₂, vapor de agua, O₂ y N₂.

Para gas residual de mezclas de octano - aire,

$$F_r = 1.0 \qquad q = 0$$

$$F_r = 1.2 \qquad q = 336 \text{ BTU/lbm}$$

$$F_r = 1.5 \qquad q = 832 \text{ BTU/lbm}$$

CARTAS PARA LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTION: Las cartas para los productos de la combustión C-2 a las C-4, han sido construídas por medio de relaciones discutidas anteriormente. Estas cartas son para mezclas de octano - aire con $Fr = 0.8; 1.0; \text{ y } 1.2$, respectivamente. La masa base para cada uno de estos diagramas es $1 + F$ libras de material. Cantidades para esta base están designadas por un asterisco. Se asume equilibrio químico para cada una de estas cartas.

BASE TERMODINAMICA: Estas cartas asignan cero energía interna al CO_2 , H_2O , O_2 y N_2 , gaseosos a $560^\circ R$ y a presión cero.

ENERGIA INTERNA: La energía interna E^* es igual al calor que podría ser liberado a volumen constante enfriando $1 + F$ libras masa de gas a $560^\circ R$ y cambiando su composición a CO_2 , vapor de H_2O , O_2 y N_2 a $560^\circ R$.

ENTALPIA: La entalpía H^* , es igual a $E^* + pV^*/J$, donde V^* es el volumen de $1 + F$ libras masa de gas a presión y a temperatura dada.

ENTROPIA: La entropía dada en estas cartas está calculada para $1 + F$ libras masa de gas, asignando cero entropía al CO_2 , vapor de H_2O , O_2 , y N_2 a $560 R$. 14.7 psia .

TRANSFERENCIA DESDE C-1 A LAS CARTAS PARA LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTION

Siguiendo con el proceso donde entra en juego la combustión y la temperatura de los gases está sobre los 2500°R es necesario transferir el problema desde C-1 a una de las cartas para productos quemados. Para efectuar esta transferencia usamos la siguiente ecuación.

$$E_2 - E_1 = Q - \frac{W}{J}$$

Para el proceso de combustión, Valores de E pueden incluir energía atribuible a la reacción química. En términos de C-1 y las cartas para productos de combustión, para 1 + F libras de material la ecuación anterior puede ser escrita:

$$E^* - \left\{ \frac{1+F}{m} E^{\circ} + (1-f) F.E_c + (1+F)f q \right\} = Q^* - \frac{W^*}{J} \quad (7.27)$$

Donde E° es el valor tomado de C-1 para 1 lb-mol de mezcla a la misma razón combustible-aire y a la misma fracción de gas residual. El asterisco indica que los valores son para 1 + F libras.

Si el proceso de combustión sucede a volumen constante sin pérdidas de calor, Q^* y w^* son cero. Si el proceso de combustión suce

de a presión constante sin pérdida de calor, Q^* es cero,
 $w^* = p(V^*b - V^*u)$, y se puede escribir:

$$H^* - \left\{ \frac{1 + F}{m} H^o + (1 - f) F.Ec + (1 + F)f q \right\} = 0 \quad (7.28)$$

Valores para $(1 + F)/m$ para mezclas octano-aire-gas residual están dados en la figura 4.3. Para otras mezclas m puede ser calculada de la Eq. 7.13.

GAS RESIDUAL: En el caso de las cartas para los productos de la combustión, las características son independientes de la fracción de gas residual anterior a la combustión puesto que el gas residual tiene, por definición, la misma propiedad que los productos de la combustión.

MANEJO APROXIMADO DE LAS MEZCLAS COMBUSTIBLE - AIRE

Las cartas dadas incluso pueden extenderse para cubrir otros hidrocarburos comunes y otras razones combustible-aire sin un serio sacrificio en la exactitud, dando importancia a las asunciones básicas usadas en la construcción de las cartas, el

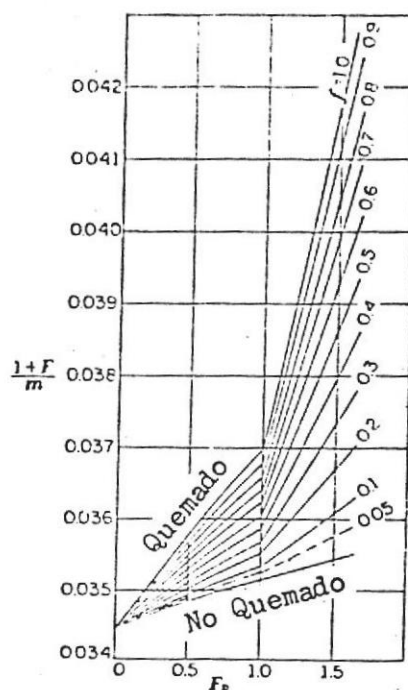


Fig. 7.3

error es demasiado grande.

