



D-13896

T
624.134351
016



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

**Funcionamiento de un Motor Multicilíndrico
Encendido por Chispa, con Alcohol Etílico**

TESIS DE GRADO

**Previa a la obtención del Título de
INGENIERO MECANICO**



PRESENTADA POR

WALTER HENRY OCHOA SANCHEZ

Guayaquil - Ecuador

1993

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL**

FACULTAD DE
INGENIERIA EN MECANICA

**" FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR
MULTICILINDRICO ENCENDIDO POR
CHISPA CON ALCOHOL ETILICO. "**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de :
INGENIERO MECANICO

Presentado por :

WALTER HENRY OCHOA SANCHEZ

GUAYAQUIL - ECUADOR

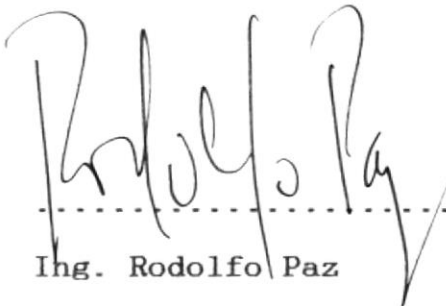
1993


.....


Dr. Alfredo Barriga R.
DECANO DE LA F.I.M.


.....

Ing. Freddy Cevallos B.
DIRECTOR DE TESIS.


.....

Ing. Rodolfo Paz
MIEMBRO DEL TRIBUNAL


.....

Ing. Francisco Andrade
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

" LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y EL PATRIMONIO DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ".

(REGLAMENTO DE EXÁMENES Y TÍTULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Walter H. Ochoa S.', is written over a horizontal line.

WALTER HENRY OCHOA SANCHEZ

AGRADECIMIENTO

A Dios por acompañarme paso a paso a lo largo de toda mi vida y permitirme alcanzar todas mis metas.

Al Ing. Freddy Cevallos por su acertada y constante orientación y ayuda.

Al Sr. Ramón Carrillo por su gran colaboración y amistad.

DEDICATORIA

A mis Padres y hermana por sus desvelos, por su inmenso apoyo y eterna confianza.

A mi novia, por su caminar siempre junto a mí y comprenderme.

A los amigos verdaderos por ser personas que Dios nos permite escoger y por la inmensa ayuda brindada.

RESUMEN

En la actualidad el uso de combustibles alternos, diferentes a los derivados del petróleo, ha adquirido un gran desarrollo; hay algunas causas para este comportamiento. Uno de los diversos motivos es el hecho de que, los hidrocarburos petrolíferos constituyen una fuente de recursos agotables que no se pueden recuperar; además, como producto de su combustión desprenden a la atmósfera gases altamente tóxicos y en ciertas ocasiones parte del combustible que no ha podido ser quemado.

En este trabajo de investigación se trata de resaltar la importancia del uso de uno de los denominados combustibles alternos, en este caso el alcohol etílico (etanol) - como sustituto de la gasolina-; señalar así mismo las ventajas relativas que nos proporciona su uso, características que se mencionarán oportunamente en el desarrollo de esta tesis.

El presente trabajo de investigación, en su estructura, consta de dos partes; la primera, teórica en sí, en la cual explicamos de una manera concisa, los diferentes parámetros que describen el funcionamiento de un motor que opera generalmente con gasolina, así como, las principales características y propiedades que deben poseer los combustibles utilizados como carburantes; también se explica lo concerniente al proceso de acción de los alcoholes en los motores y se describe además los dife-

rentes equipos utilizados durante el desarrollo de las pruebas experimentales.

En la segunda parte de esta tesis se describen de manera detallada las diversas pruebas o ensayos que se han realizado con el motor, utilizando el etanol como combustible, explicándose además los procedimientos experimentales de cada prueba. Al final de la tesis se hace mención al estudio de las curvas que describen los parámetros de funcionamiento, determinadas durante el desarrollo de este trabajo y se realiza además un estudio comparativo con la acción de la gasolina y se mencionan también las ventajas y desventajas reales del empleo de alcohol etílico como combustible en el funcionamiento de un motor.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	6	
INDICE GENERAL.....	8	
INDICE DE FIGURAS.....	12	
INDICE DE TABLAS.....	13	
INTRODUCCION.....	14	
CAPITULO I		
CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS		
COMBUSTIBLES PARA EL FUNCIONA-		
MIENTO DE UN MOTOR A GASOLINA.....		16
1.1. GENERALIDADES.....	16	
1.1.1.- LOS COMBUSTIBLES NATURALES.....	16	
1.2. TIPOS DE GASOLINA.....	21	
1.3. PRINCIPALES PROPIEDADES DE LAS GASOLINAS....	23	
1.4. ESTUDIO DE LA DETONACION Y		
EL OCTANAJE Y SUS EFECTOS EN		
LOS MOTORES A GASOLINA.....	26	
1.4.1.- DEFINICION.....	26	
1.4.2.- ESTUDIO DEL NIVEL DEL		
OCTANAJE Y SUS EFECTOS		
EN EL FUNCIONAMIENTO DE		
UN MOTOR.....	31	
CAPITULO II		
BREVE ESTUDIO DEL USO DE LOS AL-		
COHOLES COMO COMBUSTIBLES.....		38
2.1. INTRODUCCION.....	38	

2.2.	LOS ALCOHOLES.....	40
2.2.1.-	CLASES Y TIPOS DE ALCOHOLES.....	41
2.2.2.-	TIPOS DE ALCOHOLES EM- PLEADOS COMO COMBUSTIBLES.....	45
2.3.	EL ALCOHOL ETILICO COMO CARBU- RANTE EN UN MOTOR A GASOLINA.....	50
2.3.1.-	PROPIEDADES FISICO- QUIMICAS DEL ETANOL.....	51
2.3.2.-	USO DEL ETANOL COMO SUS- TITUTO DE LA GASOLINA.....	53
2.4.	ANALISIS COMPARATIVO DEL COS- TO DEL ETANOL.....	59
CAPITULO III		
	EQUIPO EXPERIMENTAL.....	63
3.1.	ESPECIFICACIONES, DESCRIPCION Y DATOS TECNICOS DEL EQUIPO.....	63
3.2.	INSTRUMENTOS DE MEDICION.....	66
3.2.1.-	DINAMOMETRO HIDRAULICO.....	66
3.2.2.-	MEDIDOR DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	69
3.2.3.-	MEDIDOR DE CONSUMO DE AIRE.....	71
3.2.4.-	SISTEMAS DE REFRIGERACION DEL MOTOR.....	71
3.3.	CARBURADOR ADAPTADO AL MOTOR PARA SU FUNCIONAMIENTO.....	73

3.3.1.-	DESCRIPCION.....	73
3.3.2.-	PROBLEMAS PRESENTADOS EN EL PROCESO DE ADAPTACION DEL CARBURADOR DE ALCOHOL.....	75
CAPITULO IV		
	TRABAJO EXPERIMENTAL.....	78
4.1.	PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	78
4.1.1.-	PUESTA A PUNTO DEL MOTOR CON ALCOHOL.....	78
4.1.2.-	TECNICA OPERATIVA.....	80
4.1.3.-	REALIZACION DE PRUEBAS CON ALCOHOL EN LAS MISMAS CONDI- CIONES DE OPERACION QUE CON GASOLINA.....	88
4.2.	FORMULAS A EMPLEARSE PARA CALCULOS Y RESULTADOS.....	90
4.3.	ANALISIS DE LAS PARTES DEL MOTOR DES- PUES DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON- ALCOHOL.....	92
CAPITULO V		
5.1.	ANALISIS DE CURVAS COMPARATIVAS DE: POTENCIA, GASTO ESPECIFICO DE COM- BUSTIBLE, TORQUE, RELACION AIRE- COMBUSTIBLE E INFLUENCIA DEL ANGULO DE ENCENDIDO SOBRE LOS PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO.....	94

5.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS REALES DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR ENCENDIDO POR CHISPA, CON ALCOHOL; COMPARACION CON UN MOTOR A GASOLINA.....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
APENDICES.....	107
NOMENCLATURA	189
BIBLIOGRAFIA.....	191

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1.-	Avance del frente de llama.....	29
Fig. 1.2.-	Efectos de la detonación sobre el rendimiento.....	35
Fig. 1.3.-	Combustión normal y con deto- nación.....	35
Fig. 3.1.-	Curva de comportamiento de un freno de agua.....	68
Fig. 3.2.-	Freno de agua Heenan-Froude.....	68
Fig. 3.3.-	Sección transversal de un dina- mómetro.....	70
Fig. 3.4.-	Diagrama esquemático del carbura- dor de alcohol.....	77

INDICE DE TABLAS.

TABLA I.-	Características de los combustibles líquidos.....	25
TABLA II.-	Podere s caloríficos típicos.....	37
TABLA III.-	Propiedades de los alcoholes y sus derivados.....	56

INTRODUCCION

Actualmente los países en via de desarrollo como el Ecuador, son golpeados por una creciente crisis energética; esto es, las repentinas y bruscas bajas del precio del barril de petróleo; determinado por los grandes mercados internacionales.

Esta situación es la que debe determinar el desarrollo de una política que fomente el uso de combustibles alternos, como es el caso del alcohol etílico o etanol, el cual representa una fuente energética muy aprovechable, pues es capaz de ser obtenido de un gran número de recursos naturales.

El empleo del etanol en otros países se encuentra muy desarrollado, representando su uso más inmediato en mezclas con gasolinas, con la finalidad de elevar su número octano, pues el mismo posee excelentes características antidetonantes.

En el desarrollo de esta tesis se analiza el funcionamiento de un motor endotérmico que utiliza como único carburante el etanol. Realizando para ello diversas pruebas experimentales comparativas sobre los diferentes parámetros que determinan su funcionamiento, tratando de hallar las condiciones de trabajo más eficientes.

Otros aspectos no menos importantes, desarrollados en este trabajo de investigación, son los económicos y

ecológicos, pues no se pueden pasar por alto los efectos que produce los procesos de explotación, refinamiento y combustión de los hidrocarburos derivados del petróleo, ni los costos de producción de etanol en el país con respecto a los extranjeros.



CAPITULO I

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS COMBUSTIBLES PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR A GASOLINA.

1.1 GENERALIDADES.

Casi todos los combustibles para los motores de combustión de hoy día se derivan del petróleo, el cual es una mezcla compleja de hidrocarburos. Sin embargo, a medida que disminuyen los manantiales de petróleo, tiene cada vez mayor importancia el carbón, que es el combustible más abundante. Por la misma razón, los combustibles elaborados con productos del campo, algún día serán la fuente de nuestra potencia motriz.

1.1.1 LOS COMBUSTIBLES NATURALES.

El origen y la evolución subsecuente del petróleo en las formas líquida y gaseosa, no son completamente conocidos. Sin embargo, el petróleo se encuentra en ciertas formaciones rocosas

que hace miles de años fueron el fondo de los océanos. Es de creerse que los materiales marinos en el fondo del mar, fueron envueltos por capas de rocas, siendo sometidos a altas presiones con la eventual descomposición en el producto conocido como petróleo. La materia orgánica original debió contener oxígeno, aún cuando el petróleo esté formado en gran parte por compuestos de carbono e hidrógeno.

Los combustibles para los motores endotérmicos pueden clasificarse en: sólidos, líquidos y gaseosos.

Los *combustibles sólidos* son, por tanto, transformados en combustibles gaseosos dentro de adecuados aparatos llamados *gasómeros*. Pueden ser sometidos a este tratamiento la leña, el carbón vegetal, el coque de turba, el de lignito y el de carbón fósil o antracita. También se usan sucedáneos formados por leña y sus residuos, los cuales se pulverizan y comprimen previamente en brinquetas tratadas al calor con alquitrán vegetal y luego endurecidas.

Los *combustibles gaseosos* pueden ser naturales, o bien obtenidos de la gasificación de los combustibles sólidos. Todos ellos tienen un bajo poder calorífico. Presentan el inconve-

niente de requerir el empleo de fuertes depósitos para contenerlos, así como gasómeros para producirlos. El volumen y el peso de tales receptáculos y máquinas limitan el uso de los mismos en el sector automovilístico; sin embargo, en situaciones especiales, por deficiencia de combustibles líquidos o por razones económicas, puede resultar conveniente su empleo.

Los combustibles gaseosos pueden ser clasificados en dos categorías: **gases líquidos** y **gases permanentes**.

Los *gases líquidos* son una mezcla de hidrocarburos parafínicos, que a temperatura normal pueden ser licuados a una presión relativamente baja. Sometidos a presión atmosférica se hallan en estado de gas. Para los usos automovilísticos se guardan en recipientes contruidos de acero o de material fabricado con aleaciones ligeras.

Los *gases permanentes* de escaso empleo en auto-tracción son el metano natural o artificial, el gas de coque y el gas de alumbrado, los cuales suelen almacenarse en bombonas de acero especial, a una presión aproximada de 200 Kg/cm².

Los *combustibles líquidos* son la fuente de energía principal para los motores endotérmi-

cos. Entre los más empleados se encuentran los derivados del petróleo. Algunas veces, cuando no se dispone de petróleo crudo, se recurre a combustibles similares obtenidos del carbón por procedimientos especiales, pero su costo resulta evidentemente mucho más elevado.

Los principales tipos de combustibles líquidos puestos a la venta en el comercio, son los hidrocarburos obtenidos de la refinación del petróleo crudo, además del benzol y los alcoholes.

Los **hidrocarburos** se clasifican en dos grandes categorías, a saber:

- a) Livianos (gasolina), y
- b) Pesados (diesel, kérex).

Los cuales se distinguen esencialmente entre sí por su volatilidad, es decir, por aptitud para evaporarse y, de consiguiente por su capacidad de mezclarse homogéneamente con el aire. Los carburantes son usados sobre todo en los motores encendidos por chispa, y los petróleos, en los encendidos por compresión. El **benzol** y los **alcoholes** pueden ser incluidos en la gama de los carburantes.

El *benzol* es un subproducto del carbón, obtenido de la transformación de éste en coque y su

principal componente es el benceno (C_6H_6). Tiene un buen poder antidetonante, pero un poder calorífico inferior al de la gasolina. Se emplea cuando y donde escasea este carburante y abunda el carbón fósil.

Los *alcoholes* tienen una composición similar a la de los hidrocarburos, pero contienen en sus moléculas átomos de oxígeno. Tienen buen poder antidetonante, pero escaso poder calorífico. En casos especiales se usa mezclado con la gasolina, sobre todo el alcohol metílico o metanol y el alcohol etílico o etanol (C_2H_5-OH).

1.2. TIPOS DE GASOLINA.

Gasolina de destilación directa.- Se recupera del petróleo por destilación simple y contiene una proporción grande de hidrocarburos de la serie parafínica. Su número octano es frecuentemente demasiado bajo para utilizarse en los motores modernos; por lo que se mezcla con otros productos para mejorar sus propiedades de combustión.

Gasolina de desintegración.- Se fabrica calentando las fracciones de destilación del petróleo crudo, o residuos a presión, o calentándolos con presión o sin ella, en presencia de un catalizador. En donde, los hidrocarburos más pesados se desintegran o disocian en moléculas más pequeñas, algunos de los cuales destilan en el intervalo de la gasolina. El octanaje es superior al de la gasolina de destilación directa.

Gasolina reformada.- Se fabrica haciendo pasar las fracciones de la gasolina sobre catalizadores, de tal forma que los hidrocarburos de bajo octanaje se vuelvan a disponer molecularmente para formar hidrocarburos de octanaje alto.

Gasolina natural.- Se obtiene del gas natural, licuando los elementos constitutivos que hierven en el intervalo de la gasolina, ya sea por compresión y

enfriamiento o por absorción en aceite. Esta gasolina es demasiado volátil, por lo que con frecuencia se mezcla con otras gasolinas para mejorar sus características.

1.3 PROPIEDADES DE LAS GASOLINAS.

La gasolina que se expende en el mercado, es una mezcla de productos obtenidos mediante diferentes procesos. Mediante dichas mezclas, se ajustan las propiedades del combustible para obtener las características de funcionamiento deseadas, siendo estas características las de especial interés para el ingeniero. Por lo tanto, independientemente de su origen, la gasolina debe tener las siguientes propiedades:

- 1.- *CARACTERISTICAS DE GOLPETEO.* Actualmente el patrón de comparación es el número octano, en términos generales el mejor combustible es el que tiene número octano mayor.
2. *VOLATILIDAD.*
 - a. *Características de arranque.* La gasolina pondrá en movimiento al motor, rápidamente, siempre que una parte de ella tenga bajo punto de ebullición, como para permitir que se forme la mezcla combustible a la temperatura ambiente.
 - b. *Características de vaporización.* El combustible debe tener una baja presión de vapor, a las temperaturas existentes en las tuberías, para evitar la vaporización

en ellas y en el depósito del flotador, vaporización que impide o limita el flujo del combustible líquido.

c. *Comportamiento en la carrera.* En general, los combustibles con la temperatura más baja de destilación, son los mejores.

d. *Dilución en el carter.* La dilución del aceite lubricante tiene lugar cuando se condensa el combustible, o cuando deja de vaporizarse en el motor, siendo deseable una temperatura de destilación, baja.

3. *DEPOSITOS GOMOSOS Y BARNIZ.* El combustible no deberá depositar en el motor, ni goma ni barniz.

4. *CORROSION.* El combustible y los productos de la combustión no deben ser corrosivos.

5. *COSTO.* El combustible deberá ser barato.

COMBUSTIBLE	TEMPERATURA DE DESTILACION (Pa)		ESQUEMA DE VAPOR		VAPORIZACION INFERIOR		RESERVA DE COMBUSTIBLE	
	ANTEDONANTE	NO	mmHg	Ca/kg	Ca/kg	Ca/kg	Kg/kg	Kg/cm ³
Calcular en el autorizador. Normal (CUNA NC 623-01)	83 mm (R.M.)	NO	32-225	0.70 (ver 1) 0.85 (ver 1)	75	10400	15.5	0.755-0.770
Sulfocarburoame (CUNA NC 623-01)	92 mm (R.M.)	90		28	95	9500	13	0.875
Benzol Puro	100	73.3		12.7	200	6550	9	0.795
Alcohol etílico 100%	>100%	54.7		29	278	4500	6.5	0.795
Alcohol metílico 100%	32 mm (R.M.)	150-300				10000	14	0.790-0.835
Gasol (CUNA NC 623-01)						9500	14	0.890

Página 10 de 10

ASUNTO: UNIDAD DE SEGURIDAD DE LOS COMBUSTIBLES D-201

1.4. ESTUDIO DE LA DETONACION Y EL OCTANAJE Y SUS EFECTOS EN LOS MOTORES DE GASOLINA.

1.4.1.- Definición.

Desde los primeros motores de gasolina y en ciertas condiciones de trabajo se notaba un violento golpeteo metálico en el interior del cilindro, parecido al ruido de una bala, el cual va acompañado de salida de humo. Al principio este golpeteo no era muy notable y las explicaciones a este fenómeno fueron todas diferentes y contradictorias. Con el aumento de la relación de compresión y esencialmente con la utilización de los compresores, no solo el ruido fue más notable sino que trajo serias consecuencias en lo referente al periodo de duración de los motores.

Se demostró que un motor que trabaje cierto tiempo con este golpeteo, destruiría pistón y bujías (los quemaba) lo mismo que bielas y cigüeñal. La explicación de este fenómeno es el cambio violento de la velocidad normal de combustión 25 - 30 m/seg. a velocidades hasta de 200m/seg. y ésto es

lo que se conoce con el nombre de *detonación*.

La producción de energía es, en tal caso, extremadamente rápida a causa del gradiente de presión que se forma en la cámara de combustión, en tal grado, que genera vibraciones en la masa del gas, y por consiguiente, en las paredes.

Evidentemente, el funcionamiento continuado y mantenido en estado de detonación puede también conducir al encendido superficial. En efecto, El estado de detonación produce un combustión irregular, capaz de causar el calentamiento excesivo de puntos determinados y de implicar las mismas consecuencias de una refrigeración insuficiente.

La figura 1.1 representa un normal frente de llama que atraviesa la cámara de combustión desde la bujía hacia el punto *b*. En el instante considerado, el área *a a' b* se eleva y permanece durante un tiempo suficiente por encima de su temperatura crítica de autoencendido, se producirán detonaciones.

Si esta carga sin quemar no alcanza su

temperatura crítica de autoencendido, no se encenderá espontáneamente, el frente de llama a a' progresará regularmente hasta el punto b y la combustión será normal. Si, por el contrario, la carga sin quemar a $a' b$ se eleva y permanece durante un tiempo suficiente por encima de su temperatura crítica de autoencendido, se producirán detonaciones.

En consecuencia, para evitar la detonación se ha de procurar que la temperatura crítica de autoencendido sea elevada y que el retraso de encendido sea largo.

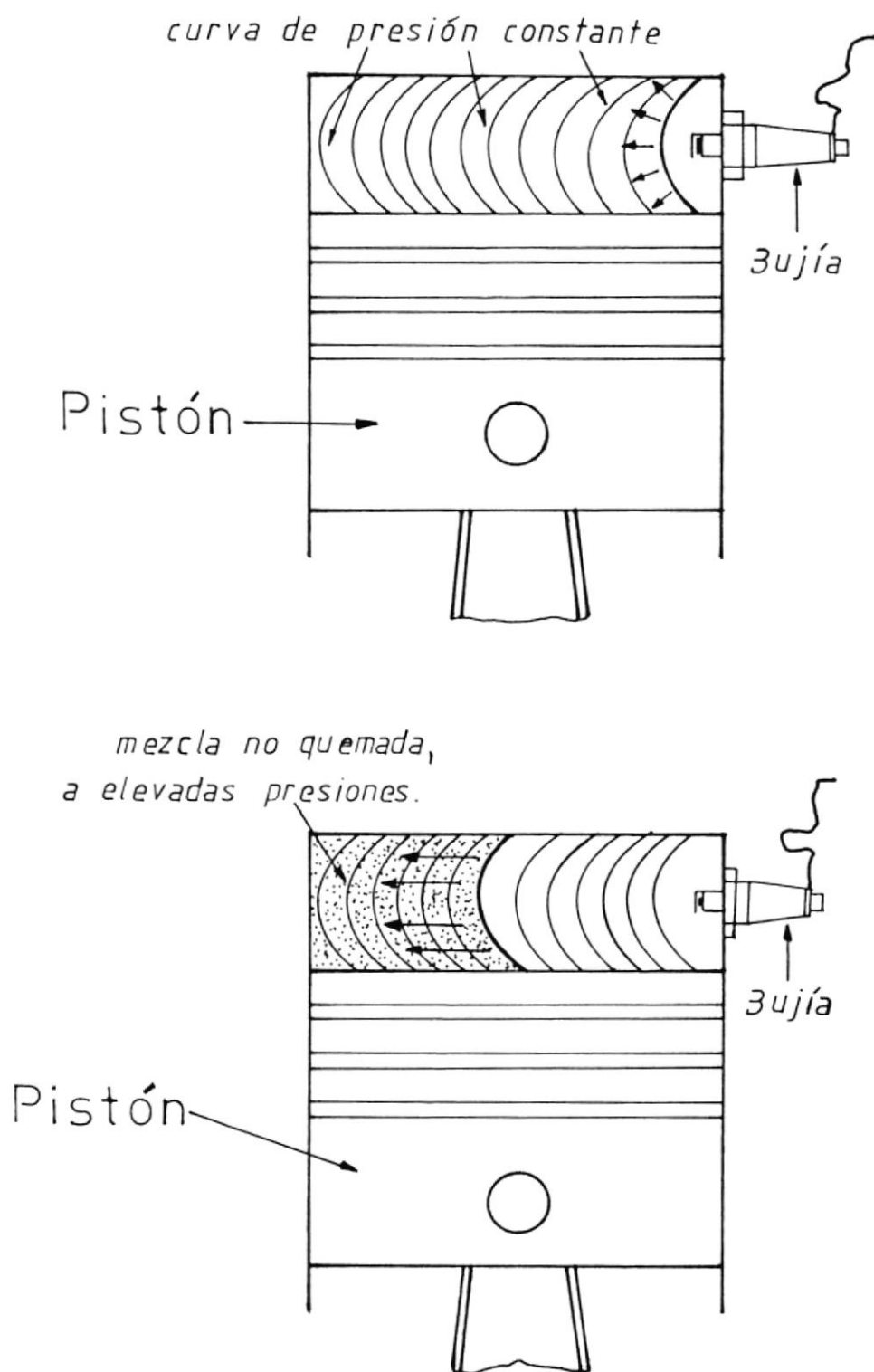


Fig. 1.1.- Avance del frente de llama.

En el instante considerado, el área $a a' b$ se eleva y permanece durante un tiempo suficiente por encima de su temperatura crítica de autoencendido, se producirán detonaciones.

Si esta carga sin quemar no alcanza su temperatura crítica de autoencendido, no se encenderá espontáneamente, el frente de llama $a a'$ progresará regularmente hasta el punto b y la combustión será normal. Si, por el contrario, la carga sin quemar $a a' b$ se eleva y permanece durante un tiempo suficiente por encima de su temperatura crítica de autoencendido, se producirán detonaciones.

En consecuencia, para evitar la detonación se ha de procurar que la temperatura crítica de autoencendido sea elevada y que el retraso de encendido sea largo.

1.4.2.- ESTUDIO DEL NIVEL DEL OCTANAJE Y SUS EFECTOS EN EL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR.

Un combustible cuyo nivel de octanaje sea elevado permitirá obtener un mayor rendimiento, si el mismo es utilizado en un motor de elevada razón de compresión, esto se puede expresar como; el motor es capaz de desarrollar su máxima potencia con un menor consumo de combustible que el que necesitaría un motor de menor razón de compresión, esto es, el motor es más eficiente.

El alto número de octanos es lo que permite obtener una combustión libre de detonación, pues se obtiene una potencia de salida máxima gracias a la posibilidad de adelantar la chispa de encendido hasta su calibración óptima. Sin embargo las relaciones de compresiones más elevadas, cuya utilización es posible, elevando las propiedades antidetonantes del combustible, ya sea por mejoras en los procesos de refinación o por adición de tetraetilo de plomo, incrementan las presiones y las temperaturas más altas y la potencia obte-

nida. El empleo de tetraetilo de plomo puede dar lugar a problemas de corrosión, formación de óxidos, quemaduras de las válvulas, etc. En los automotores actuales los procesos de fabricación de las válvulas, las cuales contienen grandes porciones de Ni, Cr, Mo, etc, que les dan propiedades de resistencia a las altas temperaturas y a la corrosión, además se pueden endurecer los asientos empleando aleaciones especiales como la estelita, que es una aleación de Co, Cr y W.

Existen ciertos principios que describen el comportamiento de los combustibles, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- 1.- La tendencia del combustible a detonar es su más importante cualidad. La más elevada potencia que se puede obtener de un motor, está limitada por su máxima relación de compresión utilizable, es decir la máxima razón de compresión con que se puede hacer funcionar el motor sin que detone.
- 2.- La potencia que se puede obtener de las gasolinas es casi la misma para

todas, siempre que no detone. Esto por supuesto se refiere a un mismo motor y a una determinada relación de compresión.

- 3.- Siempre que no se produzca detonación es posible obtener un mismo rendimiento para un motor que trabaje a una determinada relación de compresión, sin importar el tipo de gasolina que se utilice.

El efecto de un proceso de detonación muy prolongado y energético, trae como consecuencias el recalentamiento del cilindro del motor y también que se produzca el autoencendido de la mezcla combustible. El corte de la ignición no produce ninguna mejora, ya que el motor se mantiene funcionando debido al autoencendido.

Todos los motores de combustión interna que trabajan con productos de petróleo y encendidos por chispa originan al quemar un combustible inadecuado la **detonación**, fenómeno que limita la relación de compresión y suele dar origen al autoencendido, que traen como consecuencia una disminución considerable de la potencia de salida

que se puede obtener de un motor y el sobrecalentamiento del mismo, pudiendo terminar todo esto en un deterioro permanente.

Es posible elevar la relación de un motor de combustión interna hasta un grado determinado, dependiendo del tipo de combustible que se utilice, es decir sólo si se dispone de un combustible con un alto número octano, como se muestra en la figura 1.2.

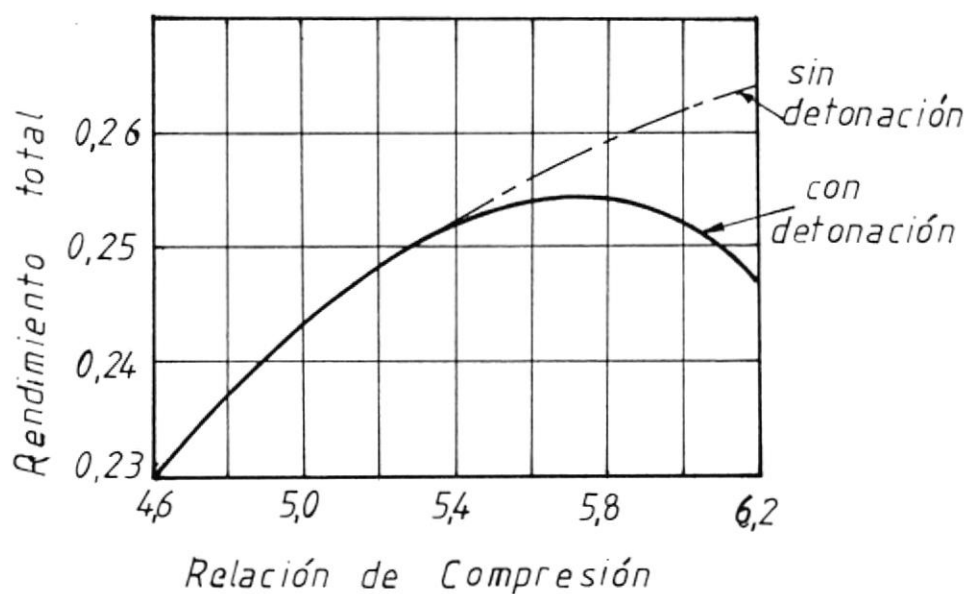


Fig. 1.2.- Efectos de la detonación sobre el rendimiento.

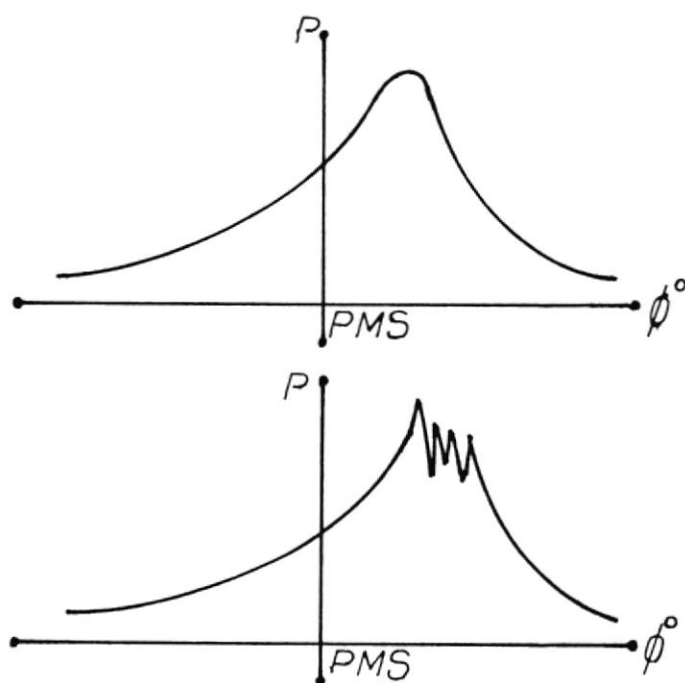


Fig. 1.3.- Combustión normal y con detonación.

La cantidad de mezcla quemada varía, si se varía de alguna manera el instante de encendido del motor, esto es, antes o después del PMS, el avance en el encendido óptimo es el que da el rendimiento máximo ya que el combustible se quema con la relación de expansión media más elevada. Este proceso de calibración se debe realizar de manera muy cuidadosa, ya que un avance exagerado en el instante de encendido provoca un aumento en el trabajo de compresión del pistón y por consiguiente también aumenta la temperatura de la carga, dando lugar a que la última parte de ésta se queme con el pistón cercano al PMS. Ambas situaciones aumentan la tendencia a la detonación. Por esta razón el proceso de detonación se puede eliminar si se disminuye el avance del encendido.

El combustible es un factor altamente influyente en la selección del avance de encendido óptimo y el necesario para la detonación incipiente.

TABLA II

PODERES CALORIFICOS TÍPICOS

Combustible	Poder Calorifico Kcal/kg
Petróleo Crudo	10838
Turba seca	5400
Carbón para vapor	8150
Antracita	8140
Hexano Puro	10760
Tolueno Puro	9710
Alcohol etílico	7060
Gasolina	10800
Diesel Oil	10150

CAPITULO II

BREVE ESTUDIO DEL USO DE ALCOHOLES COMO COMBUSTIBLES.

2.1. INTRODUCCIÓN.

El sector de transportación se enfrenta a un sin número de problemas acumulados. Primero, cerca del 97% de todos los combustibles de transportación se derivan del petróleo. De aquí que el sector de transportación es vulnerable a rupturas del suministro de aceite de regiones inestables del mundo y el aceite importado cuenta como una fracción significativa del balance del déficit comercial de un país. La producción de combustibles de transportación de recursos domésticos sería de un gran beneficio para la reducción de la vulnerabilidad estratégica mejorando el comercio internacional y creando empleo doméstico.

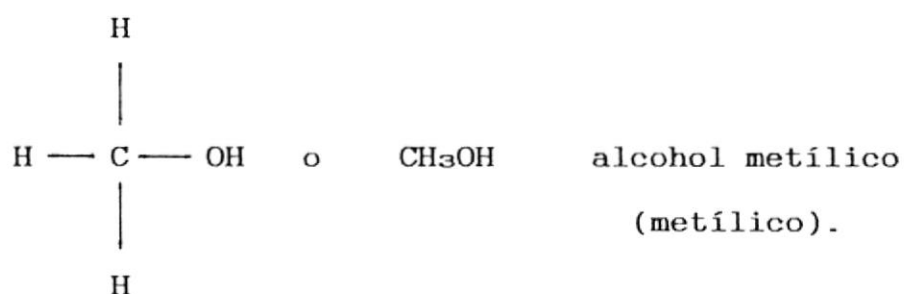
Además de estos réditos económicos, se está promoviendo el impacto de los combustibles de transporte en la polución del aire. El uso de combustibles de transporte es responsable de cerca de 2/3 del CO

formado; el sector de transportación es responsable de la formación de componentes de O_3 dentro de la atmósfera.

Otra área importante es el potencial cambio global del clima, la acumulación de CO_2 del uso de combustibles fósiles está proyectado a atrapar el calor dentro de la atmósfera de lo cual resultan cambios climáticos en todo el mundo. El CO_2 está considerado como el gas de invernadero más grande contando aproximadamente como el causante del 50% del cambio climático global. Además el sector de transportación es responsable de cerca del 27% del CO_2 liberado en la atmósfera. Como resultado el uso de petróleo como combustible de transporte amenaza con un cambio global de clima.

2.2. LOS ALCOHOLES.

Los alcoholes son un producto de la oxidación parcial del petróleo y no se les encuentra en ninguna proporción en el aceite crudo. Los compuestos son saturados, con estructura de cadena de forma general R-OH. En este caso, el radical R es el grupo parafina unido al radical hidróxilo OH. Los alcoholes se asignan por el nombre del radical:



Se ha contemplado, alguna vez, el empleo del alcohol como combustible para motores, ya sea puro o como mezcla alcohol-gasolina. La principal razón para proponer al alcohol como combustible, es que se puede obtener de productos agrícolas y también de desperdicios, en tanto que la gasolina es un recurso natural que está siendo agotado rápidamente. El alcohol tiene la ventaja de las buenas características de antigolpeteo, como lo evidencia su número octano.

2.2.1.- CLASES Y TIPOS DE ALCOHOLES.

A continuación se detallarán algunos de los principales tipos de alcoholes que se utilizan tanto en la industria química como en automotores:

- El alcohol metílico, alcohol de madera. Se puede obtener atacando la viruta de la madera y destilando el líquido que rezume por efecto del calor. Es un líquido incoloro que hierve a 64.6 C y se lo emplea como disolvente en muchas industrias y en razón de su toxicidad, para desnaturalizar el alcohol de vino.
- También se elaboran alcoholes utilizando como materia prima el almidón de la patata y de los cereales o materias azucaradas, tales como las melazas.
- A materias primas tan variadas conviene sumar también el etileno procedente de la coquefacción del carbón o del cracking del petróleo, que mediante hidratación da alcohol.
- Pero el más importante de todos los

alcoholes es el etanol, alcohol etílico o alcohol ordinario ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$). Las bebidas fermentadas lo contienen en proporciones más o menos grandes: de 2 a 5% en la cerveza, de 8 a 15% en los vinos y hasta 60% en los aguardientes.

La destilación del vino da un alcohol que contiene de 4 a 5% de agua. Es un líquido incoloro y poco oloroso, combustible, que hierve a 78.15°C y se solidifica a -132°C . Su densidad es de 0.806 gr/cm^3 . Para obtener alcohol puro, se trata con alguna sustancia (cal viva, carburo de calcio, etc.) inerte respecto del alcohol, más ávida de agua de la cual se apodera. Otro procedimiento consiste en realizar una nueva destilación después de haber agregado benceno: los primeros vapores son de una mezcla de benceno, agua y alcohol, y finalmente queda alcohol absoluto.

El alcohol es un disolvente usado para preparar barnices, medicamentos, etc. Es también materia prima en la producción de

vinagre, éter, cloroformo, acetato de etilo, etc. Como el alcohol absoluto es miscible con los hidrocarburos, se aprovecha para mezclar con gasolina dando un carburante menos calorífico que éste, pero apto para soportar compresiones mayores que ella en los cilindros de los automóviles.

En la actualidad el alcohol etílico se produce en grandes cantidades por síntesis de etileno, obtenido de los gases de craqueo del petróleo. En la industria, dicho método es el más ventajoso. Una cantidad respetable de etanol se forma a partir de los desechos de la industria de la madera. El alcohol etílico también suele denominarse alcohol vínico. Este alcohol se prepara por fermentación de melazas.

La fermentación alcohólica de las melazas es producida por levaduras, la temperatura óptima para la fermentación es de 25-30°C. La esencia del fenómeno de la fermentación alcohólica reside en que el azúcar de uva (glucosa) $C_6H_{12}O_6$, después de pasar por una serie de etapas, se descompone, formando alcohol y dióxido de carbono.

El alcohol es un producto de mucha impor-

tancia en la economía nacional. Hasta hoy día, se consume una gran cantidad de alcohol en la producción de caucho sintético. Se aplica asimismo en la industria farmacéutica para la preparación de medicamentos; en la elaboración de perfumes y agua de colonia; en la fabricación de gomas, lacas y barnices; en la industria de la pólvora sin humo, etc.

- El alcohol desnaturalizado o alcohol de quemar consiste en una mezcla de alcohol etílico con 5% de alcohol metílico y alguna otra sustancia que, por su color, olor y sabor lo convierten en un líquido impropio para ser bebido.

Tiene usos industriales y se utiliza también como combustible para hornillos pequeños.

También se usa como combustible el alcohol solidificado, que es alcohol de quemar amasado con jabón o acetato de sosa.

2.2.2. TIPOS DE ALCOHOLES EMPLEADOS COMO COMBUSTIBLES.

Al igual que los hidrocarburos saturados, los alcoholes monohidroxílicos forman series homólogas regulares.

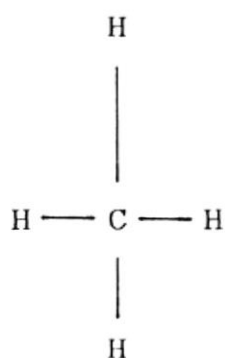
Lo mismo que en otras series homólogas, cada término de la serie de alcoholes difiere en su composición del término precedente y del subsiguiente en la diferencia homóloga de un CH_2 .

Existen procesos a través de los cuales el metano puede cambiar, y transformarse en alcohol metílico. Un átomo de hidrógeno se desprende de cada molécula y se lo sustituye por un radical hidróxilo; este último es un grupo oxígeno-hidrógeno.

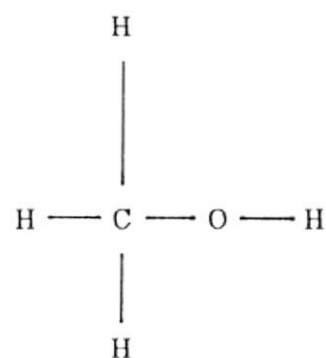
Dos diferentes tipos de alcoholes son de principal interés, el alcohol etílico (etanol) y el alcohol metílico (metanol), los cuales son empleados ampliamente como combustibles para automotores, estos pueden ser producidos por productos de hidrocarburos o de biomasa. El etanol puede ser producido de una amplia gama de materia de biomasa (celulosa, almidones y azúcares),

para obtenerlos se emplean procedimientos muy simples, aprovechables y desarrollados, tiene un amplio rango de aplicaciones potenciales, como la química de almacenamiento de alimentos, y su uso en mezclas con gasolina o incluso sustituyéndola completamente, no proporciona serios problemas técnicos ni contaminación con el medio.

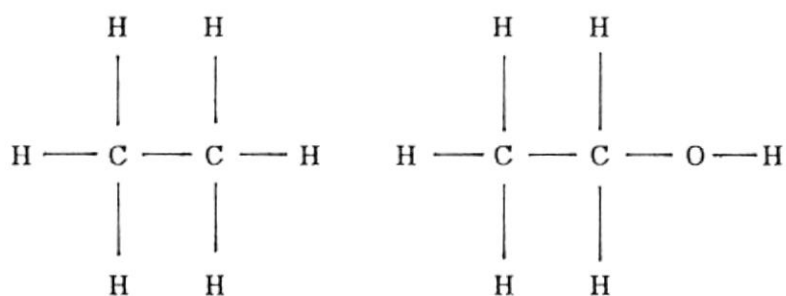
En la figura se puede apreciar la estructura molecular de los dos tipos de alcoholes estudiados como combustibles en los motores.



a) Metano (CH₄)



b) Alcohol metílico.
(CH₃OH)

c) Etano (C₂H₆)

d) Alcohol etílico

(C₂H₅OH)

El proceso a través del cual se obtiene alcohol metílico, esto es destilándolo de la madera, no se ha logrado desarrollar completamente. El metanol tiene también una más limitada aplicación como químico para materias crudas que el etanol. El metanol presenta dos características muy importantes, éstas se pueden mencionar de la siguiente manera: Primero, el metanol aumenta aproximadamente en un 10% la potencia de un motor que trabaja en iguales condiciones, pero con gasolina, y segundo, debido a su elevado calor latente de vaporización ayuda a retirar el calor del motor provocado por la combustión, es por esto que desde hace ya muchos años este combustible se utiliza ampliamente en los

motores de los carros de carrera.

El utilizar metanol como combustible de un motor convencional, representa un cambio completo del carburador, además debido que el calor de combustión del metanol es de casi el 50% del de la gasolina, sería necesario llenar el depósito de combustible del vehículo, una cantidad que representaría el doble que con gasolina.

Los principales problemas que se presentan cuando se utiliza metanol como combustible, son los siguientes: miscibilidad con el agua, con la gasolina, separación de fases (agua-metanol y gasolina-metanol), vaporización del metanol, lubricación y corrosión.

Existen factores puntuales que acentúan el problema de miscibilidad entre el metanol y la gasolina, así se puede decir, que este problema es mayor cuando, la mezcla se encuentra a bajas temperaturas, cuando en contenido de agua es muy elevado, tanto en el metanol, como en la gasolina, y cuando la concentración de aromáticos en la gasolina es baja.

En ciertas condiciones se presentan pro-

blemas de atascamiento por vapor de gasolina, lo que interrumpe el funcionamiento de los motores, este inconveniente no se presenta cuando se emplea metanol como combustible.

La diferente composición química de un alcohol como el metanol puede presentar ciertos problemas en la lubricación de los vehículos, pero en países en donde el uso de este combustible es muy desarrollado, se emplea lubricante con cierto número de aditivos especiales, para solucionar este problema.

El uso de inhibidores especiales, evita tener problemas de corrosión cuando se emplea metanol como combustible, problema que no es muy grande. La composición química del metanol puede atacar a cierto tipo de plástico causando problemas, por eso, es recomendable el cambiar estas piezas por componentes metálicos.

2.3. EL ALCOHOL ETILICO COMO CARBURANTE EN UN MOTOR A GASOLINA.

El alcohol puede ser producido de abundantes recursos naturales renovables, incluyendo el maíz y otros cultivos de almidón y biomásas lignocelulósicas, con lo cual se reduce el riesgo en las fallas de suministros de productos derivados del petróleo y mejorando las condiciones socio-económicas de un país, debido a las nuevas fuentes de empleo doméstico.

El uso más general del alcohol etílico como carburante de motores es en mezcla directa con gasolina, pero existen además otras maneras de utilizarlo; así por ejemplo, un componente de tri-etílico éter butil o como combustible neto, en este caso mejorando la calidad del aire de la atmósfera.

Siendo el empleo más inmediato y sencillo del alcohol etílico en mezcla con gasolina, este tipo de mezclas han sido utilizadas en muchos países durante muchos años. Ensayos realizados en muchos países y especialmente en Brasil, indican que una mezcla de alcohol y gasolina con menos del 20% de etanol, no requiere cambios en el sistema de combustible ni en el motor del automóvil, excepto sincronización (ajuste de chispa y mezcla). Considerado como componente de la gasolina, el alcohol etílico se compor-

ta, volumen por volumen, como una gasolina premium de número de octano estimado en 120.