CARTA C-1 PARA MEZCLA FRESCA: Para usar la carta C-1 para combustibles diferentes del octano se procede de la siguiente manera:

1. Puesto que para $F_R = 1$ en la carta la razón molar de combustible - aire es 0.0175 tenemos:
 - a. Calcular la razón molar combustible - aire del nuevo combustible-aire

b. Leer valores en la carta C-1 para $Fr = F_m/0.0175$.

2. Use valores de f para la nueva mezcla sin corrección.

TRANSFERENCIA A LAS CARTAS DE PRODUCTOS: Las ecuaciones 7.27 y 7.28, serían usadas con valores de m , E_c y q calculados para el nuevo combustible (tabla VII.I).

CARTA PARA PRODUCTOS: Las cartas para productos para valores cercanos de Fr podrían usarse. Esta regla debería usarse solamente en el caso del octano para valores de Fr incluidos en las cartas.

Por medio de las asunciones anteriores, las cartas pueden ser usadas para razones combustible-aire que varían desde 0.6 hasta 1.4 para Fr y para combustibles derivados del petróleo.

VAPOR DE AGUA: Como ya se mencionó cuando el vapor de agua es tá presente debe tratárselo como gas residual, el peso molecular de los gases no quemados deben calcularse de la Eq. 7.13.

USO GENERAL DE LAS CARTAS: Las cartas C-1 a la C-4, pueden usarse para determinar los efectos sobre el aire, y las mezclas combustible - aire - gas residual para diferentes procesos.

Ahora se resolverá el ciclo aire combustible para las mismas - condiciones.

1. No hay cambio químico ni en el combustible ni en el aire antes de la combustión.
2. Posterior a la combustión, toda la carga se encuentra en - equilibrio químico.
3. Todos los procesos son adiabáticos, es decir no hay flujo de calor desde o hacia las paredes de los cilindros.
4. La velocidad de los pistones y todas las piezas móviles, son despreciablemente pequeñas, razón por la cual la potencia al freno difiere más mientras más alta es la velocidad del motor.

En todos los puntos se asumirá que la carga es una mezcla de ai re fresco, combustible gaseoso y gases residuales.

Las razones F y f son escogidas de las condiciones reales, y los procesos de admisión y barrido son ideales.

Se utiliza unidades del sistema inglés para mayor facilidad ya que las tablas se encuentran en estas unidades.

TABLA VII-I

Características de los combustibles líquidos

Combustible	Poder antidetonante	Temperatura de destilación a 760 mm Hg	Tensión de vapor a °C	Calor de vaporiza- ción	Poder calorífico inferior		Aire teórico de comb	t
	N.O.	° C	mm Hg	Ca/kg	Ca/kg	Ca/l	kg/kg	
Carburante de aviación	80+115 (M. M.)	75+200	0,45 (Reid)	~75	10400	7650	15,5	
Combustibles para turbomo- tores	—	150+300	—	—	10300	8100	—	
Carburantes de automóvil:								
{ Normal (CUNA NC 620-01)	83 min (R. M.)	30+205	0,70(ver.) 0,85(inv.) (Reid)	~75	10400	7650	15,5	
{ Supercarburante (CUNA NC 623-01)	92 min (R. M.)							
Benzol puro	~ 100	80	28	95	9600	8400	13	
Alcohol etílico 100 %	~ 100	78,3	12,7	230	6550	5200	9	
Alcohol metílico 100 %	> 100	64,7	29	278	4500	3600	6,5	
Petróleos para la agricultura (CUNA NC 627-01)	32 min (M. M.)	150+300	—	—	10000	8200	14	
Gasoil (CUNA NC 630-01)	N. C. 47 min	200+370	—	—	10200	8500	14	
Petróleos pesados	—	—	—	—	9800	8700	14	

TABLA VII-I (Continuación)

Características de los combustibles gaseosos

Combustible	Peso específico a 15° y presión de 760 mm Hg	Poder calorífico inferior		Aire teórico de combustión		Tonalidad térmica a 0°	N.º de octano (Research)
	kg/m³	Ca/m³	Ca/kg	m³/m³ de gas	kg/kg de gas	Ca/l de mezcla	N. O.
Metano al 97 %.	0,740	8300	11200	9,5	17,4	0,820	~ 125
Propano	1,81	19900	11000	24	15,8	0,900	~ 125
Butano	2,38	25900	10900	31	16,5	0,870	~ 93
Propano } 50/50	2,06	22600	10950	27,5	16,1	—	~ 100
Butano }							
Gas de alumbrado (Berlín 1940).	0,600	3800	10950	5,1	8	0,800	~ 90
Gas de gasógeno	1,0÷1,2	1000÷1400	650÷1250	0,9÷1,2	0,95÷1,4	0,500÷0,600	~ 90
Gas de coque ...	0,425 (*)	4200	—	—	—	—	~ 90

(*) Comprimido en fase gaseosa a 200 kg/cm².