Es importante recalcar, que con la mezcla alcohol-gasolina se han obtenido en términos generales mayores rendimientos de combustible (5-10% de mayor kilometraje por galón), que con la gasolina pura, y puede decirse que hasta un 20% de metanol en la gasolina motor no presenta problemas.

2.3.1.- PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL ETANOL.

Al comparar ciertas **propiedades físicas** de los alcoholes que entran en la serie homóloga, se comprueba que existe cierta regularidad. Dicha regularidad se evidencia con mayor claridad en los cambios de los puntos de ebullición de los compuestos de estructura normal.

La semejanza del metanol con el agua se refleja en su solubilidad. El alcohol etílico (etanol), es soluble en agua en cualquier proporción. Las moléculas del agua, lo mismo que las moléculas del etanol, se destacan por su alto momento dipolar y por son capaces de reaccionar entre sí. Este fenómeno aclara la alta solubilidad del

etanol en el agua. Además los alcoholes pueden formar hidratos con el agua. Dicho fenómeno queda comprobado con el aumento de la temperatura al mezclar etanol con agua y por ser el volumen de la mezcla obtenida menor que la suma de los volúmenes por separado del alcohol y del agua.

La densidad de los alcoholes (etanol) es siempre menor que la unidad, es decir, que todos los alcoholes son más livianos que el agua. Los alcoholes tienen un olor característico <<de alcohol>>, más débil en los términos inferiores y más fuerte en los términos medios, que a veces llega a ser desagradable.

Las propiedades del etanol que afectan la eficiencia de combustión del motor (poder calorífico, punto de inflamación, presión de vapor, autoignición, límites de flama-bilidad y razón de octanaje) son sustancialmente diferente comparados a los combustibles de hidrocarburos.

Dentro de sus **propiedades químicas**, se tiene que el etanol no presenta propiedades ácidas ni básicas bien acuzadas. Tanto el etanol como sus soluciones apenas

smiten la corriente eléctrica. Los enlaces de los átomos de los alcoholes son homopolares y menos polarizados que el agua. Gracias a su accesibilidad y afinidad para tomar parte en un gran número de reacciones químicas, los alcoholes juegan un papel importante en diversas síntesis.

Es imposible conseguir la separación perfecta del alcohol y del agua por destilación ordinaria, porque se forma una mezcla de punto de ebullición constante (mezcla azeotrópica), cuyo punto de ebullición es de $78,15^{\circ}\text{C}$.

2.3.2. USO DEL ETANOL COMO SUSTITUTO DE LA GASOLINA.

El etanol puede ser usado por lo menos de tres diferentes formas como combustible de transportación: como mezcla directa, como mezcla de tri-etílico éter butil (ETBE) o como combustible neto. La tabla 2.1 resume características importantes de cada uno, así como también del metanol y la gasolina. Generalmente la mezcla directa del 10% de etanol con gasolina están

apoyadas dentro de los Estados Unidos por provisiones de los impuestos estatales y federales.

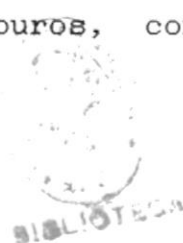
Las mezclas de etanol extienden el suministro de gasolina por el desplazamiento del uso de gasolina. Además, el etanol incrementa el octanaje de la gasolina a la cual se agrega desplazando la necesidad de componentes aromáticos. El etanol provee también de oxígeno a la mezcla.

El etanol puede reaccionar con el iso-butileno para formar ETBE. ETBE provee beneficios similares a las de la mezcla directa de etanol como un extendedor de combustible, mejorador de octanaje y oxigenador. Fuera de todo esto en contraste con la mezcla directa de etanol con gasolina, la cual incrementa la presión de vapor de la mezcla, la adición de ETBE a la gasolina disminuye la presión de vapor de la mezcla. Este es un atributo importante, ya que la disminución de la presión de vapor disminuye la formación de O_3 en las ciudades grandes.

El etanol puede ser usado como un **combustible neto** en varias formas; por ejemplo,

en Brasil las mezclas de 95% de etanol y 5% de gasolina, son usados como un combustible. Alternativamente puede ser reemplazado por una mezcla de 85% de etanol y 15% de gasolina, llamada E85. En forma similar la mezcla de 95% de etanol y 5% de gasolina llamada E95 puede ser usada como combustible neto.

El uso de etanol como combustible puro tiene un sin número de ventajas. Debido a sus buenas propiedades combustibles como son un alto octanaje y un alto calor de vaporización, los motores pueden ser modificados para funcionar más eficientemente, y el etanol puede gozar de aproximadamente un 20% de mejoramiento en la eficiencia respecto a la gasolina. El etanol tiene además una baja volatilidad, por lo tanto se evapora menos en la atmósfera para romper el ciclo natural del ozono. Además debido a que el etanol tiene una baja reactividad fotoquímica no interfiere tan rápidamente con el ciclo de O_3 como lo hacen los otros hidrocarburos, como la gasolina.



PROPIEDADES FÍSICAS	ETANOL		METANOL		ETBE		MTBE		ISOOCTANO		HEXANA REGULAR	
	CH ₃ -CH ₂ -OH	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -OH	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃	CH ₃ -CO-CH ₂ -CH ₃
PESO MOLECULAR	46.07	32.04	790	790	102.18	98.15	114	720-780	NA	NA	NA	NA
DENSIDAD, KG/M ³ (20°K)	790	790	714	714	42.86	35.71	59.5	57.82	14.6	41800-44000	31350-33000	91-93
RELACION ESTEQUIOMETRICA AIRE/COMB. Molecular	14.29	7.14	6.48	6.48	12.10	11.69	15.1	15.1	15.1	44420	30650	377-502
Molar	9.02	4.51	3.24	3.24	7.26	7.03	9.06	9.06	9.06	44420	30650	377-502
PODER CALORIFICO ALTO, KJ/Kg	26780	19919	19919	19919	36031	35270	44420	44420	44420	44420	44420	44420
PODER CALORIFICO BAJO, KJ/Kg	21156	15736	15736	15736	27023	26100	30650	30650	30650	30650	30650	30650
NUMERO OCTANO RESULTANTE (NO)	106	106	106	106	118	106	100	100	100	100	100	100
CALOR DE VAPORIZACION, KJ/Kg	839	1104	1104	1104	308	329	406	406	406	406	406	406
PUNTO DE ENCENDIDO, K	697	737	737	737	563	733	583	583	583	583	583	583
SOLUBILIDAD EN AGUA, PESO %	100	100	100	100	2	4.3	INSOLUBLE	INSOLUBLE	INSOLUBLE	INSOLUBLE	INSOLUBLE	INSOLUBLE
Combustible en agua	100	100	100	100	0.6	1.4	INSOLUBLE	INSOLUBLE	INSOLUBLE	INSOLUBLE	INSOLUBLE	INSOLUBLE
Agua en combustible	15.95	214.4	214.4	214.4	30.3	53.8	49.3-96.5	49.3-96.5	49.3-96.5	49.3-96.5	49.3-96.5	49.3-96.5
PRESION DE VAPOR, KPa	80.7-196	80.7-196	80.7-196	80.7-196	20.7-34.5	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1
Combustible puro	80.7-196	80.7-196	80.7-196	80.7-196	20.7-34.5	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1
Mezcla	80.7-196	80.7-196	80.7-196	80.7-196	20.7-34.5	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1

TABLA III. Propiedades de los alcoholes y sus derivados

El etanol también tiene una baja toxicidad, de tal forma que reduce su impacto medio ambiental cuando es usado como combustible neto, una desventaja en el uso del etanol se relaciona con su dificultad de arrancar en frío, causada por la baja presión de vapor del etanol. El desarrollo de los depósitos adecuados para el arranque en frío o la adición de un combustible más volátil como es la gasolina E85 podría compensar este problema. El etanol además contiene cerca de 2/3 de contenido de energía volumétrica de gasolina de tal forma que reduce la distancia que puede ser usada una cantidad de combustible dada.

De cualquier forma ya que la razón de compresión de los motores puede ser incrementada para alcanzar una eficiencia mayor con el etanol, el rango puede ser extendido a cerca del 80% de lo que sería con gasolina. La necesidad primaria para el uso general del etanol como un combustible neto es disminuir su precio para que sea competitivo con la gasolina.

El etanol hidratado tiene significativamente diferentes propiedades de combustión

que la gasolina de destilación directa. Para maximizar el rendimiento con etanol hidratado, el diseño del motor necesita ser diferente (incluyendo una alta razón de compresión), para tomar ventaja de su alto número de octanaje (aprox. 110 NO), y de sus características físico-químicas.

2.4. ANALISIS COMPARATIVO DEL COSTO DEL ALCOHOL ETILICO
(ETANOL) FRENTE AL DE LA GASOLINA.

- GASOLINA EXTRA.

$$(S/.1460/ 1gal.)*(1gal./3.784lt.)*(1lt./10^3cm^3)*$$

$$*(1cm^3/0.7258gr.)*(10^3gr./1Kg) = S/.531.599/Kg$$

- GASOLINA ECO92.

$$(S/.1900/ 1gal.)*(1gal./3.784lt.)*(1lt./10^3cm^3)*$$

$$*(1cm^3/0.7258gr.)*(10^3gr./1Kg) = S/.691.808/Kg$$

- GASOLINA SP92 (SUPER).

$$(S/.2460/ 1gal.)*(1gal./3.784lt.)*(1lt./10^3cm^3)*$$

$$*(1cm^3/0.7258gr.)*(10^3gr./1Kg) = S/.895.709/Kg$$

- ALCOHOL ETILICO (ETANOL).

$$(S/.1956/ 1 lt.)*(1lt./10^3cm^3)*(1cm^3/0.82gr.)*$$

$$*(10^3gr./1Kg) = S/.2385.366/Kg$$

En las refinerías del país se producen tres tipos diferentes de gasolinas, que son las siguientes: gasolina extra, gasolina sin plomo de 92 octanos y

actualmente también la gasolina ECO. En una situación similar, en el país existen dos plantas industriales destiladoras, capaces de producir alcohol de alta pureza. El uso de etanol como combustible se ve limitado a factores económicos, puesto que realizando un breve estudio comparativo se puede apreciar lo siguiente:

El precio del etanol tiene un 77.74% de diferencia con el de la gasolina extra, una diferencia de 70.9-9% con la gasolina ECO y una diferencia de 62.45% con la gasolina sin plomo de 92 octanos.

Como se puede apreciar, económicamente en el Ecuador no es rentable, pero existen un sinnúmero de factores que se deben de tomar en cuenta para justificar el uso del etanol como un combustible alternativo. En primer lugar un motor trabajando con etanol es capaz de desarrollar una potencia más elevada, siempre y cuando se encuentre acondicionado con una mayor relación de compresión debido a que el combustible lo permite, y que tenga una calibración adecuada, además el etanol es un combustible producto de recursos netamente naturales y por ende recuperables. La política hidrocarburífera del Ecuador, se encuentra centralizada en la extracción y producción de petróleo y sus derivados, por esta razón el consumo de etanol se convierte en una actividad muy exclusi-

va. El promover una producción a nivel industrial de etanol, con el correspondiente apoyo gubernamental, abarataría los costos y los precios, volviendo más tangible la posibilidad de emplear el alcohol etílico como carburante.

En países como Estados Unidos se producen aproximadamente 3.8 Gigalitros (1 billón de galones) de etanol provenientes de maíz y de otros productos de almidón al año. También han sido definidas oportunidades para reducir el costo de producción de etanol de la biomasa lignocelulósica para ser competitiva con la gasolina cerca de 10 años sin estímulos de impuestos.

Cerca de 15 Gigalitros (4 billones de galones) de etanol se producen por año a partir de la caña de azúcar en Brasil. De cualquier manera, los precios del azúcar son controlados a un valor de \$0.44/Kg. en los Estados Unidos y, como resultado, solo el costo del etanol está en el orden de \$0.7/lt. De aquí que la producción de etanol a partir de la caña de azúcar es demasiado cara para ser realizada a gran escala en los Estados Unidos.

En el Ecuador como ya se ha mencionado anteriormente existe una problemática diferente a la de los otros dos países (Brasil y Estados Unidos), pues las dos plantas destiladoras producen alcohol de caña de

azúcar; la utilización de la caña de azúcar en este país, abarca dos fines principales: la producción de azúcar (cerca del 60%) y la producción de alcohol (cerca del 40%). En la actualidad, la tasa de producción de caña de azúcar alcanza a 105.73 ton/ha., esto es, un incremento del 0.6% anual. El costo de producción de etanol en el Ecuador, si se lo compara con precios internacionales es realmente muy elevado y por ende poco conveniente económicamente, el valor es de \$1.06/lt. Si de el total de la producción de caña de azúcar, solo el 40% se destina para la producción de alcohol, esto significa que la cantidad de alcohol que se produciría sería de aproximadamente 2.1 Gigalitros por hectárea, si a esto agregamos la posibilidad de extraer alcohol de un sinnúmero de productos naturales, diferentes de la caña de azúcar; se aprecia la alta capacidad de producción que se puede alcanzar en el Ecuador. Pero el verdadero desarrollo en la producción de alcohol radica en una política subsidiaria de parte del estado que no recargue con impuestos tan elevados a este producto.

CAPITULO III

EQUIPO EXPERIMENTAL.

3.1. ESPECIFICACIONES, DESCRIPCION Y DATOS TECNICOS DEL EQUIPO.

Todos los motores de fabricación moderna, son sometidos a una larga serie de pruebas experimentales; éstas se alternan con pruebas de duración y de carga que, después de una cuidadosa puesta a punto, se repiten hasta alcanzar los resultados previstos en el proyecto.

El número y modalidad de las pruebas, así como los instrumentos empleados para efectuarlas, varían al variar el tipo de motor, de las condiciones de producción y de su empleo.

Para desarrollar el experimento se utilizó un banco de pruebas para motores a gasolina de cuatro tiempos, equipo que fue donado por el gobierno Británico; el banco de pruebas es del tipo CUSSONS, el motor se encuentra adaptado al mismo, formando un solo sistema, el cual es una estructura de acero

soldada y empernada.

El banco de pruebas cuenta con diversos equipos para realizar las mediciones de los diferentes parámetros que describen el funcionamiento del motor; así, a breves rasgos, se pueden mencionar los siguientes:

- Dinamómetro hidráulico, el cual es capaz de absorber una potencia máxima de 110 KW (150 HP) a una velocidad máxima de 7500 RPM.
- Medidor de flujo de combustible, el cual es un bulbo transparente cuya capacidad está graduado mediante una escala de hasta 50 ml.
- Tacómetro, siendo éste, eléctrico, con un sensor colocado en el eje del freno hidráulico y cuya escala es capaz de llegar hasta 105 RPS.
- Medidor de flujo de aire, el cual está graduado en una escala de centímetros de agua, para poder realizar las mediciones cuando el motor trabaja con alcohol.
- Medidor de presión de aceite, este instrumento indica la presión de aceite en el interior del motor, con la finalidad de indicar en que condiciones de trabajo se encuentra el mismo.

Todos estos instrumentos de medición se encuentran adaptados en el banco de pruebas, el tipo de motor que se utiliza es un motor de marca FORD de modelo CORTINA 2262 E-1300 c.c. de cilindraje de alta y

baja compresión; motor multicilíndrico cuatro en línea, de cuatro tiempos encendido por chispa.

3.2. INSTRUMENTOS DE MEDICION.

3.2.1.- DINAMOMETRO HIDRAULICO.

Los frenos de agua se emplean cuando se tiene cargas muy pesadas y altas velocidades ya que la capacidad es aproximadamente proporcional al cubo de la velocidad de giro, como se ilustra en la figura 3.1. Sin embargo, a bajas velocidades la capacidad de absorción es relativamente limitada. En contraste con el freno de Prony con su par torsional constante, el freno de agua no atasca o para el motor, que está bajo estudio. Si el motor se carga hasta su capacidad, por lo cual disminuye su velocidad, también disminuirá la carga del freno sobre el motor y el operador tendrá tiempo para reajustar la carga y corregir la velocidad hasta el valor deseado.

En la figura 3.2 se muestra una forma de freno de agua empleado para absorber una gran potencia, tanto en altas como en bajas velocidades, y en la figura 3.3 se muestra un corte del mismo. El rotor consta de un cierto número de cavidades apro-

ximadamente semielípticas y las cargas interiores de la cubierta contienen cavidades similares. El agua surtida a la cubierta, pasa a través de agujeros en sus cavidades y entra a las del rotor. El movimiento de remolino ocasionado por la fuerza centrífuga, hace que el agua sea regresada a las cavidades de la cubierta repitiéndose así mismo una y otra vez, este proceso de alta turbulencia. Un freno de este tipo es esencialmente estable y sostendrá cargas parciales con poca variación o ligeras posibilidades de descarga.

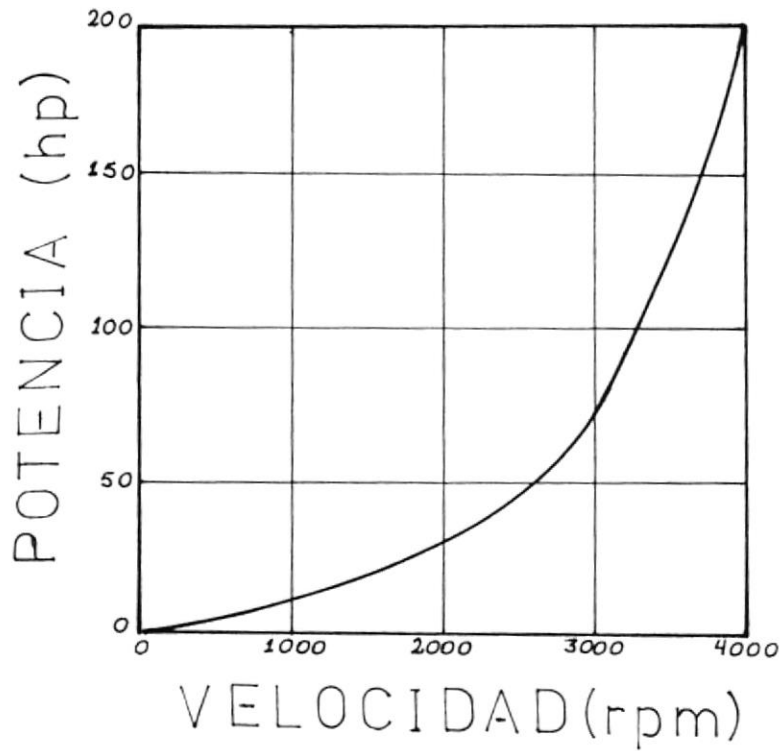


Fig. 3.1.- Curva de comportamiento de un freno de agua.

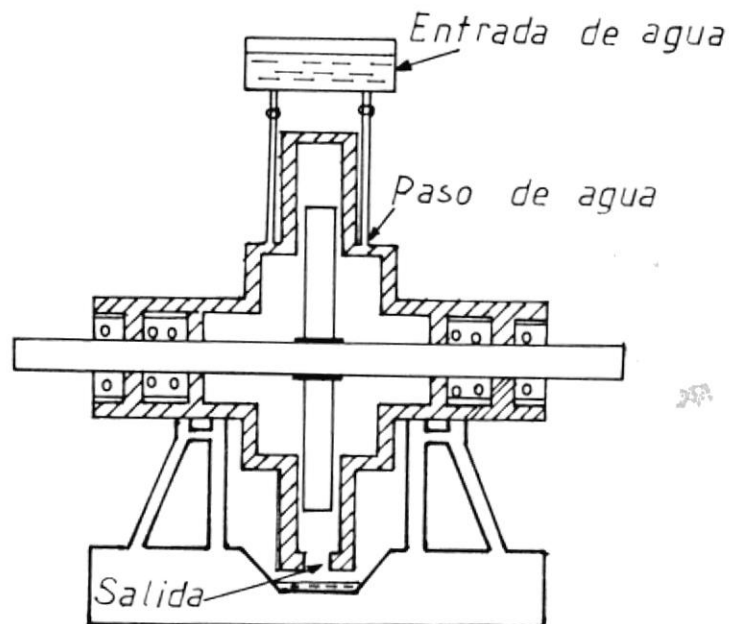


Fig. 3.2.- Freno de agua Heenan-Froude.

La absorción de energía se manifiesta por la elevación de la temperatura del agua, debiendo disponerse de suficiente líquido para absorber la potencia máxima.

3.2.2.- MEDIDOR DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.

Para poder realizar la medición del flujo de combustible, fue necesario utilizar un dispositivo especial, el cual es un bulbo de vidrio transparente que está graduado con una escala de 50 c.c.. El bulbo tiene dos partes estrechas (estrangulamiento) y una parte esférica, en las porciones más estrechas el combustible pasa a mayor velocidad. Para realizar la medición se lleva el motor a una determinada condición de operación estable y en ese momento se cierra la válvula de suministro de combustible; una vez que el combustible atraviesa la primera marca del bulbo se comienza a tomar el tiempo de consumo con la ayuda de un cronómetro; el tiempo en el cual el combustible tarda en llegar hasta la última marca del bulbo, es el denominado tiempo de consumo.

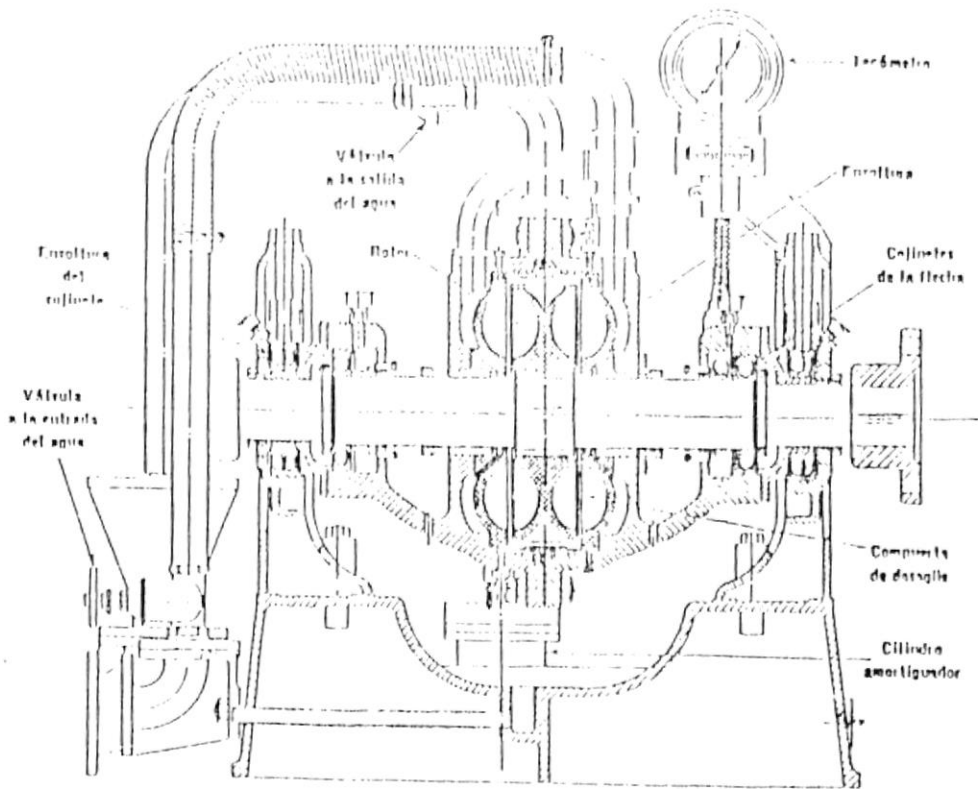


Fig. 3.3.- Sección transversal de un dinamómetro.

3.2.3.- MEDIDOR DE CONSUMO DE AIRE.

Debido a que no se cuenta con un dispositivo que permita medir la velocidad del aire de admisión en el motor, y por lo tanto no existe manera de calcular el gasto necesario para el funcionamiento del motor, se utiliza otro sistema de medición, el cual es un recipiente especial que es capaz de deflecar el aire de admisión para que el mismo produzca una presión sobre un diafragma de caucho sintético, la cual es sensada en un manómetro de alta sensibilidad graduado con una escala de centímetros de agua. La admisión de aire del sistema está conectado al carburador por medio de una manguera de caucho.

3.2.4.- SISTEMAS DE REFRIGERACION DEL MOTOR.

La combustión regular produce en los motores alternativos temperaturas máximas comprendidas entre 1700 y 2500 grados centígrados. Una parte del calor es producido por las paredes del cilindro y del pistón, por la culata y por las válvulas. Si estas

partes no están debidamente refrigeradas, pueden alcanzar temperaturas tan elevadas como para producir daños que perjudicarían completamente el funcionamiento del motor. El método empleado para mantener la temperatura del motor dentro de rangos aceptables, es por medio de intercambiadores de calor de contraflujo; con esta finalidad se utilizan dos intercambiadores de calor diferentes; el primero, es un intercambiador agua/agua, éste es necesario debido a que el motor no posee radiador, el sistema consta de una torre de enfriamiento y un reservorio para el circuito cerrado de agua del motor; el otro intercambiador de calor es aceite/agua utilizado para el circuito de enfriamiento del aceite. Ambos sistemas de intercambiadores de calor utilizan el agua como medio de refrigeración.

3.3. CARBURADOR ADAPTADO AL MOTOR PARA SU FUNCIONAMIENTO CON ALCOHOL.

3.3.1.- DESCRIPCION.

El proceso de carburación, en el cual, el combustible utilizado en el motor y el aire, forman una mezcla explosiva que al ser inflamada en el cilindro del motor produce la rotación del cigueñal. Esto, a su vez, requiere que se lleve el combustible al estado de gas o vapor y que se realice la mezcla de estos vapores con aire en la forma más perfecta posible, para obtener un funcionamiento más eficiente del motor.

En el caso de emplear un carburador diseñado para trabajar con alcohol, se tendrá presente que el principio de funcionamiento no difiere del de un carburador que trabaje con gasolina. Tanto así que el carburador para alcohol requiere de los mismos sistemas adicionales para volver su operación altamente eficiente; así por ejemplo, el sistema de flotación, el sistema de marcha mínima (relantín), el sis-

tema de bombas de aceleración, el sistema de dosificación principal, el sistema de alta velocidad y el sistema de estrangulamiento.

La relación aire-combustible que debe existir en un motor que está trabajando con alcohol es de 9 a 1, por lo tanto el carburador para alcohol debe ser capaz de suministrar más combustible para el correcto funcionamiento del mismo; es justamente el tamaño de los surtidores de los carburadores, lo que representa la diferencia entre el carburador de alcohol y el de gasolina. En la figura 3.4 se muestra esquemáticamente un carburador para alcohol con sus partes principales.

3.3.2.- PROBLEMAS PRESENTADOS EN EL PROCESO DE ADAPTACION DEL CARBURADOR AL MOTOR.

Para poder adaptar el carburador de alcohol al motor del laboratorio (Ford Cortina 1300 c.c.), fue necesario fabricar una base especial que permitiera este acople. La base fue construida utilizando dos platinas de hierro de 8 mm de espesor, las cuales fueron cortadas respetando las medidas y formas exactas de las correspondientes bases, tanto del carburador como del múltiple de admisión; la unión de ambas se realizó mediante un tubo de hierro soldado a las mismas.

Para conseguir que el cable del acelerador conservara el correcto alineamiento con respecto a la válvula de mariposa de aceleración del carburador, fue necesario construir una base de hierro para el mismo, la cual fue realizada de un pequeño tramo de una viga C de hierro acoplada a una platina de 3mm de espesor.

Al realizar las pruebas con alcohol como combustible del motor se presentó un problema en las tuberías de abastecimiento

del mismo, por ser de caucho sintético, se comenzaron a descomponer, para evitar este problema fue necesario reemplazarlas por medio de mangueras de un material especial resistente a los efectos del alcohol etílico (etanol). Otro de los problemas que se presentó fue el obtener el punto óptimo de funcionamiento del motor, pues la relación aire-combustible es diferente para un motor que trabaja con alcohol que para un motor que trabaja con gasolina. Para lograr el arranque del motor cuando se encuentra frío, fue necesario utilizar gasolina en el carburador de alcohol, hasta que el motor alcance una temperatura lo suficientemente elevada como para que no de problemas durante el trabajo del motor con alcohol, esta temperatura es aproximadamente de 85 a 90 grados centígrados, durante un periodo de tiempo prudente de 5 minutos.

Con todos estos problemas solucionados se logró llevar el motor hasta las condiciones de funcionamiento adecuadas para su trabajo con alcohol.

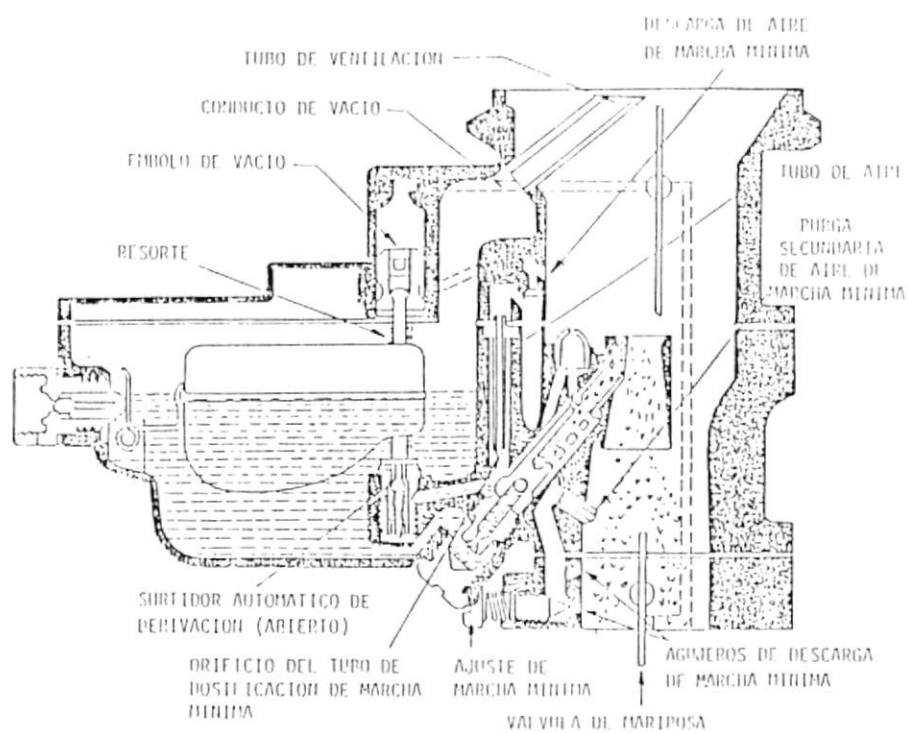


Fig. 3.4.- Diagrama esquemático del carburador de alcohol.

CAPITULO IV

TRABAJO EXPERIMENTAL.

4.1. PRUEBAS EXPERIMENTALES.

Las pruebas experimentales desarrolladas en el laboratorio, tuvieron como finalidad obtener mediciones y resultados de los diferentes parámetros que describen el funcionamiento de un motor de combustión interna, las pruebas se realizaron tomando mediciones del mismo motor tanto trabajando con gasolina como con alcohol etílico; los principales parámetros que se obtuvieron fueron: potencia efectiva del motor, torque del eje, consumo específico de combustible, relación aire-combustible; además, se obtuvo el ángulo óptimo de encendido de la chispa.

4.1.1.- PUESTA A PUNTO DEL MOTOR CON ALCOHOL.

Para lograr poner a punto el motor fue necesario realizar ciertos ajustes y cambios al banco de pruebas, al mismo tiempo

fueron necesarios ciertos procedimientos de limpieza; así por ejemplo, fue necesario desmontar la culata del motor, pues el mismo requería de limpieza en la cabeza de los pistones (descarbonización), debido que presentaban una gran acumulación de depósitos de carbón; además, se cambió el empaque que tenía por uno de menor espesor, esto fue con la finalidad de aumentar la relación de compresión a una relación de 10 a 1 para obtener mayores potencias y consumos de combustible más bajos, también se procedió a medir el diámetro de la cabeza del pistón y la carrera del mismo. La relación de compresión se determinó de la siguiente manera:

Diámetro del pistón =	8.10 cm ³
Carrera del pistón =	6.30 cm ³
Area del pistón =	51.53 cm ²
Volumen de la cámara =	31.00 cm ³
Espesor del empaque =	0.10 cm ³
Relación de compres. =	10.00

La relación de compresión fue calculada de la siguiente manera:

$$\zeta_c = (V_d + V_c) / V_c$$

en donde:

V_d = volumen de desplazamiento.

área del pistón * carrera (cm^3)

$$51.53 * 6.3 = 324.64 \text{ cm}^3$$

V_c = volumen de la cámara + volumen de empaque

$$31.00 + (51.53 * 0.1) = 36.15 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto:

$$\tau_c = (324.64 + 36.15)/36.15 = 10$$

Además de estos cambios fue necesario realizar una limpieza en el intercambiador de calor agua/agua para el sistema de enfriamiento del motor, recalibrar válvulas, cambiar de platinos, bujías y condensos, y de aceite, pues posteriormente el mismo tendría que ser analizado en un laboratorio especializado.

4.1.2.- TECNICA OPERATIVA.

Las pruebas se desarrollaron con dos diferentes porcentajes de abertura del acelerador; unas se realizaron al 100% de abertura con la finalidad de obtener las máxi-

mas potencias posibles y las otras se realizaron con una abertura de 50% del acelerador, para establecer parámetros comparativos durante el funcionamiento del motor; además, se realizó una prueba que simulaba el funcionamiento de un motor con alcohol en una ciudad, con variaciones bruscas de aceleración y de carga, mediante el freno hidráulico. Para cada una de las diferentes aberturas del acelerador se tomaron varias pruebas con la finalidad de obtener un número conveniente de datos, Las pruebas desarrolladas se describen a continuación:

VARIACION DE LA VELOCIDAD MANTENIENDO EL ACELERADOR COMPLETAMENTE ABIERTO.

Esta prueba se realiza para determinar los diferentes parámetros que describen el funcionamiento del motor.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

- a.- Se debe arrancar el motor utilizando gasolina hasta obtener una temperatura mínima de 80 grados centígrados en el agua de salida del mismo, esto debe realizarse por lo menos durante

5 minutos.

- b.- Se incrementa la velocidad hasta 4560 RPM.
- c.- Se aumenta la carga al eje y se lo vuelve a llevar hasta 4560 RPM, ésto se realiza hasta obtener una abertura de 100% del acelerador.
- d.- Tomar la primera lectura de torque, consumo de combustible (tiempo), cabezal de consumo de aire (cm. de agua), revoluciones del motor.
- e.- Aumentar la carga del freno hasta obtener una disminución de 240 RPM en la velocidad.
- f.- En estas nuevas condiciones de operación realizar una toma de medidas de los parámetros mencionados anteriormente en el literal d.
- g.- Una vez realizada la toma de medidas, repetir lo pasos especificados en los literales e y f. Esto se realizará hasta llegar a una velocidad de aproximadamente 1500 RPM.
- h.- Terminada la prueba proceder a aliviar la carga del motor y a cerrar la abertura de la válvula del carbura-

dor.

VARIACION DE LA VELOCIDAD MANTENIENDO EL ACELERADOR PARCIALMENTE ABIERTO.

En esta prueba se tiene como finalidad establecer puntos de comparación para las diferentes condiciones de trabajo del motor, se deben tomar medidas de los mismos parámetros mencionados en la prueba anterior.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

- a.- Se debe arrancar el motor con gasolina y se lo mantiene encendido hasta que la temperatura del agua de salida sea de aproximadamente 80 grados centígrados, durante un tiempo de 5 minutos.
- b.- Se abre la válvula del carburador hasta llegar a una velocidad de 3960 RPM.
- c.- Se procede a aumentar la carga del freno y se sigue abriendo la válvula del carburador para mantener la velocidad constante, ésto se realiza hasta llegar a una abertura de 50% aproximadamente.

- d.- Una vez que se ha llegado a las condiciones de operación adecuadas, se espera a que el sistema se estabilice.
- e.- Con el sistema estabilizado se toman medidas de los parámetros del motor, mencionados en el punto d de la prueba anterior.
- f.- Se aumenta la carga del freno sobre el motor, hasta disminuir en 120 RPM la velocidad y se espera nuevamente a que se estabilice el sistema.
- g.- De manera sucesiva se deben repetir los pasos especificados en los literales e y f.

VARIACION DEL TIEMPO DE ENCENDIDO.

Para conocer la variación de los parámetros de funcionamiento del motor, dependiendo de la posición que tiene el distribuidor (ángulo); de igual forma se trata de obtener el ángulo de encendido más adecuado (óptimo).

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

- a.- Se debe arrancar el motor utilizando

para ello gasolina hasta obtener que el agua de salida alcance una temperatura de 80 grados centígrados, durante un tiempo de 5 minutos.

- b.- Abrir la válvula del acelerador hasta llegar a una velocidad de 4150 RPM.
- c.- Aumentar la carga del freno y abrir el acelerador para mantener la velocidad. Se debe repetir esta operación hasta obtener un abertura del 100% y una velocidad de 4150 RPM.
- d.- Mediante movimientos manuales, se cambia la posición del distribuidor a diferentes ángulos de encendido.
- e.- Para cada una de las posiciones del distribuidor se realizan mediciones de torque y consumo de combustible. Posteriores al necesario tiempo de estabilización del sistema.
- f.- Con todas las medidas necesarias se procede a descargar el motor y a disminuir la abertura del acelerador, ésto hasta llevar el motor a condiciones de marcha mínima.

SIMULACION DE UN MOTOR FUNCIONANDO CON ALCOHOL EN LA CIUDAD.

En esta prueba fue necesario en primer lugar redactar las diferentes condiciones de operación a las que se somete un motor cuando trabaja en la ciudad; esto es, aceleraciones bruscas, marcha mínima, sobrecargas bruscas, cargas lentas, etc.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

- a.- Se enciende el motor y se lo calienta utilizando gasolina, se lo mantiene en funcionamiento hasta que la temperatura del agua de salida es de aproximadamente 80 grados centígrados, durante un tiempo de 5 minutos.
- b.- Se aumentan las revoluciones del motor hasta 3600 RPM, sin aumentar la carga (sólo manteniendo encerado el freno) y se toman medidas del torque, consumo de combustible y cabezal de aire.
- c.- Se acelera bruscamente el motor hasta llegar a una velocidad de 4800 RPM, y se realiza una nueva toma de datos de los parámetros anteriormente mencionados.

- d.- Se procede a cargar bruscamente el motor, utilizando para ello el freno hidráulico, hasta disminuir la velocidad del motor a un valor de 1800 RPM.
- e.- Después de un tiempo suficiente para conseguir que el sistema se estabilice se procede a tomar medida de los parámetros ya indicados.
- f.- Se libera de carga y se cierra el acelerador para lograr que el motor permanezca en estado de marcha mínima, y se toma nota del comportamiento del mismo en tales condiciones.
- g.- Aumentando bruscamente la carga y abriendo al máximo el acelerador, se deja estabilizar el sistema para poder tomar medidas de los parámetros indicados.
- h.- Con el acelerador completamente abierto se libera la carga del motor, esto es, para simular el descenso de una cuesta en un vehículo.
- i.- Después de repetir alternativamente este procedimiento, se libera completamente de carga el motor y se cierra

el acelerador, para apagar la máquina.

4.1.3.- REALIZACION DE PRUEBAS CON ALCOHOL EN LAS MISMAS CONDICIONES DE OPERACION QUE CON GASOLINA.

El tratar de mantener las mismas condiciones de operación que el motor utiliza cuando trabaja con gasolina, es imposible, ya que el sistema no permanece estable, y una de las causas que produce este problema, es que la cantidad de aire que ingresa al carburador es muy grande; y, por lo tanto, la mezcla pierde la proporción adecuada de 9 a 1 necesaria para cuando se utiliza alcohol como combustible.

Tomando medidas de la cantidad de combustible consumido y del cabezal de aire de entrada al motor se puede calcular el valor exacto del diámetro que debe tener el obturador. Otro de los ajustes que se realizaron en el motor fue el cambio de la relación de compresión, esto es debido a que el motor cuando trabaja con alcohol permite que la misma se aumente, debido a

lo ya anteriormente explicado en el capítulo 2, sección 2.3.

4.2. FORMULAS A EMPLEARSE PARA CALCULOS Y RESULTADOS.

Para realizar el cálculo de los diferentes parámetros con los que se describe el funcionamiento de un motor de combustión interna, se utilizaron las siguientes fórmulas:

POTENCIA:

$$P = (N * T) / 9549.305$$

en donde:

P = potencia (Kw)

N = velocidad de rotación (RPM)

T = par motor (Nw-m)

FLUJO DE COMBUSTIBLE:

$$\dot{m}_c = (c.c * \rho_c) / t$$

en donde:

\dot{m}_c = consumo de combustible (gr/seg.)

c.c. = volumen de combustible (50 c.c.)

ρ_c = densidad del combustible (gr/cm³)

t = tiempo de consumo (seg.)

CONSUMO DE AIRE:

$$\dot{m}_a = 1.232E-5 * D^2 * \text{SQR} ((h_o * P_a)/T_a)$$

en donde:

\dot{m}_a = consumo de aire (gr/seg.)

D = diámetro del obturador (21.65 cm)

h_o = cabezal de agua (cm H₂O)

P_a = presión atmosférica (KN/m²)

T_a = temperatura ambiente (K)

CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE:

$$\text{c.e.c.} = \dot{m}_c / P$$

en donde:

c.e.c. = consumo específico de combustible (gr/Kw-seg)

P = Potencia (Kw)

\dot{m}_c = consumo de combustible (gr/seg)

RELACION AIRE-COMBUSTIBLE:

$$(A/C) = (\dot{m}_a / \dot{m}_c)$$

en donde:

A/C = relación aire-combustible (adimensional)

\dot{m}_a = consumo de aire (gr/seg.)

\dot{m}_c = consumo de combustible (gr/seg.)

4.3. ANALISIS DE LAS PARTES DEL MOTOR DESPUES DE LAS PRUEBAS REALIZADAS CON ALCOHOL.

Durante el proceso de puesta a punto del motor explicado anteriormente en este capítulo en el numeral 4.1.1, se aclaran las condiciones iniciales de funcionamiento del sistema; una vez realizadas todas las pruebas se desmontó nuevamente el cabezote del motor y se pudo apreciar claramente las condiciones actuales, las cuales se detallan a continuación:

- Después de haber realizado todas las pruebas con alcohol etílico como carburante del motor, se apreció en las diferentes cabezas de los pistones que no existía ninguna acumulación de carbón en las mismas, esto es debido a la alta calidad del combustible.
- En el aceite lubricante utilizado se encontraron residuos de carbón mucho menores a los que se presentan cuando se utiliza gasolina como combustible.
- Durante el funcionamiento del motor, se pudo notar que no se producía coloración del múltiple de escape, cosa que si sucede cuando se utiliza gasolina, y al revisarlo luego de terminadas las pruebas, no se encontró ningún depósito de carbón.

- El conocido proceso de detonación que se presenta cuando un motor a gasolina trabaja a altas relaciones de compresión, no ocurrió bajo ninguna de las diferentes condiciones de trabajo a las que se sometió el motor de alcohol. Esto ha sido explicado anteriormente y es debido al alto número octano que tiene el etanol, característica particular de este combustible, que representa una enorme ventaja sobre los hidrocarburos derivados del petróleo (gasolina).

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS.

5.1. ANALISIS DE CURVAS COMPARATIVAS DE: POTENCIA, GASTO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE, TORQUE, RELACION AIRE-COMBUSTIBLE, E INFLUENCIA DEL ANGULO DE ENCENDIDO SOBRE LOS PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO.

Al realizar las pruebas de variación de la velocidad con el acelerador parcialmente abierto, se pudo apreciar una considerable disminución de la potencia, la cual, alcanza un valor máximo de 14.024 Kw; igual disminución sucede en el par motor, alcanzando éste un valor máximo de aproximadamente 54 Nw-mt. La abertura que se utilizó para realizar la prueba fue de 50%. Se puede deducir de los resultados obtenidos, que ésta no es la abertura más conveniente para el funcionamiento del motor con etanol como combustible.

Si se toma en consideración que para el funcionamiento de un vehículo no se requiere de condiciones de máxima exigencia, salvo ocasiones aisladas; se

pueden aceptar los valores de potencia que se encuentran en el rango de 11 a 12.5 Kw y velocidades de 40 a 60 RPS, como convenientes para el buen funcionamiento de un motor.

Los valores más elevados de consumo específico de combustible en las pruebas de variación de la velocidad con el acelerador parcialmente abierto se producen en condiciones de máxima y mínima velocidad; estas velocidades generalmente indican las condiciones más exigentes para el funcionamiento de el motor. Así, velocidades elevadas, por ejemplo: 66 ó 70 RPS (3960-4200 RPM), significarían un vehículo que se desplaza a 160 ó 170 Km/hr.; y velocidades bajas con elevados torque, por ejemplo: 22 ó 24 RPS (1320 - 1440 RPM), significarán un vehículo sobrecargado de peso o uno que sube una cuesta muy empinada.

La razón aire-combustible para estas pruebas, toma valores casi constantes entre 5 y 6, es decir valores menores a los estequiométricamente fijados, esto sucede a una velocidad que se encuentra en el rango de 3000 a 3500 RPM, las cuales son cercanas a la velocidad de diseño del motor.