Los suscritos o, y * significan: por libra mol, y por libra masa; respectivamente.

La masa en los puntos 1 y 2 es $1 + F$ libras.

Entra al motor una mezcla aire- combustible OCTENO C_8H_{16} con una riqueza del 20 %.

Las condiciones de entrada son:

$$T_1 = 640^\circ R$$

$$F_c = 0.678$$

$$F_r = 1.2 \quad h = 0$$

$$10.22 \frac{lb/pulg^2}{Kg/cm^2}$$

$$r_c = 9$$

$$f = 0.05 \text{ lbm/lbm gas}$$

$$p_1 = 14.0 \text{ lbs/pulg}^2$$

Las presiones estarán en $lb/pulg^2$ absolutas

Las temperaturas en grados . Rankine

Los volúmenes en $pies^3$

y la energía interna en BTU.

$$T_1 = 640^\circ R$$

$$F_c = 0.0678$$

$$F_R = 1.2$$

$$\gamma_c = 9$$

$$f = 0.05 \text{ lbm/lbm gas}$$

$$p_1 = 14.0 \text{ lbs/pulg}^2$$

Las presiones estarán en lb/pulg^2 ohs

Temperaturas en grado Rankine.

Los volúmenes en pie^3 y la energía interna en BTU.

Cálculos preliminares.

$$Fr = F/F_c \quad F = 1.2 \times 0.0678 = 0.0814$$

de la figura 2.3

$$m = 1.0814 / 0.0355 = 30.46$$

El punto 1 en la tabla C-1

con $p = 14$; $T = 640$; $Fr = 1.2$ y $f = 0.05$ se lee

$$V^{\circ}1 = 500$$

$$E^{\circ}1 = 450$$

$$H^{\circ}1 = 1720$$

proceso 1 → 2

$$V_2^\circ = V_1^\circ / 9 = 55.56$$

Desde el punto 1, se sigue las líneas de entropía constante hasta $V_2^\circ = 55.6$. Esta línea es paralela a $Fr = 1.2$ y $f = 0.05$ - línea que está en el lado izquierdo de la tabla C-1.

$$T_2 = 1270$$

$$E_2^\circ = 4400$$

$$H_2^\circ = 6980$$

$$p_2 = 244$$

Proceso 2 → 3 y la transformación a la tabla C-4, calculamos los valores del punto 3 ya que en el punto 2 la masa es 1 + F lbs tenemos:

$$V_2 = 55.56 \times 0.0355 = 1.97$$

de la ecuación 2-27

$$E^* = \left(\frac{1+F}{m} E^\circ + (1-f) F \cdot E_c + (1+F) f_9 \right)$$

$$E_3^* = (6.0355) (4400) + (0.95) (0.0814) (19180) + (1.0814)$$

$$(0.05) (336)$$

$$E^*_3 = 1657.56$$

con el valor de $E^*_3 = 1657.56$ y $V^*_2 = V^*_3 = 1.97$ leemos en la tabla C-4.

$$T_3 = 5140.0 \quad p_3 = 1100 \quad H^*_3 = 2057.0$$

Proceso 3-4 expansión. Siguiendo una expansión isentrópica :

$V^*_4 = 9 \cdot 1.97 = 17.73$ con este valor leemos en la tabla C-4.

$$T_4 = 3064.0 \quad ; \quad H^*_4 = 1221 \quad ; \quad p_4 = 73 \quad ; \quad E^*_4 = 970$$

Para obtener las condiciones de los gases de escape con tensiones exponiendo hasta 14.7

$$V^*_5 = 61 \quad T_5 = 2170 \quad E^*_5 = 727.5$$

Recordando que E^*_1 y E^*_2 hay que multiplicar estos valores - por $\frac{1+F}{m}$

$$\frac{w}{JMt} = (1657.56 - 970) - 0.0355 (4400 - 450)$$

$$\frac{W}{JMt} = 547.34 \frac{BTU}{lbm}$$

$$\text{Con } V_1^o = 500$$

$$V_1^* = 500 \times 0.0355 = 17.75 \text{ pie}^3 / lbm.$$

$$M_t = \frac{V_1}{V_1^*} \quad 28320 \text{ cm}^3 / \text{pie}^3$$

$$M_t = \frac{1298 \text{ cm}^3}{17.75 \text{ pie}^3 / \text{Mom} \times 28.320 \text{ cm}^3 / \text{pie}^3}$$

$$M_t = 2.5822 \times 10^{-3} \text{ lbm/ciclo}$$

De la ecuación 2-6

$$M_t = M_a + M_f + M_r + M_v$$

$$M_v = 0 \quad \text{por que } h = 0$$

$$1. \quad M_a + M_f + M_r = M_t$$

$$2. \quad \frac{M_f}{M_a} = 0.0814 = F$$

$$3. f = 0.05 = \frac{Mr}{Ma + Mf + Mr}$$

De la ecuación 3.