Para las pruebas en las cuales se hace variar la velocidad con el acelerador totalmente abierto, en las curvas se aprecia claramente que la potencia

máxima se obtiene a una velocidad de 68 RPS (4080 RPM), llegando a tener un valor que oscila entre los 22.858 y 24.354Kw. De forma similar que el máximo par motor sucede a una velocidad de 30 RPS (1800 RPM), alcanzando valores que varían entre 64 y 65 Nw-mt. Para la tabla D-3 se presenta a un valor diferente de velocidad, 36 RPS y alcanza hasta 69.5 Nw-mt.

El valor más elevado de consumo específico de combustible se obtuvo a 44RPS (2640RPM) y oscila entre 710-760 gr/Kw-gr.

Solo para valores bajos de velocidad, la relación aire-combustible permaneció aproximadamente constante de 5 a 6, esto es, entre 1500 y 2500 RPM.

En las pruebas en las cuales se varía el ángulo de encendido, se apreció que las más altas potencias se obtenían, cuando el ángulo de adelanto de la chispa de encendido oscilaba entre los 20 y 24 grados, alcanzando valores de 22.704Kw, hasta 24,29Kw, cuando el acelerador estaba completamente abierto y de 11.968Kw, hasta 12.214Kw, para el acelerador parcialmente abierto (50%).

Los valores más pequeños de consumo específico de combustible para este tipo de pruebas se obtuvieron utilizando el rango de ángulos anteriormente mencionado, y los valores del consumo específico de com-

bustible, oscilan entre 657.076 y 722.345 gr/Kw-hr, para una aceleración del 50%; y 581.04 y 637.259 gr/Kw-hr. para una aceleración del 100%.

5.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS REALES DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR ENCENDIDO POR CHISPA, CON ALCOHOL; COMPARACION CON UN MOTOR A GASOLINA.

El hacer funcionar un motor de combustión interna utilizando alcohol etílico, se convierte en un verdadero experimento de laboratorio en nuestro país, debido a que no se ha implementado un programa para lograr una producción de alcohol etílico a nivel industrial; por lo tanto, es justamente de esta experimentación de donde se pueden recalcar el sin número de ventajas y de desventajas que se presentan; así se tiene:

Una de las desventajas en el funcionamiento de un motor que emplea alcohol etílico como carburante es el proceso de arranque en frío, este problema se presenta debido a la baja presión de vapor que tiene el combustible y por lo tanto no es sencillo formar la mezcla adecuada y con el suficiente poder explosivo como para que ingrese a los cilindros, debido a ésto fue necesario durante el arranque en frío incluir un pequeño depósito de gasolina, pues este combustible es más volátil que el alcohol y se facilita el arranque. La empresa automotriz FIAT que tiene ensambladoras en Brasil (país que utiliza en grandes cantidades el alcohol como combustible de

transporte), ha implementado en sus vehículos de alcohol un sistema de arranque especial, el cual consiste en un proceso de inyección directa al múltiple de admisión durante el arranque, este dispositivo trabaja durante corto tiempo, el cual es sentido a través de la temperatura del motor, al alcanzar cierto valor el sistema se desconecta. Con esta implementación se eliminan los reservorios de otros combustibles que no sean de alcohol.

El etanol desde hace muchos años se emplea en vehículos de competencia, debido a que por su alto poder antidetonante permite alcanzar tasas de compresión considerablemente más elevadas que con gasolina, esta es una gran ventaja que se presenta en los motores que utilizan alcohol etílico como combustible, pues una elevada razón de compresión logra que se obtengan elevadas potencias y bajos consumos específicos de combustible. El problema que presentaría el motor utilizado en los experimentos (Ford Cortina 1300 cc), sería que a la elevada razón de compresión que se empleó se hubieran presentado problemas de detonación y de sobrecalentamiento; sin embargo, con el alcohol no se presentaron ninguno de estos problemas, gracias a lo explicado anteriormente. Es tan alto el calor latente de vaporización que tiene el etanol que el motor permanecía relativamen-

te frío, pues, los gases de escape eran capaces de desalojar gran parte del calor producido por la combustión. Según estudios técnicos desarrollados por PETROBRAS (empresa brasilera de hidrocarburos), se demostró que la temperatura de los gases de escape de un motor a gasolina con una relación de compresión de 8.7:1, era de más de 800 grados centígrados, mientras que el mismo motor pero utilizando alcohol, se podía elevar la relación de compresión hasta 10:1 sin que los gases de escape alcanzaran una temperatura de 730 grados centígrados.

Otra de las ventajas de los vehículos que trabajan con alcohol, es el aspecto ecológico; el CO producto de los gases de escape de los vehículos de transporte equivale a un alto porcentaje, y es este gas el que produce el conocido efecto invernadero, que está determinando un cambio climático a nivel mundial. Experimentos realizados por la compañía anteriormente mencionada (PETROBRAS), en un vehículo de transporte, original a gasolina indicaron una reducción del 80% de emisiones de CO, a un valor 24% menor en las mismas condiciones, cuando el motor usaba alcohol.

Inicialmente luego de varios ensayos de emisiones en un VOYAGE (VOLSWAGEN) original a gasolina, con un recorrido de 30000Km se obtuvo como resultado los

siguientes valores medios:

CO 21.57 gr/Km

HC 1.58 gr/Km

NO_x 1.68 gr/Km

CO₂ 139.8 gr/Km

Consumo de 8.14 lt/100Km

Pero retirando el carburador original del vehículo (WEBER 450400) e instalando uno a alcohol (WEBER 450401) recalibrado, se repitieron los ensayos y se obtuvieron los siguientes valores promedios:

CO 4.26 gr/Km

HC 1.24 gr/Km

NO_x 2.70 gr/Km

CO₂ 153.6 gr/Km

Consumo de 17.50 lt/100Km

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- 1.- El consumo específico de combustible aumenta aproximadamente en un 40.72% y en un 33.7% con respecto a la gasolina al utilizar alcohol etílico (etanol) y una abertura del acelerador del carburador, del 50% y del 100% respectivamente; ésto es debido a que el motor no ha sido diseñado para trabajar originalmente con alcohol sino con gasolina, y permite la filtración del etanol a través de los claros de los anillos del pistón; otra de las causas, no menos importante, es el bajo poder calorífico que tiene éste combustible, por la presencia elevada de oxígeno en su estructura molecular. El poder calorífico del etanol guarda una relación inversamente proporcional con el consumo específico de combustible.

- 2.- Las elevadas razones de compresión que se pueden alcanzar en un motor de combustión interna, cuando éste utiliza etanol como combustible, son las que justifican el uso del mismo, pues son bajo estas condiciones de operación que se alcanzan las más altas potencias y los menores consumos, sin que el motor se caliente tanto. El calor latente de vaporización del etanol, representa otra de las ventajas sobre la gasolina, pues es muy elevado, permitiendo

desalojar con los gases la gran mayoría del calor producido en la combustión, y permite una mayor entrada de mezcla fresca.

El etanol presenta excelentes propiedades antidetonantes, gracias a su elevado número octano, el cual alcanza aproximadamente los 110 NO. Estas características son las que permiten que al motor se lo pueda sobrealimentar con facilidad.

- 3.- El contenido de bióxido de carbón (CO_2) y de monóxido de carbón (CO) disminuyen y por el contrario el oxígeno (O_2) aumenta en los gases de escape, producto de la combustión del etanol con respecto a la gasolina, por lo tanto el efecto contaminante y de invernadero que ha determinado un cambio global en la temperatura del planeta, con el uso del alcohol disminuye.
- 4.- El utilizar alcohol etílico como único combustible de un motor endotérmico, dificulta el arranque en frío del mismo; ésto es debido a la baja presión de vapor que tiene el etanol, lo cual evita que se forme una mezcla adecuada y con el suficiente poder explosivo como para que al ingresar a los cilindros se combustione; para resolver este problema, es necesario utilizar un pequeño depósito de algún

combustible más volátil y de mayor presión de vapor que el etanol, y para ello se emplea gasolina. Esto es válido sólo para el motor experimental.

- 5.- Al aumentar el número de revoluciones del motor, aumenta también la potencia; Ésto ocurre hasta cierto rango, luego del cual la potencia comienza a disminuir. Para la prueba realizada con el acelerador parcialmente abierto (50%), la velocidad a la cual se obtiene la mayor potencia es de aproximadamente 3850 RPM, con un valor de 12,8Kw; cuando el acelerador se encuentra totalmente abierto (100%), la referida velocidad es de 4150 RPM aproximadamente y la potencia que se alcanza es de 23Kw, es decir, casi el doble. Sin embargo, el consumo específico disminuye para una mayor abertura del acelerador, pues el funcionamiento del motor se vuelve más eficiente.
- 6.- La máxima potencia del motor se consigue con relaciones aire-combustible inferiores a la estequiométrica (mezcla ricas), con valores entre 5 y 6.
- 7.- Para un mismo número de revoluciones del motor y el acelerador totalmente abierto, el ángulo óptimo de encendido varía entre 16 y 24 grados.

- 8.- Sería recomendable desarrollar un programa de producción de alcohol a nivel industrial, que permita el correcto aprovechamiento de los recursos naturales con los que se cuenta, y además, que represente una elevada tasa de ingresos para la economía del país, pues el alcohol es uno de los combustibles alternos más opcionados para suplir el déficit de las reservas petrolíferas de un país pequeño como Ecuador.
- 9.- El apoyo gubernamental al desarrollo de esta política productora de alcohol, se convierte en el factor más importante, es decir, el no recargar con impuestos tan elevados a este producto.
- 10.- Sería recomendable en un país privilegiado en el área agrícola como el Ecuador, desarrollar la producción de alcohol, empleando para ello recursos naturales diferentes de los convencionales, es decir, caña de azúcar, maíz, etc.; pues existen muchos otros productos de los cuales, países que poseen un mayor desarrollo industrial, están haciendo uso, por ejemplo: productos de almidón, altas producciones de remolacha y de papa, desechos de pulpa de papel y de banano, etc.

11.- El uso de alcohol etílico como carburante para motores se justifica sólo si se va a aprovechar del mismo todas las ventajas técnicas anteriormente mencionadas, es decir, si se eleva la razón de compresión del motor y se desarrolla una política de producción a gran escala.

APENDICE A

GENERALIDADES.

A-1. CONCEPTOS Y DEFINICIONES DE LOS PARAMETROS PRINCIPALES CON LOS QUE SE EVALUA UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA DE CUATRO TIEMPOS.

Los parámetros fundamentales que describen el funcionamiento de un motor de combustión interna de cuatro tiempos encendido por chispa, son básicamente la potencia, el par torsional y el consumo de combustible; pero existen además otros parámetros capaces de describir el funcionamiento, éstos pueden ser: la potencia indicada, la presión media efectiva, consumos a diferentes grados de regulación y diferentes cargas, la temperatura de los gases de escape, etc.

POTENCIA EFECTIVA DEL MOTOR.

La potencia obtenida de un motor es llamada comúnmente **potencia al freno (bhp)** y algunas veces potencia efectiva del motor o simplemente caballos producidos. En la ecuación se deduce una relación general

para la potencia efectiva del motor.

$$bhp(met.) = \frac{2 * \Pi * P * R * N}{4500} = \frac{P * R * N}{716.3} (Hp)$$

P=(Kgf)

R=(mt.)

N=(rpm)

POTENCIA INDICADA.

La potencia desarrollada por los gases en la cámara de combustión del motor se llama **potencia indicada (ihp)**.

La potencia indicada puede calcularse partiendo del ciclo indicado cuya área representa el trabajo realizado por el gas en el interior del cilindro durante el ciclo.

POTENCIA DE LA FRICCIÓN.

Una parte de la potencia desarrollada al quemarse el combustible y el aire no aparece como potencia al freno, ya que se emplea en vencer la fricción en los cojinetes, émbolo y otras partes mecánicas del motor, además en la inducción de la carga de aire

combustible y en la expulsión de los gases de escape. La potencia de la fricción (fhp) es el resultado de:

$$fhp = ihp - bhp \text{ (Hp)}$$

PRESION MEDIA EFECTIVA

La presión media efectiva al freno (bmep o pb) se define como la presión teórica constante que imaginariamente se ejerce durante cada carrera de potencia del motor para producir una potencia igual a la del freno. Los bhp de un motor pueden calcularse en función de la presión media efectiva empleando los términos siguientes:

$$pb = bmep = (\text{kg/cm}^2) \text{ ó } (\text{lb/plg}^2)$$

A= área de la cara del émbolo (cm²) ó (plg²)

L= longitud de la carrera (cm) ó (plg)

N= rpm

x= 2 para un ciclo de cuatro carreras.

1 para un ciclo de dos carreras.

n= número de cilindros del motor.

D= desplazamiento total del émbolo (cm³) ó (plg³)

PAR MOTOR.

El par motor representa la capacidad que tiene el motor para producir trabajo y significa el momento de torsión del eje cigüeñal, se define también como la capacidad de transportar la carga.

CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE.

El consumo específico de combustible es un parámetro comparativo que muestra con cuanta eficiencia convierte un motor el combustible en trabajo. Este parámetro es preferible, más que el rendimiento térmico, porque todas las cantidades son medidas en unidades físicas normales y aceptadas, como son: el tiempo, los caballos de fuerza y el peso.

EFICIENCIA TERMICA.

En termodinámica se define la eficiencia térmica para un ciclo con objeto de mostrar el rendimiento de la conversión del calor en trabajo,

$$\eta_t = \text{rendimiento térmico} = \text{trabajo} / \text{calor suministrado}$$

el trabajo indicado es medido por el área del ciclo

indicado.

EFICIENCIA O RENDIMIENTO VOLUMETRICO.

Se define el rendimiento volumétrico de un motor, como la relación del peso real de aire inducido por el motor en la carrera de admisión entre el peso teórico de aire que debiera inducirse llenando el volumen de desplazamiento del émbolo con aire a la temperatura y presión atmosférica:

$$\eta_v = \text{rend. volumétrico} = m_a / m_t$$

en donde:

\dot{m}_a = peso real de aire inducido por carrera de admisión.

(Kg por hr/número de carreras de admisión)

m_t = peso teórico de aire inducido por carrera de admisión.

A-2. CICLO TEORICO DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA A CUATRO TIEMPOS (CICLO DE OTTO).

Los ciclos termodinámicos reales de los motores modernos de altas velocidades están muy cerca del ciclo termodinámico que se realiza con la introducción de calor en volumen constante, es decir el Ciclo de Otto.

Se puede trazar un ciclo hipotético para el motor Otto, a partir de un diagrama pV como el de la figura A-1. Los procesos de compresión y dilatación vienen a ser idealmente, procesos isentrópicos. La combustión y la "fuga" del escape que se calculan a volumen constante en el motor, ahora, para el ciclo propuesto, se consideran arbitrariamente como procesos a volumen específico constante; el diagrama pV en la figura A-2 que resulta es muy similar al diagrama pV de la figura A-1.

El ciclo Otto teórico es el ciclo ideal del motor encendido por chispa, y está representado gráficamente en la figura A-2, tanto en las coordenadas pV como en las coordenadas $T-S$. Las transformaciones termodinámicas que se verifican durante el ciclo son:

a-c. **Adiabática o isentrópica** (sin intercambio de calor con el exterior): compresión del fluido

activo y el correspondiente trabajo L_1 realizado por el pistón.

c-z. **A volumen constante:** introducción instantánea del calor suministrado Q_1 .

z-b. **Adiabática:** expansión correspondiente al trabajo L_2 producido por el flujo activo.

b-a. **A volumen constante:** sustracción instantánea del calor Q_2 .

En realidad, en los motores de 4 tiempos, la sustracción del calor se verifica durante la carrera de escape a-0, y el fluido se introduce en el motor en la carrera de aspiración 0-a, lo cual se representa gráficamente en el diagrama pV mediante una línea horizontal, mientras que en el diagrama $T-S$ no es posible representarlo.

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

$$Q_1 = U_z - U_c$$

Como se trata de un ciclo ideal y, por lo tanto, el fluido operante es un gas perfecto, la variación de la energía interna durante su transformación a volumen constante vale:

$$U_z - U_c = cv (T_z - T_c)$$

de donde resulta:

$$Q_1 = cv (T_z - T_c)$$

Análogamente, como el calor Q_2 es sustraído también a *volumen constante*, y en tales condiciones que $L_{b-a} = 0$, podemos escribir:

$$Q_2 = U_b - U_a$$

y por ser el fluido un gas perfecto:

$$Q_2 = cv (T_b - T_a)$$

El grado de realización de un ciclo termodinámico está dado por el rendimiento térmico del ciclo η_t .

η_t muestra que parte del calor producido en un ciclo es gastado en la realización del trabajo efectivo:

$$\eta_t = (\text{calor suministrado} - \text{calor sustraído}) / \text{calor suministrado}$$

$$\eta_t = (cv(T_z - T_c) - cv(T_b - T_a)) / cv(T_z - T_a)$$

$$\eta_t = 1 - ((T_z - T_c) / (T_b - T_a))$$

Para las transformaciones adiabáticas de compresión a-c y de expansión z-b obtenemos respectivamente:

$$T_c/T_a = (v_a/v_z)^{K-1}$$

$$T_z/T_b = (v_b/v_z)^{K-1}$$

y como en $v_a = v_b$ y $v_c = v_z$, se puede escribir:

$$T_c/T_a = T_z/T_b$$

de donde:

$$T_b/T_a = T_z/T_c$$

$$\eta_t = 1 - (v_c/v_a)^{K-1}$$

$$\eta_t = 1 - 1/ K-1$$

Donde:

c_v = calor específico a volumen constante.

T_c = Temperatura al final de la compresión.

T_b = Temperatura al final de la carrera de trabajo.

T_z = Temperatura al comenzar la carrera de trabajo.

T_a = Temperatura al comenzar la compresión.

$K = c_p/c_v =$ Constante, relación de los calores espe-

cíficos.

De este análisis se pueden obtener las siguientes conclusiones, así, por ejemplo:

- 1.- La eficiencia térmica se ve afectada por la relación de compresión y las propiedades físicas de la mezcla comprimida.
- 2.- La eficiencia térmica no depende de la cantidad de calor que se introduce debido a que el calor específico es constante.

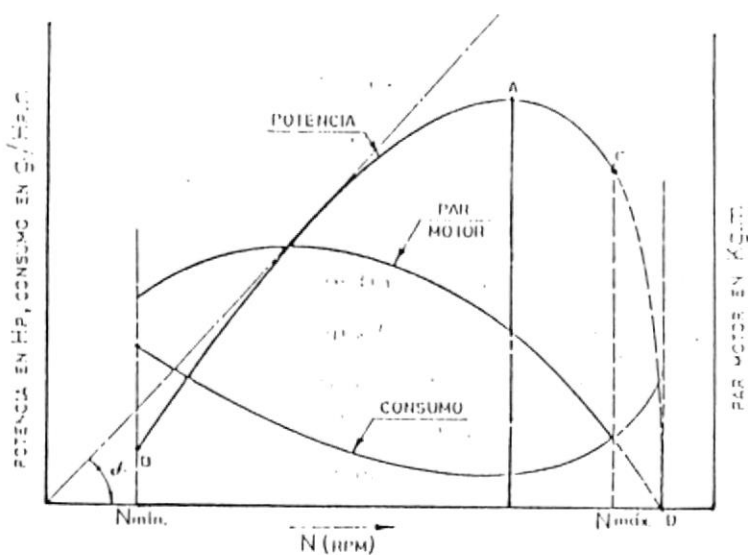


Fig. A - 3.- Curvas de parámetros de funcionamiento.

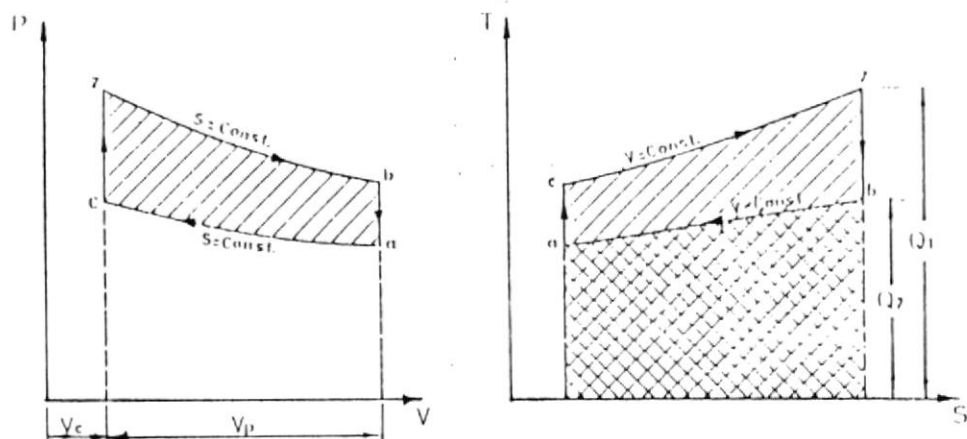


Fig. A - 4.- Ciclo teórico de Otto.

A-3. CICLO REAL Y DIAGRAMA INDICADO DE UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS A GASOLINA.

A través del ciclo real se pueden reflejar las diferentes condiciones de funcionamiento de un motor y vienen representadas por un diagrama cuyos parámetros son las presiones medias efectivas en el cilindro versus las diversas posiciones del pistón.

El ciclo real presenta ciertas diferencias con relación al ciclo teórico, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

a.- El ciclo real no es un ciclo reversible, esto significa que no es un ciclo cerrado; debido a que cuando se realiza el proceso de encendido de la mezcla, la composición de la misma cambia, tanto física como químicamente.

b.- La calidad de la mezcla sufre cambios físicos y químicos, dependiendo del proceso que se está desarrollando; por ejemplo, cuando se da por terminado el proceso de compresión, la mezcla es una combinación de aire, vapores de combustibles y gases quemados.

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

c.- Los procesos de transferencia de calor se suce-



den continuamente, de manera especial, durante el momento del encendido, en la expansión y durante el escape.

- d.- El ciclo va acompañado de introducción y salida de calor en momentos determinados, esto es, cuando cambia el volumen del cilindro.

La mayor introducción de calor ocurre cuando sucede el proceso de encendido de la mezcla, tomando en cuenta la velocidad de la combustión, al final de ésta y junto con ella va 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 expansión y comienza al final de la compresión.

El proceso de expansión es muy importante, ya que la mayor cantidad de calor cerca del PMS 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 al 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 T_c y de las propiedades físicas de la mezcla.

El dibujo demostrativo de este ciclo se llama **diagrama indicado**, y recibe el nombre de **indicador** el aparato que sirve para obtenerlo.

En este aparato, un pequeño cilindro provisto de un pistón retenido por un muelle comunica con la cámara de combustión del cilindro motor por medio de un tubo. El vástago del pistón actúa sobre el sistema de palancas que forman un cuadrilátero amplificador, cuyo brazo de palanca más largo está provisto de un estilete.

La presión de los gases se transmite a través del tubo, actúa sobre el pistón y, venciendo la resistencia del muelle, lo desplaza una longitud proporcional al valor de la presión.

La curva trazada por el estilete está referida, pues, a dos ejes coordenados, cuyas abcisas representan los espacios recorridos por el pistón, y, por lo tanto, los volúmenes, así como las ordenadas, representan las presiones.

Al deslizarse el pistón desde el PMS al PMI y viceversa, con la válvula abierta, de tal forma que no se ofrezca, ninguna resistencia al paso del gas, la presión del cilindro se mantiene igual a la de la atmósfera.

Al cerrarse la válvula durante la carrera de compresión, el estilete describe otra parte de la curva.

Al final de la carrera de compresión se realiza la combustión de la mezcla admitida y, por lo tanto, se produce un aumento casi instantáneo de la presión, provocando el trazo de otra sección de la curva por medio del estilete.

El aparato esquematizado en la figura A-3 sirve para mostrar como se obtiene el diagrama indicado, pero en la realidad es casi imposible emplear un dispositivo como el mostrado, pues son mucho más complejos.

A-3.1.- PROCESO DE ADMISION.

La cantidad de mezcla que ingrese en un cilindro permite obtener uno de los parámetros de funcionamiento de un motor, éste es la potencia; además, se debe tener en consideración el volumen del cilindro D y el número de revoluciones $n = \text{constante}$.

La cantidad máxima de mezcla que puede entrar en el cilindro

$$G_{\text{mezcla}} = D * \gamma_{\text{mezcla}} \quad (\text{Kg})$$

γ_M = peso específico de la mezcla en las condiciones normales P_0 y T_0 .

En realidad, la cantidad de mezcla que entra al cilindro es menor que la que teóricamente podría entrar, ya que:

- 1.- El proceso de admisión va acompañado de pérdidas hidráulicas de los fluidos que se mueven a través de los conductos.
- 2.- Durante el proceso de admisión, la mezcla se calienta cuando está en contacto con las paredes del cilindro, con la cabeza del pistón, válvulas y con residuos de la combus-

ción.

3.- Que las fases en que trabajan las válvulas no se pueden cambiar.

Con el fin de utilizar la presión de la mezcla que está entrando al cilindro, para efectuar un mejor barrido de los gases, hay un momento en que ambas válvulas están abiertas 200 - 800 y hasta 1300 siguiendo el giro del cigüeñal, de esta manera el proceso de admisión comienza cuando todavía estamos en el proceso de escape a 100 - 300 (700 - 800) del PMS y se termina 400 - 600 después del PMI.

El grado de admisión de la mezcla está caracterizado por el coeficiente de afinamiento o de admisión η_v .

El coeficiente de admisión se llama a la relación de la cantidad de aire o de mezcla que entra en el cilindro con la cantidad de aire o de mezcla teórica que debería entrar en condiciones normales T_o, P_o .

A-3.2.- PROCESO DE COMPRESION.

Durante este proceso se prepara la mezcla para someterla al proceso de combustión. Durante el proceso se alteran ciertas condiciones de la mezcla, así por ejemplo, se eleva la temperatura y la presión de la misma, acompañada de una turbulencia. Todo ésto hace que la mezcla se complete y mejore la formación de un vapor de mezcla. Mientras más pareja sea la mezcla y mayor la pulverización, la combustión será mucho más intensa y mejor.

La compresión comienza en el PMI después de la admisión. Al principio estando abierta la válvula de admisión, la mezcla se comprime debido a la disminución del volumen y a la presión dinámica (depresión).

En el momento en que se da inicio a la compresión la temperatura de toda la mezcla es menor que la temperatura de las paredes del cilindro, es por esta razón que el calor de las paredes se transmite a la mezcla, luego en el transcurso de la compresión se produce un equilibrio y pos-

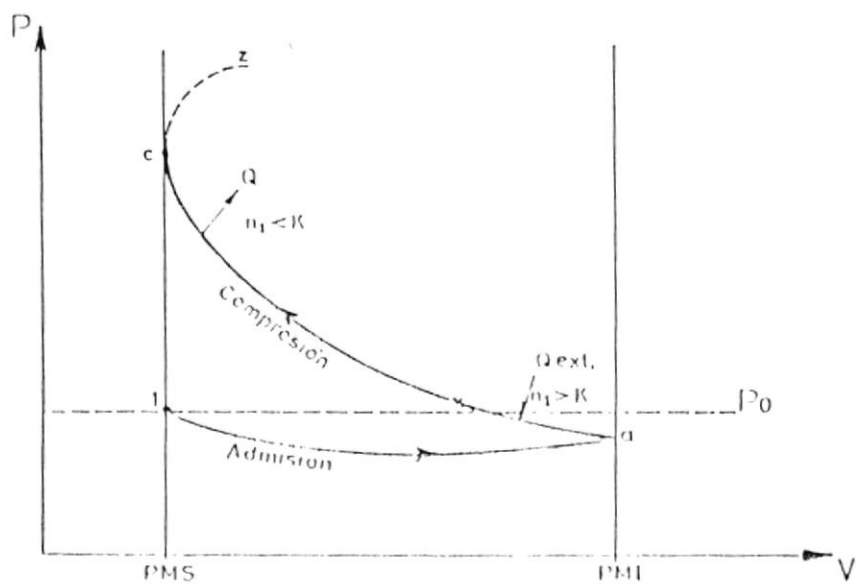


Fig. A-4.- Proceso de Admisión.

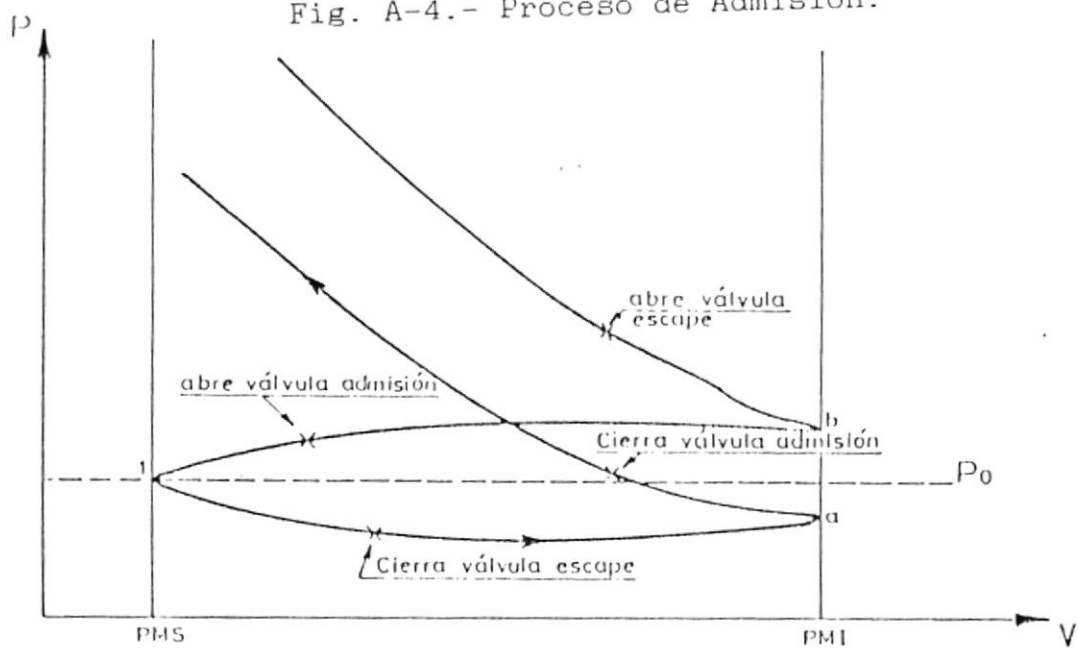


Fig. A-5.- Proceso de compresión.

teriormente es la mezcla la que transmite calor a las paredes del cilindro.

Es así, que el proceso de compresión es politrópico con un índice n variable.

P_c y T_c se calculan por las leyes de la termodinámica, tomando el proceso de compresión como politrópico y con un índice constante $n_1 = \text{const.}$

$$P_c = P_a * \tau_c^{n_1}$$

$$T_c = T_a * \tau_c^{n_1-1}$$

A-3.3.- PROCESO DE COMBUSTION.

Durante el proceso de combustión de la mezcla es que se realiza el mayor intercambio de calor entre las paredes del cilindro y la misma, el trabajo de combustión debe comenzar al final de la compresión (al terminar la carrera de compresión) y terminar al comenzar la carrera de expansión o trabajo real.

Bajo este tipo de condiciones la duración del proceso de combustión no pasa de 1/10 de vuelta del cigüeñal, lo que significa en los motores de altas revoluciones 1/300

a $1/500$ segundos ($n= 2000 - 3000\text{RPM}$).

Es posible alcanzar esta velocidad de combustión gracias al torbellino que se forma durante el proceso de compresión y terminación de la mezcla, aire-combustible en el cilindro del motor.

La turbulencia de la mezcla comienza en la admisión y se aumenta o se completa en la compresión, la intensidad de la turbulencia aumenta con las RPM. Si se lograra mejorar el barrido del cilindro en la carrera del escape, esto acelerará la combustión. Pero el proceso de combustión puede empeorar se estrechan las válvulas de escape, ésto es debido a una mayor cantidad de residuos en el cilindro.

A-3.4.- PROCESO DE EXPANSION.

Durante el proceso de expansión se desarrolla el trabajo del motor, ya que es durante éste, que la energía calorífica del combustible sufre la transformación a mecánica; mientras mayor sea la relación de expansión mayor cantidad de calor irá a la realización de trabajo efectivo.

Cuando comienza el proceso de expansión, se está terminando la combustión de la mezcla, es decir, que el proceso se sucede recibiendo calor del medio que la rodea, luego a medida que avanza la expansión se equilibra la transmisión de calor y al terminar la expansión el medio continúa recibiendo calor.

Si el proceso de combustión se realizara de una manera instantánea y terminara en el PMS y el proceso de expansión se sucediera con disminución de temperatura, es decir de T_z a T_o en este caso la mayor cantidad de calor irá a la realización de trabajo efectivo. Pero ésto no sucede y es por esta razón que una gran cantidad de energía es expulsada al exterior junto con los gases quemados.

Es posible decir que el proceso de expansión se realiza con un índice politrópico $n_2 = \text{const.}$, es éste el valor medio de los motores reales. Para los motores a gasolina $n_2 = 1.2 - 1.25$ mientras mayor sea el tiempo de combustión mayor será n_2 .

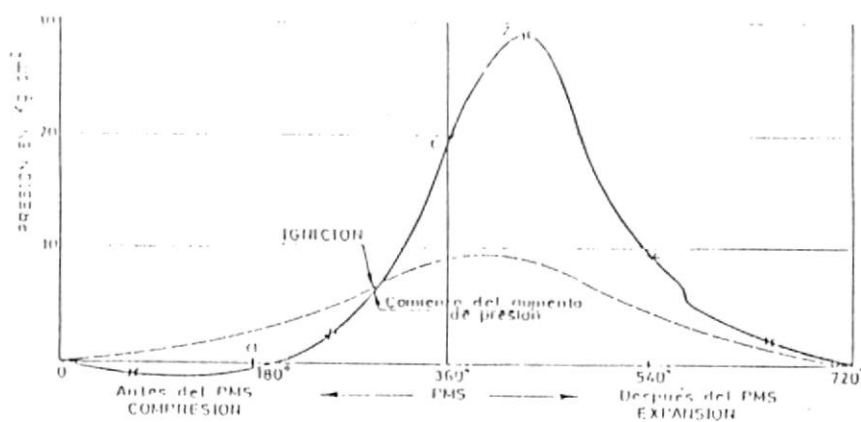


Fig. A - 6.- Curva de Presión VS Angulo de giro del cigüeñal.

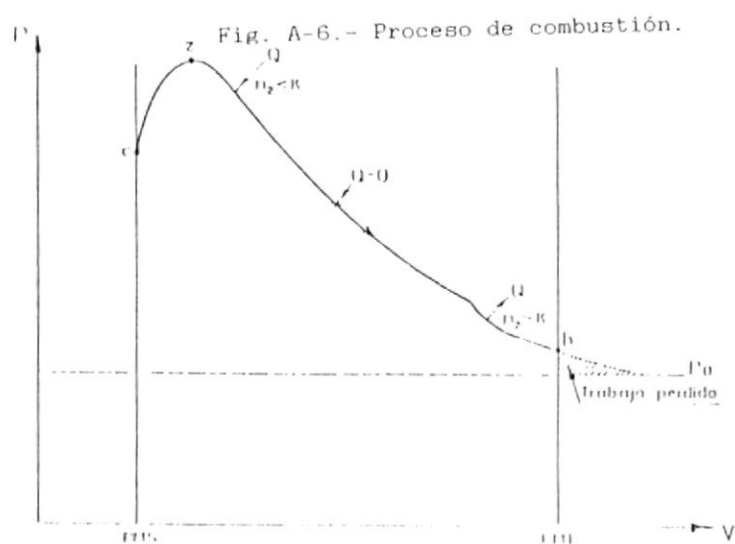


Fig. A-7.- Proceso de Expansión.

A-3.5.- PROCESO DE ESCAPE.

El proceso de escape consiste en la salida de los gases quemados del cilindro con un cambio brusco de parámetros. La salida de los gases en el escape se sucede con masas variables. Por esto estrictamente hablando, este proceso no se puede expresar mediante las leyes de la termodinámica.

Durante el proceso de escape, sucede que, la energía de los gases, la velocidad y la cantidad de gases que sale del cilindro cambian con relación al tiempo y por lo tanto según cambie el ángulo de giro del cigüeñal.

A-4. PROBLEMAS ESPECIALES DEL CARBURADOR DE UN MOTOR A GASOLINA.

La preparación de la mezcla aire-combustible en las proporciones correctas, y su posterior traslado a cada uno de los cilindros, está a cargo del sistema de alimentación de un motor. El carburador se convierte en el órgano principal del sistema. El sistema está formado por uno o más depósitos, una o más bombas para el desplazamiento del combustible, uno o más filtros y por las correspondientes tuberías.

Uno de los órganos importantes del carburador es el **filtro de aire**, puesto que un buen funcionamiento del mismo garantiza la alta eficiencia del motor y un alargamiento en su vida útil. Las fallas que se pueden presentar en los filtros de aire son las siguientes:

- 1) Baja eficiencia de filtrante; es decir, una baja capacidad para retener un gran porcentaje de impurezas. Con los filtros de papel o de baño de aceite se pueden alcanzar eficiencias del 98% al 99%. La falla en los filtros de papel puede ser por la deformación de los pliegues lo que produce zonas de menor capacidad de filtrado y en los filtros de aceite la suciedad

del mismo reduce la capacidad de filtrado.

- 2) Mal poder acumulador; es decir, mala capacidad de funcionar durante largos periodos de tiempo sin necesidad de limpieza y cambio de los elementos filtrantes.
- 3) Alta pérdida de carga; por encima de 150 ó 200 mm de agua.

Para llevar el combustible desde el depósito hasta el motor se pueden utilizar **bombas de combustible** de diferentes tipos. Para los motores automovilísticos se usan especialmente bombas de membrana, por razón de su simplicidad y bajo costo.

La simplicidad de este mecanismo también puede sufrir ciertos desperfectos, así se pueden presentar los siguientes problemas: en el caso de que la membrana sea de un tejido especial ésta puede sufrir un proceso de descomposición o de corrosión, el cual afectaría su flexibilidad y por lo tanto su capacidad de bombear adecuadamente el combustible. En el caso que la membrana fuera metálica la falla causaría resultados iguales, pero producidos por una deformación permanente de la misma.

Así mismo, los mecanismos de accionamiento que pueden ser mecánicos o eléctricos también pueden presentar fallas o averías que complicarían el correcto funcionamiento de la bomba de combustible.

El carburador está diseñado para cumplir las siguientes funciones:

- 1.- Dosificar el combustible para obtener la relación de mezcla que satisface las condiciones de funcionamiento del motor.
- 2.- Pulverizar el combustible y mezclarlo homogéneamente con el aire.

Debido a la gran cantidad de accesorios, se pueden presentar los siguientes problemas:

La **cuba de nivel constante** que sirve para mantener el nivel de combustible al nivel del surtidor, requiere para esto de un flotador, construido generalmente de una lámina muy delgada de latón o de corcho barnizado, o bien de plástico; este flotador puede sufrir perforaciones y dejar de cumplir adecuadamente su funcionamiento, por fallas de estanqueidad en la válvula o por disminuir su sensibilidad a las acciones dinámicas.

El caudal del **surtidor**, está determinado por el diámetro del **calibre**. La forma y exactitud de ejecución del calibre son de gran importancia porque influyen sobre el coeficiente. Es algo muy común el hecho de que el surtidor se tapone y se obstruya, dejando de inyectar adecuadamente.

La **válvula de mariposa** también puede presentar problemas en su funcionamiento, debido a que oscila en un eje, y éste puede sufrir desgaste, provocado por su excesivo funcionamiento, perdiendo su forma cilíndrica.

El agregar dispositivos especiales para incrementar el grado de pulverización (rejillas muy finas, pantallas o hélices accionadas por el aire aspirado, etc.) son en general inútiles y dañosas para el

funcionamiento porque aumentan la resistencia al paso del aire, reduciendo, por consiguiente, el rendimiento volumétrico del motor.

Otro de los problemas que influyen directamente sobre el buen o mal funcionamiento de un motor, es la capacidad que tenga el carburador para facilitar el arranque en frío o mantener la marcha mínima de un motor; esto puede ser debido a que el carburador no alcanza a suministrar una mezcla muy rica capaz de contrarrestar las condensaciones.

Aun cuando el carburador es relativamente simple y sin fallas, tiene muchas desventajas, enumerándose:

- 1.- El venturi (y el múltiple) ofrecen una restricción para el flujo de aire hacia el interior del motor, porque parte de la caída de presión no se recobra. Si el venturi, se hace grande para reducir este efecto de estrangulación, la caída de presión disponible para el medidor de combustible, puede ser inconvenientemente pequeña.
- 2.- Al evaporarse el combustible y ser absorbido su calor latente por el aire ambiente, disminuye la temperatura pudiendo formarse hielo por la humedad presente, tanto en el aire como en el combustible. La formación de hielo acontece usualmente en la placa del estrangulador espe-

cialmente en la posición de holgar, debido a la caída de presión a través del estrangulador. Éste puede quedar completamente obstruido por arriba, con el flujo de aire retenido por el hielo, inmovilizando el motor.

- 3.- Para una buena distribución, debe suministrarse calor, lo cual resulta en una alimentación de aire más caliente, inducida al motor y un bajo rendimiento volumétrico.
- 4.- La aceleración se retarda, puesto que el combustible debe fluir desde el carburador hasta el cilindro.
- 5.- El arranque es obstaculizado por la dependencia de la succión del motor, para suministrar las mezclas ricas, necesarias.
- 6.- Puesto que el múltiple siempre contiene una mezcla combustible, siempre existe el peligro de retorno de la llama desde el cilindro al interior del múltiple.
- 7.- Cuando el combustible no está bajo una presión positiva, siempre existe peligro de la obstrucción por vapor, al utilizar un carburador.
- 8.- Los combustibles altamente volátiles convienen mejor para el funcionamiento con carburador, por el problema de la distribución; los combustibles menos volátiles se pueden usar cuando el

combustible es inyectado directamente dentro del motor.

- 9.- La mayoría de los carburadores deben estar en una posición normal, para asegurar el flujo óptimo de combustible hacia la tobera.

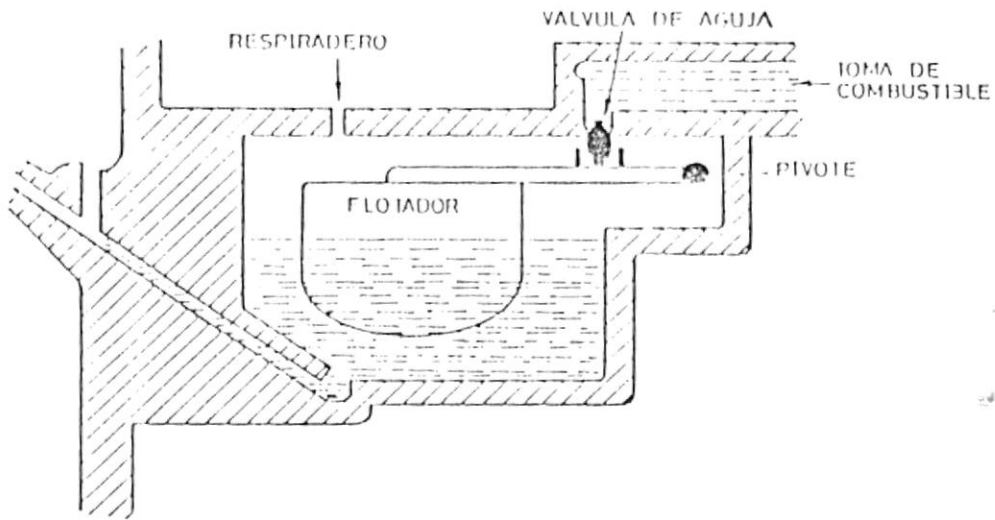


Fig. A - 8.- Sistema de flotador de un carburador.

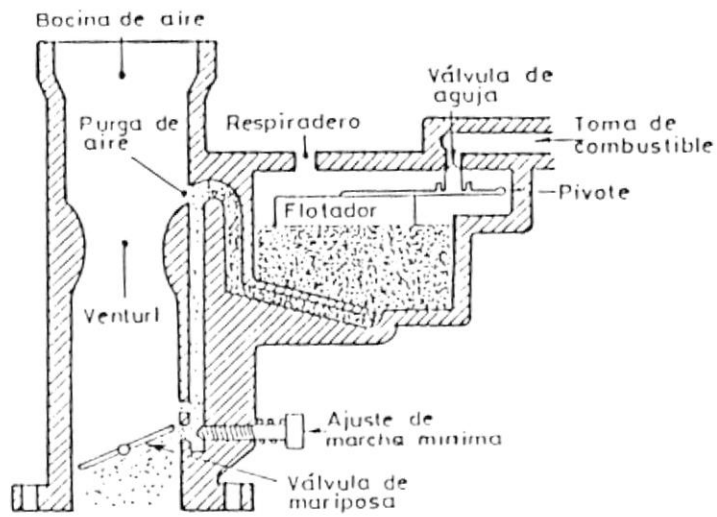


Fig. A - 9 .- Sistema de marcha mínima.