$$0.05 Ma + 0.05 Mf + 0.05 Mr = Mr$$

$$0.95 Mr = 0.05 (Ma + Mf)$$

$$4. Mr = \frac{0.05}{0.95} = (Ma + Mf)$$

Reemplazando:

4) en 1)

$$Ma + Mf + \frac{0.05}{0.95} (Ma + Mf) = Mt$$

$$5. (Ma + Mf) \left(1 + \frac{0.05}{0.95} \right) + Mt$$

De la ecuación 2) se tiene:

$$6. Ma = \frac{Mf}{0.0814}$$

Se reemplaza la ecuación 6. en la ecuación 5.

$$\left(\frac{Mf}{0.0814} + Mf \right) \left(1 + \frac{0.05}{0.95} \right) = Mt$$

$$Mf \left(\frac{1.0814}{0.0814} \right) \left(\frac{1}{0.95} \right) = Mt$$

$$Mf (13.98) = 2.5822 \times 10^{-3}$$

$$Mf = 1.847 \times 10^{-4} \frac{\text{lbm}}{\text{ciclo}}$$

$$\eta_t = \frac{W}{J Mf Q_c}$$

$$\eta_t = \frac{547.34 \text{ BTU/lbm aire} \times 2.5822 \times 10^{-3} \text{ lbm aire/ciclo}}{1.847 \times 10^{-4} \text{ lbm/ciclo} \times 19035 \text{ BTU/lbm}}$$

$$\eta_t = 0.4020$$

Potencia

$$\text{Pot} = w Mt$$

$$\dot{M}_t = 4000 \frac{\text{Rev}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ ciclo}}{2 \text{ revol}} \times 2.5822 \times 10^{-3} \text{ lbm/ciclo}$$

$$\dot{M}_t = 5.1644 \text{ lbm/min}$$

$$\dot{W} = 547.34 \text{ BTU/lbm} \times 5.1644 \text{ lbm/min} \times 1/56.87$$

$$\frac{\text{Kw} \cdot \text{min}}{\text{BTU}}$$

$$\dot{W} = 49.70 \text{ Kw}$$

Consumo específico de combustible

$$\text{C.E.C.} = \frac{\dot{M}_f}{\text{Pot}}$$

$$\dot{M}_f = 1.847 \times 10^{-4} \text{ lbm/ciclo} \times 1 \text{ ciclo/2 revol} \times 4000 \text{ Rev/min}$$

$$\dot{M}_f = 0.3694 \text{ lbm/min}$$

$$\dot{M}_f = 0.3694 \text{ lbm/min} \times 1 \text{ Kos/2.21bm} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}}$$

$$\dot{M}_f = 10.07 \text{ Kg/hr}$$

$$\text{C.E.C.} = 203 \text{ gr/Kw} \cdot \text{hr}$$



BIBLIOGRAFIA

1. ARIAS - PAZ M; MANUAL DE AUTOMOVILES, EDITORIAL POSSAT S.A. ,
MADRID, 1977 - 78, PAGINAS 708 a 716, 141 a 154.
2. CEVALLOS FREDDY, MAQUINAS DE COMBUSTION INTERNA, ESPOL, Guaya
quil, 1974, páginas 22 a 23; 48 a 52.
3. CROUSE WILLIAM H., MOTORES DE AUTOMOVIL, MARCOMBO, BARCELONA,
1976, Páginas 192 a 205.
4. FAIRES VIRGIL MORNING, TERMODINAMICA, EDITORIAL HISPANOAMERI-
CANA, 1973, Páginas 126, 729 a 733.
5. GIACOSA DANTE, MOTORES ENDOTERMICOS, EDITORIAL DOSSAT S.A., Ma
drid, 1980, Páginas 45 a 52, 85 a 99.
6. JUDGE ARTHUR W., AUTOMOBILE ENGINE, COX AND WYMAN LTD., NORFOLK,
1973, páginas 9 a 28.-
7. OBERT EDWARD F., INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND AIR POLLUTION,
INTEXT EDUCATIONAL PUBLISHERS, New York, 1973, páginas 509 a 511.

8. OBERT EDWARD F., MOTORES DE COMBUSTION INTERNA COMPANIA EDITO-
RIAL CONTINENTAL, S.A., México, 1980, páginas 132 a 161.
9. TAYLOR AND TAYLOR, THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE, INTERNATIO
NAL TEXTBOOK COMPANY, SCRANTON, Pennsylvania,
a 47.



BIBLIOTHECA