APENDICE B

**VARIACION DE LA VELOCIDAD
50% ACELERACION**

Densidad de 0.8164 gr/cc
 Ta = 27 Pa = 759.6 mm Hg
 c.c.= 50

RPS	RPM	Tiempo(s)	cm H2O	Torque(Nm)	Pot (KW)	Mc(Kg/s)	Ma(Kg/s)	A/C	C.E.C
67	4020	14.63	25.20	27.00	11.366	0.0028	0.0168	6.037	883.717
66	3960	14.84	24.60	29.60	12.275	0.0028	0.0166	6.050	806.727
64	3840	15.21	23.80	31.40	12.627	0.0027	0.0164	6.074	768.355
62	3720	15.47	22.90	32.50	12.661	0.0026	0.0161	6.060	753.417
60	3600	15.71	22.00	33.00	12.441	0.0026	0.0157	6.032	755.022
58	3480	16.13	21.30	33.80	12.318	0.0025	0.0155	6.094	742.714
56	3360	16.78	20.40	34.60	12.174	0.0024	0.0152	6.204	722.345
54	3240	16.92	19.30	36.00	12.215	0.0024	0.0147	6.085	714.010
52	3120	17.32	18.50	37.00	12.089	0.0024	0.0144	6.098	704.771
50	3000	17.57	17.90	38.20	12.001	0.0023	0.0142	6.085	699.835
48	2880	18.43	16.70	39.00	11.762	0.0022	0.0137	6.165	680.722
46	2760	18.84	15.80	40.50	11.706	0.0022	0.0133	6.130	669.125
44	2640	19.00	14.70	43.50	12.026	0.0022	0.0129	5.963	645.811
42	2520	17.89	13.80	43.50	11.479	0.0023	0.0125	5.463	715.562
40	2400	17.81	12.80	44.80	11.259	0.0023	0.0120	5.238	732.815
38	2280	17.97	11.8	45.8	10.935	0.0023	0.0115	5.053	750.937
36	2160	18.8	10.7	46.2	10.450	0.0022	0.0110	5.034	751.101
34	2040	19.77	9.9	47	10.041	0.0021	0.0106	5.092	743.391
32	1920	20.78	9	46.5	9.349	0.0020	0.0101	5.103	759.543
30	1800	21.04	8.2	46.5	8.765	0.0019	0.0096	4.932	800.168
28	1680	22.59	7.5	49.5	8.708	0.0018	0.0092	5.064	750.104
26	1560	23.34	7	53.5	8.740	0.0018	0.0089	5.055	723.391

TABLA IV
B - 1



VARIACION DE VELOCIDAD
50% ACELERACION

Densidad de 0.8198 gr/cc
Ta = 26.5 Pa = 759 mm Hg
c.c. = 50

RPS	RPM	Tiempo(s)	cm H ₂ O	Torque(Nm)	Pot (KW)	Mc(Kg/s)	Ma(Kg/s)	A/C	C.E.C
67	4020	18.26	33.50	22.50	9.472	0.0022	0.0281	12.518	853.184
66	3960	18.80	33.50	29.00	12.026	0.0022	0.0281	12.888	652.681
64	3840	18.45	32.40	31.00	12.466	0.0022	0.0276	12.439	641.598
62	3720	16.16	31.70	36.00	14.024	0.0025	0.0273	10.777	651.127
60	3600	16.24	30.80	36.00	13.572	0.0025	0.0269	10.675	669.516
58	3480	16.04	29.70	37.80	13.775	0.0026	0.0265	10.354	667.847
56	3360	16.45	28.80	38.80	13.652	0.0025	0.0261	10.456	657.076
54	3240	16.35	27.90	40.00	13.572	0.0025	0.0256	10.229	665.012
52	3120	16.86	26.80	40.80	13.330	0.0024	0.0251	10.338	656.568
50	3000	17.40	25.90	42.20	13.258	0.0024	0.0247	10.488	639.690
48	2880	17.64	25.00	43.50	13.119	0.0023	0.0243	10.447	637.635
46	2760	17.79	24.10	45.30	13.093	0.0023	0.0238	10.344	633.533
44	2640	17.50	23.20	46.20	12.772	0.0023	0.0234	9.984	660.189
43	2580	17.23	22.30	46.00	12.428	0.0024	0.0229	9.637	689.111
40	2400	17.20	21.10	48.00	12.064	0.0024	0.0223	9.358	711.166
38	2280	17.71	20.2	48	11.461	0.0023	0.0218	9.428	727.039
36	2160	18.56	19.2	47	10.631	0.0022	0.0213	9.633	747.864
34	2040	19.45	18.2	47.5	10.147	0.0021	0.0207	9.828	747.668
32	1920	20.41	17.3	47.5	9.550	0.0020	0.0202	10.055	757.032
30	1800	21.12	16.7	49	9.236	0.0019	0.0198	10.223	756.466
29	1740	22.02	16.1	50.5	9.202	0.0019	0.0195	10.465	728.273
28	1680	22.4	15.7	52.5	9.236	0.0018	0.0192	10.513	713.240
26	1560	22.62	15.4	56	9.148	0.0018	0.0191	10.514	713.094

TABLA V
B - 2

VARIACION DE VELOCIDAD 50% DE ACELERACION

Densidad de 0.8214 gr/cc
 Ta = 27.5 Pa = 757.5 mm Hg
 c.c.= 50

RPS	RPM	Tiempo(s)	cm H ₂ O	Torque(Nm)	Pot (KW)	Mc(Kg/s)	Ma(Kg/s)	A/C	C.E.C
70	4200	15.71	21.22	24.71	10.868	0.0026	0.0154	5.899	865.966
66	3960	16.52	20.90	27.50	11.404	0.0025	0.0153	6.157	784.804
62	3720	16.74	20.40	30.80	11.998	0.0025	0.0151	6.164	736.122
58	3480	17.27	19.90	33.00	12.026	0.0024	0.0149	6.280	711.891
54	3240	17.67	18.90	35.00	11.875	0.0023	0.0146	6.284	702.209
50	3000	18.52	17.60	38.00	11.938	0.0022	0.0140	6.355	666.454
46	2760	19.74	16.20	41.00	11.850	0.0021	0.0135	6.477	632.061
42	2520	20.74	15.00	43.00	11.347	0.0020	0.0130	6.548	628.234
38	2280	21.56	13.50	47.50	11.341	0.0019	0.0123	6.458	604.675
34	2040	20.84	11.70	51.50	11.002	0.0020	0.0115	5.831	642.659
30	1800	22.50	10.80	51.20	9.651	0.0018	0.0110	6.048	678.564
26	1560	23.40	9.60	49.50	8.086	0.0017	0.0104	5.931	778.700

B - 3

TABLA VI

VARIACION DE VELOCIDAD 100% ACELERACION

Densidad de 0.8186 gr/cc
 Ta = 25.5 Pa = 758.2 mm Hg
 c.c. = 50

RPS	RPM	Tiempo(s)	cm H ₂ O	Torque(Nm)	Pot (KW)	Mc(Kg/s)	Ma(Kg/s)	A/C	C.E.C
78	4680	14.06	74.20	37.00	18.133	0.0029	0.0289	9.939	577.940
74	4440	13.43	69.40	46.00	21.388	0.0030	0.0280	9.181	512.979
70	4200	12.95	65.60	50.00	21.991	0.0032	0.0272	8.607	517.401
68	4080	12.26	60.30	53.50	22.858	0.0033	0.0261	7.813	525.789
65	3900	11.60	59.10	55.50	22.667	0.0035	0.0258	7.318	560.403
62	3720	11.52	55.10	57.00	22.205	0.0036	0.0249	7.017	576.031
58	3480	11.16	49.50	59.50	21.683	0.0037	0.0236	6.443	608.914
54	3240	10.98	43.80	60.50	20.527	0.0037	0.0222	5.963	653.752
51	3060	10.99	38.10	60.50	19.387	0.0037	0.0207	5.567	691.579
48	2880	11.27	33.50	60.50	18.246	0.0036	0.0194	5.353	716.546
44	2640	11.46	31.00	61.00	16.864	0.0036	0.0187	5.236	762.426
42	2520	12.37	28.30	61.50	16.229	0.0033	0.0179	5.400	733.957
38	2280	13.64	24.10	62.50	14.923	0.0030	0.0165	5.495	723.914
36	2160	14.26	22.40	63.50	14.363	0.0029	0.0159	5.539	719.398
34	2040	15.09	19.8	63.00	13.459	0.0027	0.0149	5.510	725.531
30	1800	16.76	15.7	64.00	12.064	0.0024	0.0133	5.450	728.768
26	1560	18.29	13.2	64.00	10.455	0.0022	0.0122	5.453	770.545
24	1440	20.78	10.4	62.00	9.349	0.0020	0.0108	5.499	758.431
22	1320	24.41	8.3	56.50	7.810	0.0017	0.0097	5.771	772.905

TABLA VII

B - 4



VARIACION DE VELOCIDAD 100% ACELERACION

Densidad de 0.8186 gr/cc
 Ta = 25.5 Pa = 758.2 mm Hg
 c.c. = 50

RPS	RPM	Tiempo(s)	cm H ₂ O	Torque(Nm)	Pot (KW)	Mc(Kg/s)	Ma(Kg/s)	A/C	C.E.C
76	4560	13.56	68.80	38.00	18.146	0.0030	0.0279	9.230	598.836
74	4440	13.20	65.90	44.50	20.691	0.0031	0.0273	8.794	539.510
70	4200	12.42	60.10	51.50	22.651	0.0033	0.0260	7.901	523.767
68	4080	11.95	59.00	54.00	23.072	0.0034	0.0258	7.533	534.434
64	3840	11.44	54.90	55.50	22.318	0.0036	0.0249	6.956	577.120
62	3720	11.19	51.70	56.00	21.815	0.0037	0.0242	6.603	603.608
58	3480	11.28	46.80	57.50	20.954	0.0036	0.0230	6.333	623.390
54	3240	11.06	42.80	58.00	19.679	0.0037	0.0220	5.938	676.999
50	3000	11.01	34.40	60.00	18.850	0.0037	0.0197	5.292	711.037
44	2640	10.58	30.40	60.00	16.588	0.0039	0.0185	4.787	839.605
42	2520	11.84	28.60	61.50	16.229	0.0035	0.0180	5.196	766.812
38	2280	13.28	24.50	63.00	15.042	0.0031	0.0166	5.394	737.637
36	2160	14.12	22.20	64.50	14.590	0.0029	0.0158	5.460	715.266
34	2040	14.84	20.10	64.00	13.672	0.0028	0.0151	5.460	726.226
30	1800	16.56	18.9	65	12.252	0.0025	0.0146	5.908	726.223
26	1560	17.86	13.7	65	10.619	0.0023	0.0124	5.425	776.956
24	1440	20.53	10.6	62	9.349	0.0020	0.0109	5.485	767.667
22	1320	22.93	8.9	60	8.294	0.0018	0.0100	5.614	774.795

B - 5

TABLA VIII

VARIACION DE VELOCIDAD 100% ACELERACION

Densidad de 0.8214 gr/cc
 Ta = 27.5 Pa = 757.5 mm Hg
 c.c. = 50

RPS	RPM	Tiempo(s)	cm H ₂ O	Torque(Nm)	Pot (KW)	Mc(Kg/s)	Ma(Kg/s)	A/C	C.E.C
76	4560	13.37	77.50	45.50	21.727	0.0031	0.0295	9.595	508.969
72	4320	13.05	71.20	52.50	23.750	0.0031	0.0283	8.977	477.030
68	4080	12.52	60.10	57.00	24.354	0.0033	0.0260	7.912	484.908
64	3840	12.31	61.50	59.00	23.725	0.0033	0.0263	7.897	504.516
60	3600	11.71	56.90	61.50	23.185	0.0035	0.0253	7.225	542.727
56	3360	11.30	50.20	64.00	22.519	0.0036	0.0237	6.527	581.034
48	2880	11.24	40.20	63.00	19.000	0.0037	0.0212	5.810	692.308
44	2640	11.67	32.20	65.00	17.970	0.0035	0.0190	5.398	705.035
40	2400	12.77	27.40	67.50	16.965	0.0032	0.0175	5.468	680.158
36	2160	14.18	23.20	69.50	15.721	0.0029	0.0161	5.587	661.000
32	1920	15.59	19.20	69.00	13.873	0.0026	0.0147	5.588	681.270
28	1680	17.82	14.00	66.00	11.611	0.0023	0.0125	5.454	712.123
24	1440	19.82	11.10	62.00	9.349	0.0021	0.0112	5.401	795.167

B - 6
TABLA IX

VARIACION DE VELOCIDAD GASOLINA 92 OCTANOS

Densidad de	0.8214	gr/cc				
Ta	25	Pa =	767.0 mm Hg			
c.c.=	50					
RP	Tiemp	mm H2O	Torque(Pot (KW)	A/C	C.E.C
5400	9.25	93	63.5	35.930	11.940	393.000
5100	9.60	85.00	67.50	36.070	11.850	377.300
4800	10.00	80.00	71.50	35.950	12.040	363.500
4500	11.00	75.00	74.50	35.130	12.760	338.000
4200	12.00	68.00	77.50	34.110	13.260	319.200
3900	13.27	60.00	79.50	32.420	13.770	303.100
3600	15.20	50.50	80.00	30.180	14.470	284.900
3300	16.86	41.50	80.00	27.660	14.550	280.200
3000	18.83	32.00	77.00	24.210	14.340	285.000

B - 7

TABLA X

APENDICE C

VARIACION DE LA VELOCIDAD 50% DE ACELERACION

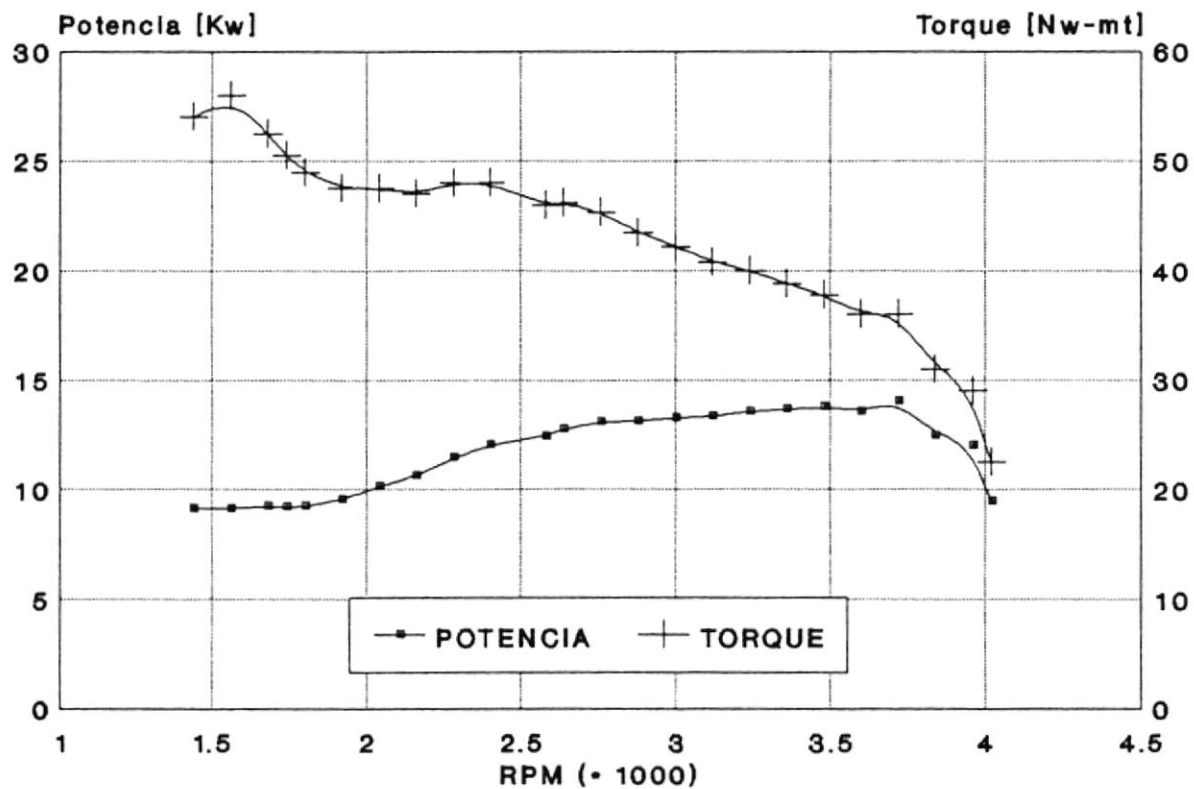


FIG. C - 1

VARIACION DE LA VELOCIDAD 50% DE ACELERACION

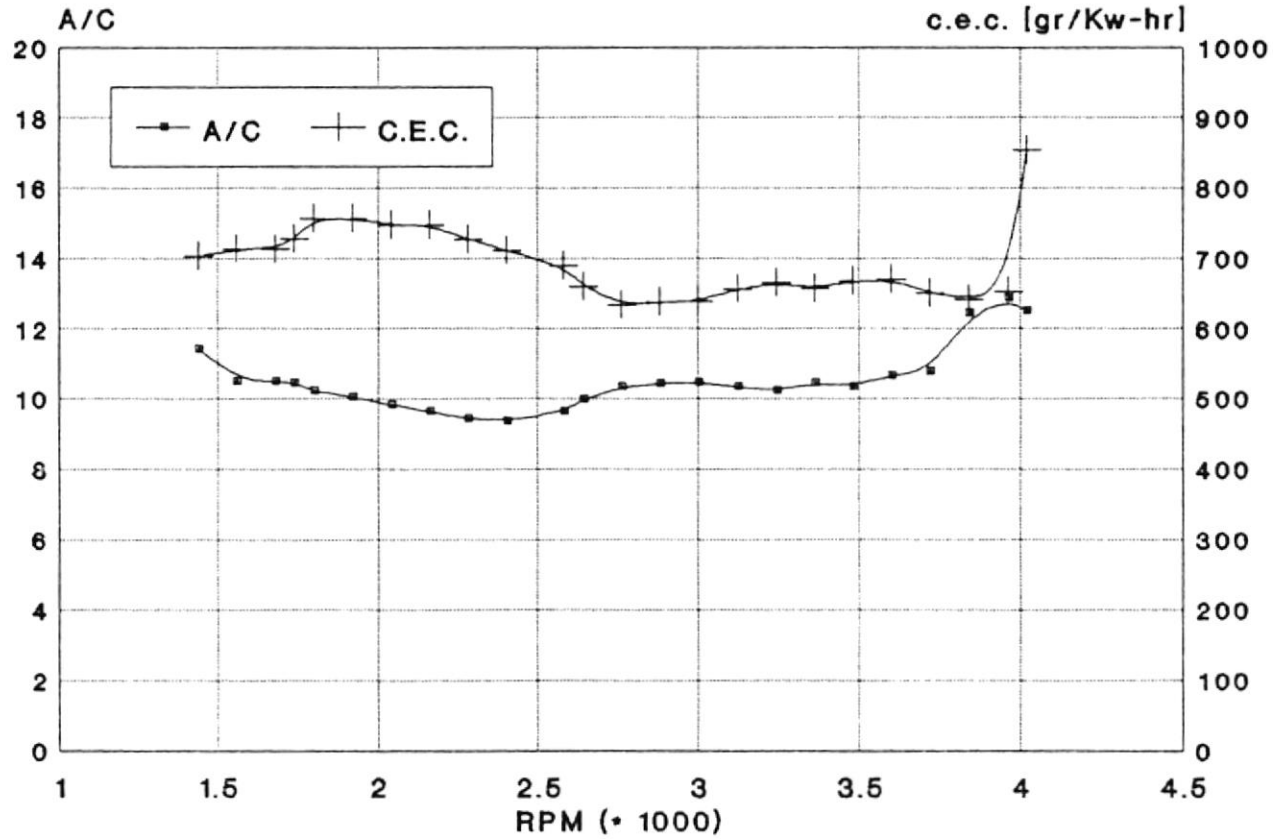


FIG. C - 2

VARIACION DE LA VELOCIDAD 50% DE ACELERACION

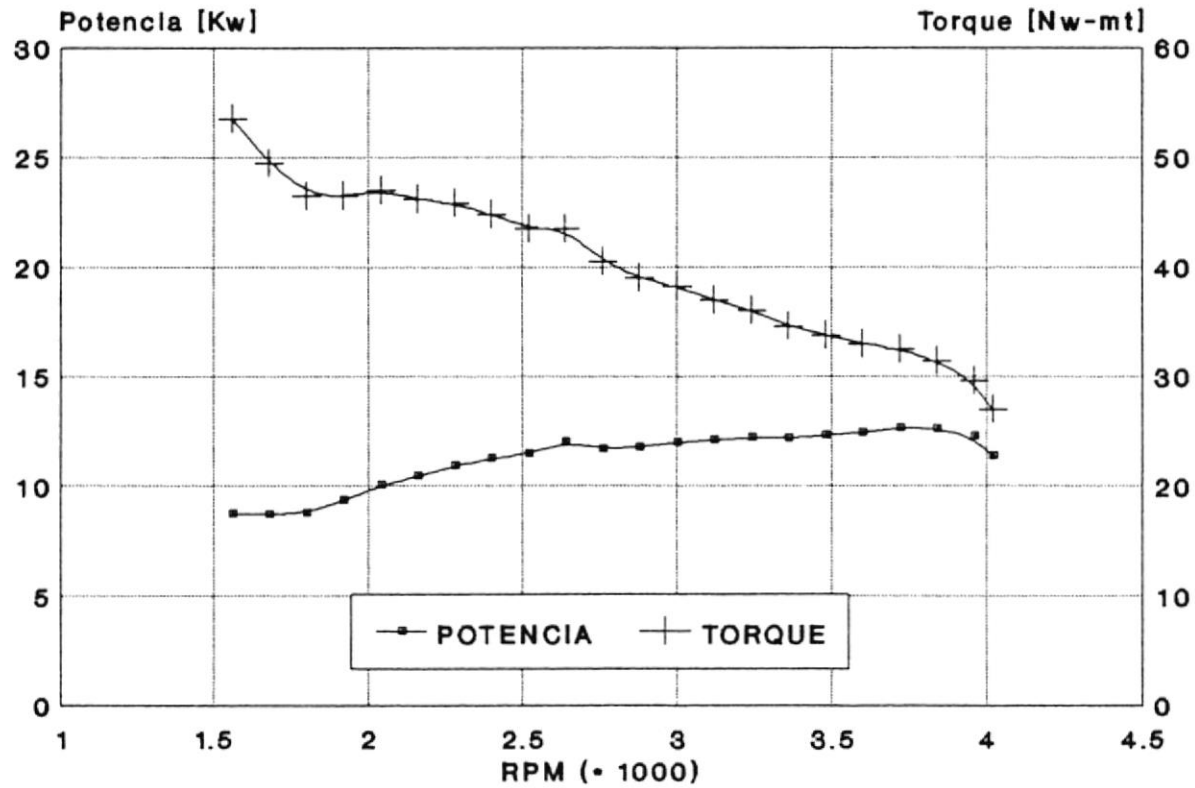


FIG. C - 3

VARIACION DE LA VELOCIDAD 50% DE ACELERACION

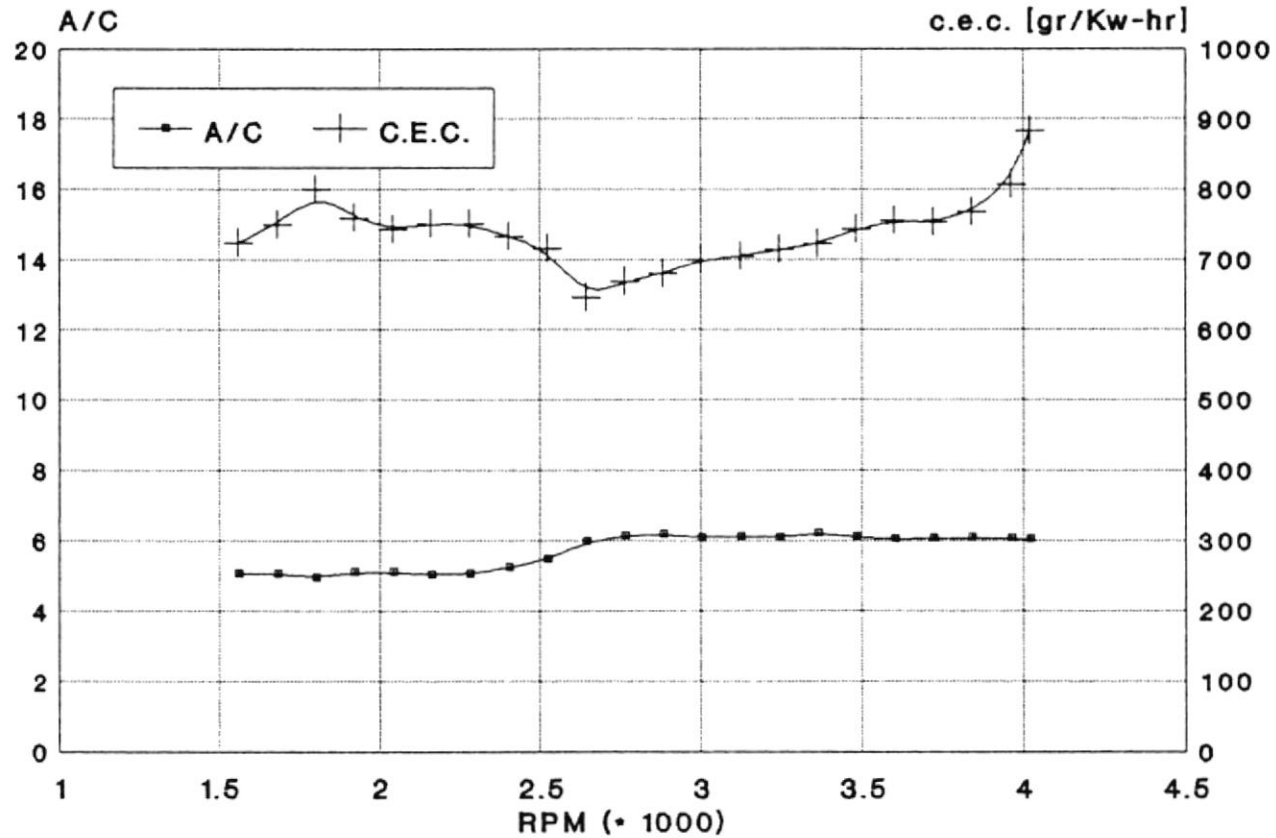


FIG. C - 4

VARIACION DE LA VELOCIDAD 50% DE ACELERACION

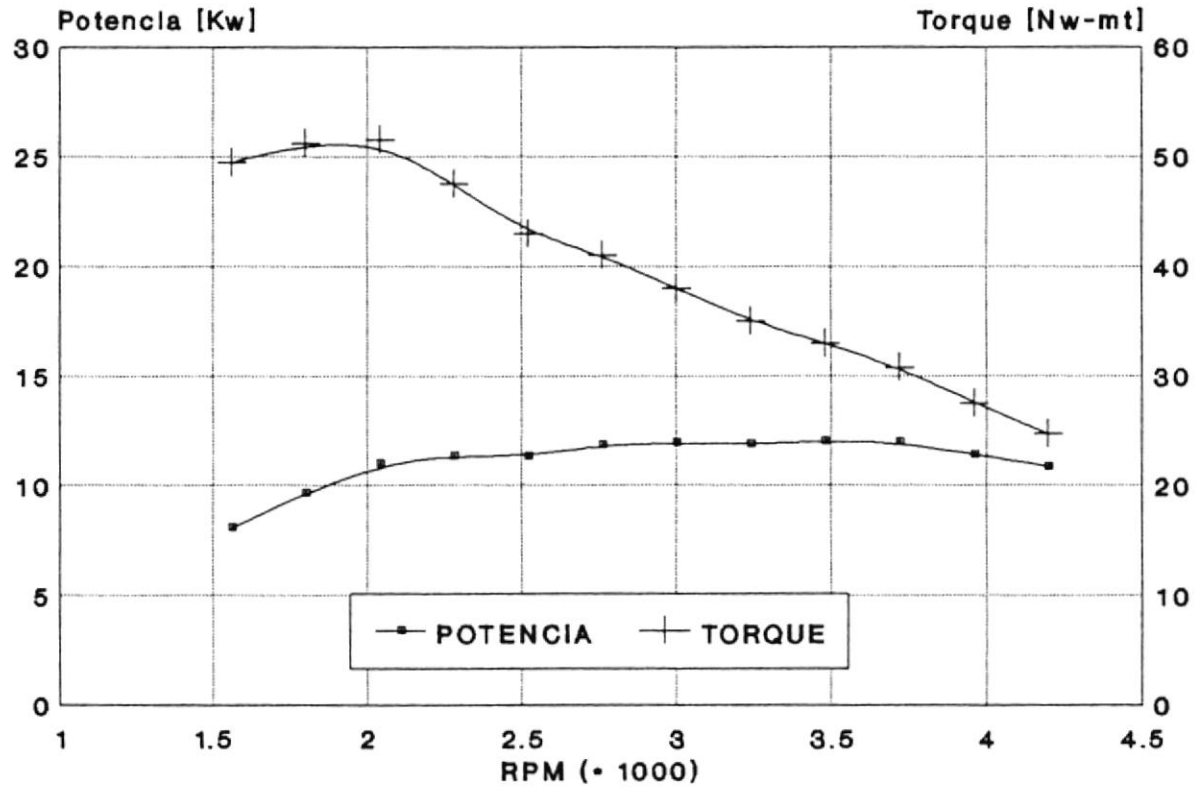


FIG. C - 5

VARIACION DE LA VELOCIDAD 50% DE ACELERACION

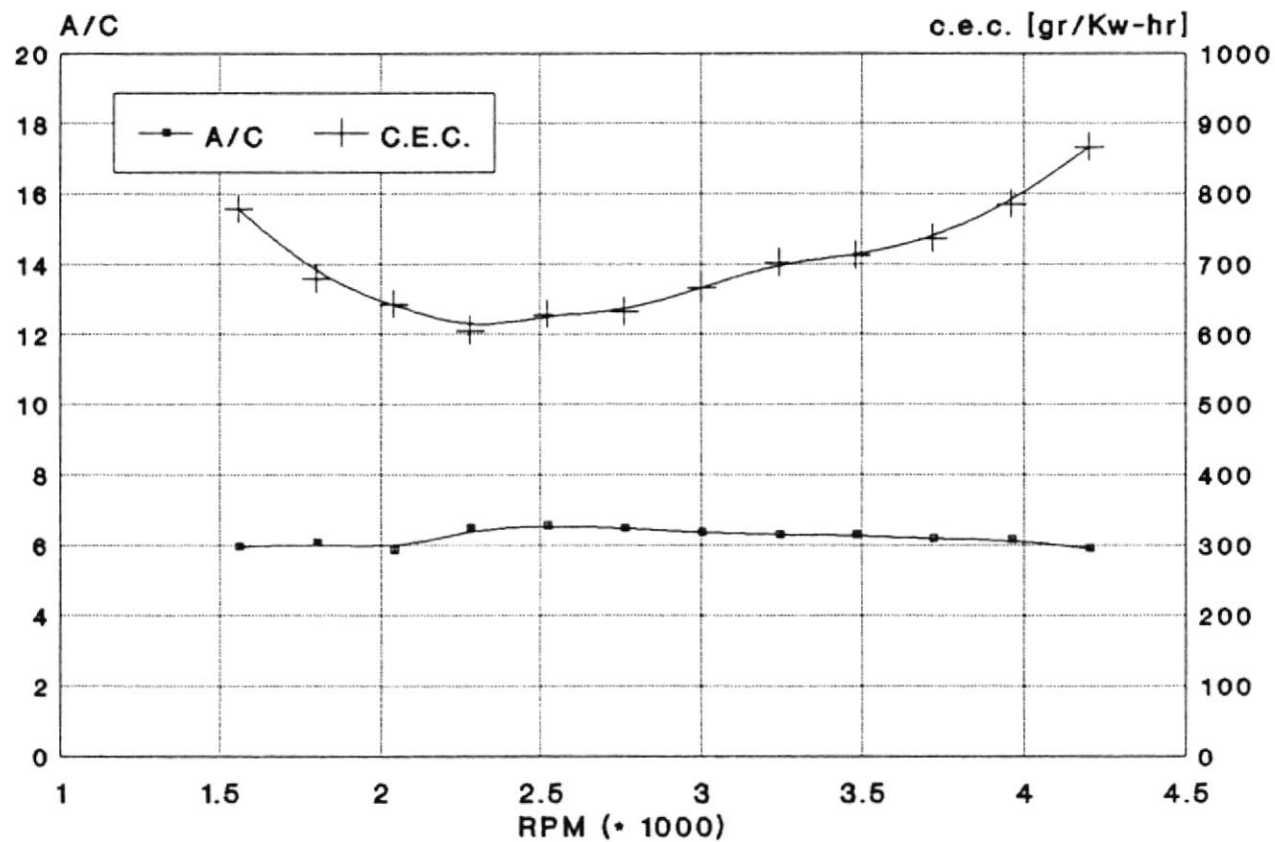


FIG. C - 6

VARIACION DE LA VELOCIDAD 100% DE ACELERACION

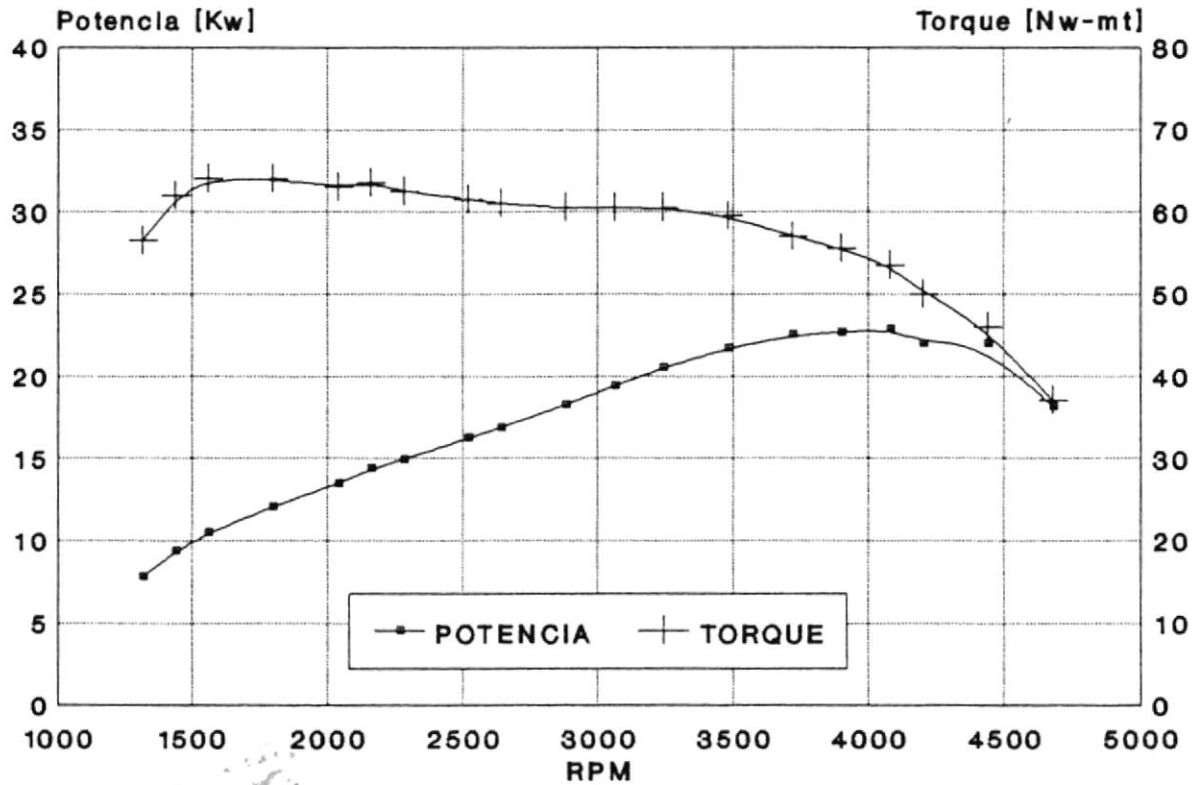


FIG. C - 7

VARIACION DE LA VELOCIDAD 100% DE ACELERACION

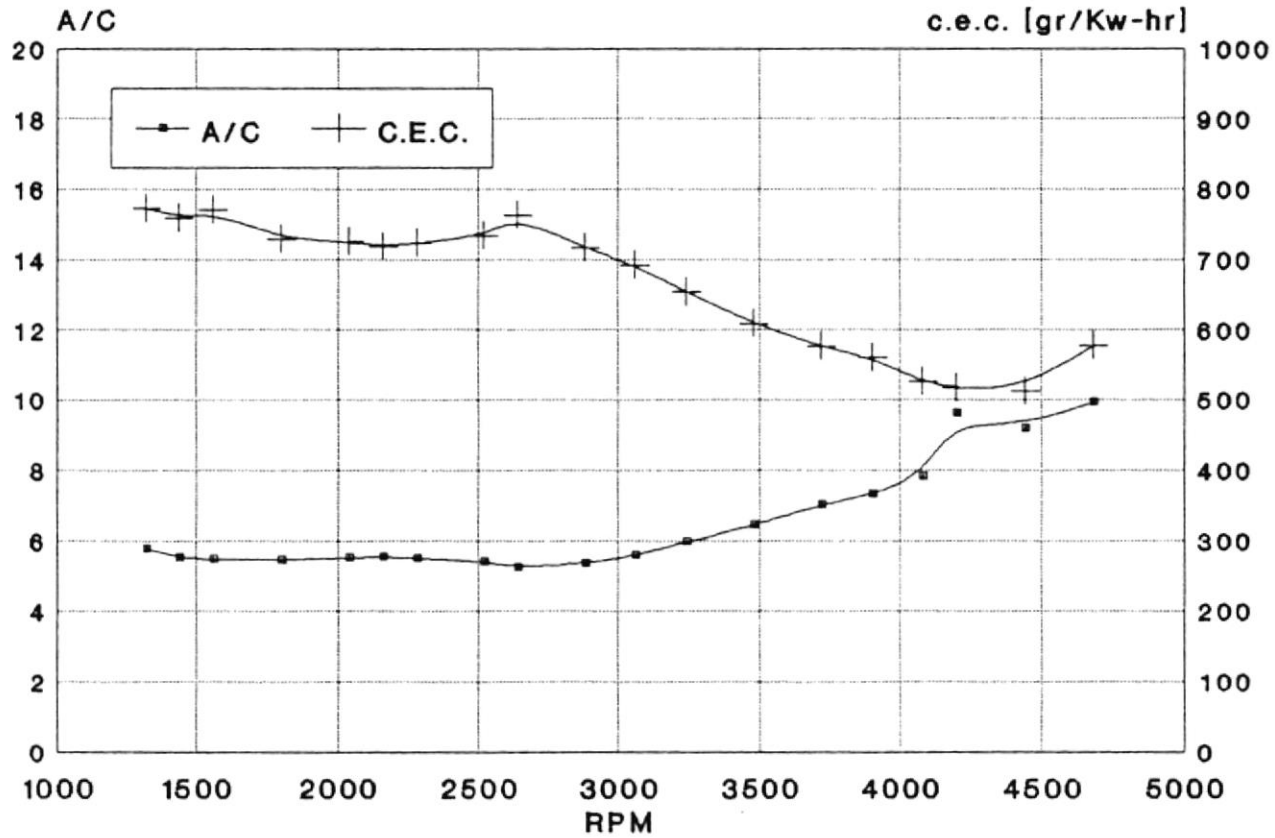


FIG. C - 8

VARIACION DE LA VELOCIDAD 100% DE ACELERACION

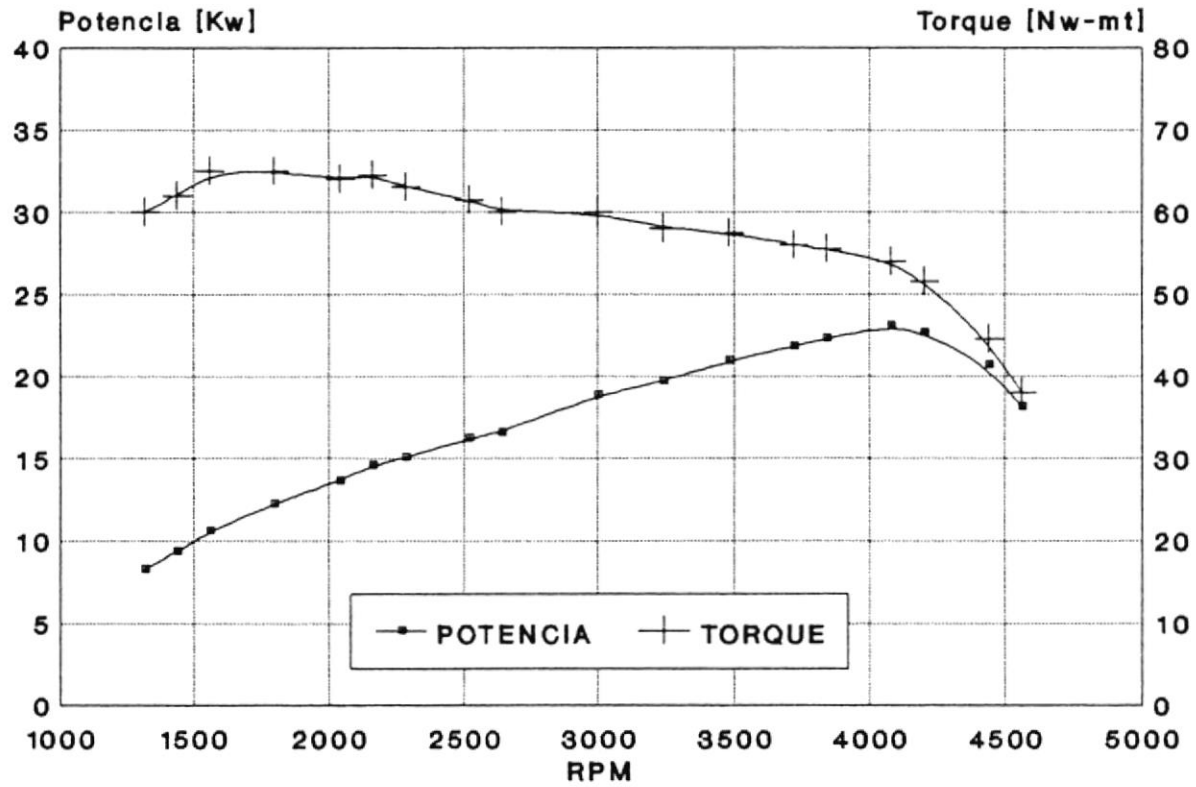


FIG. C - 9

VARIACION DE LA VELOCIDAD 100% DE ACELERACION

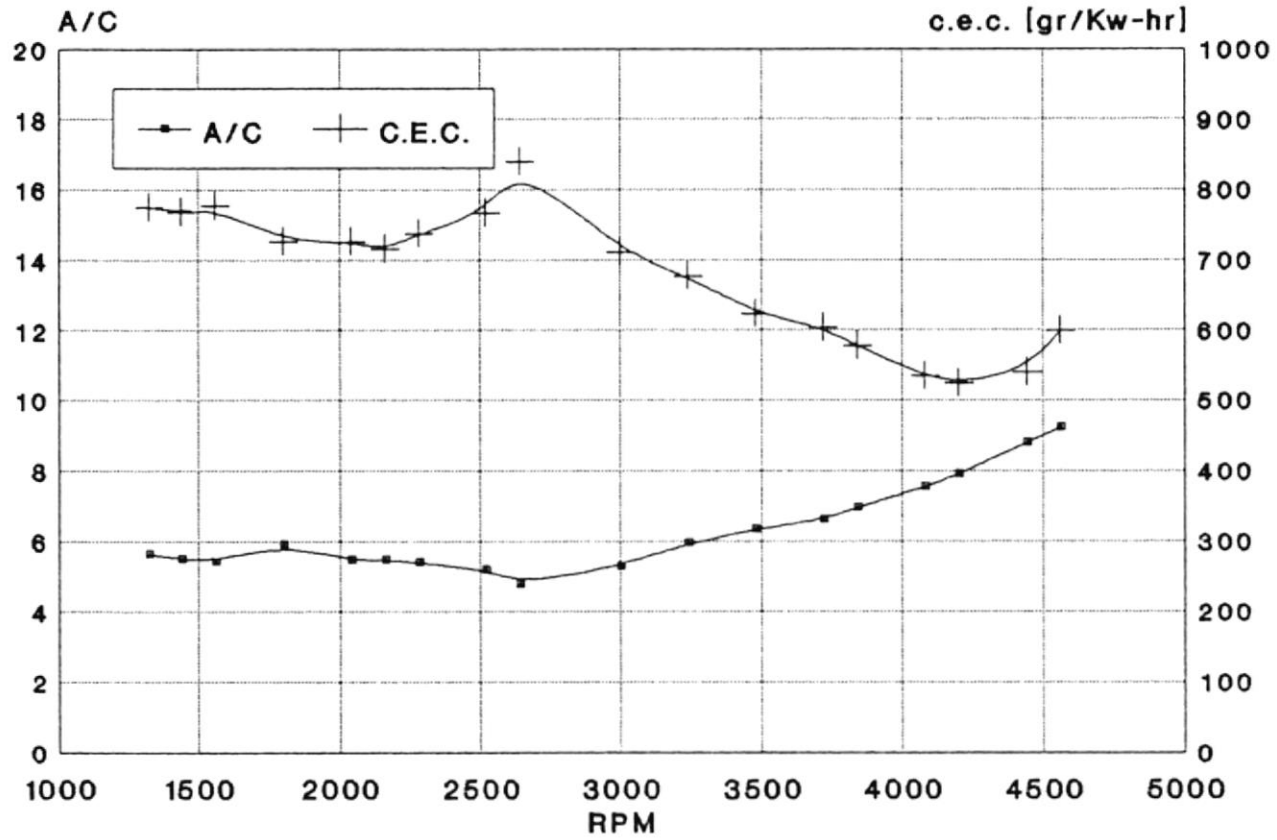


FIG. C - 10

VARIACION DE LA VELOCIDAD 100% DE ACELERACION

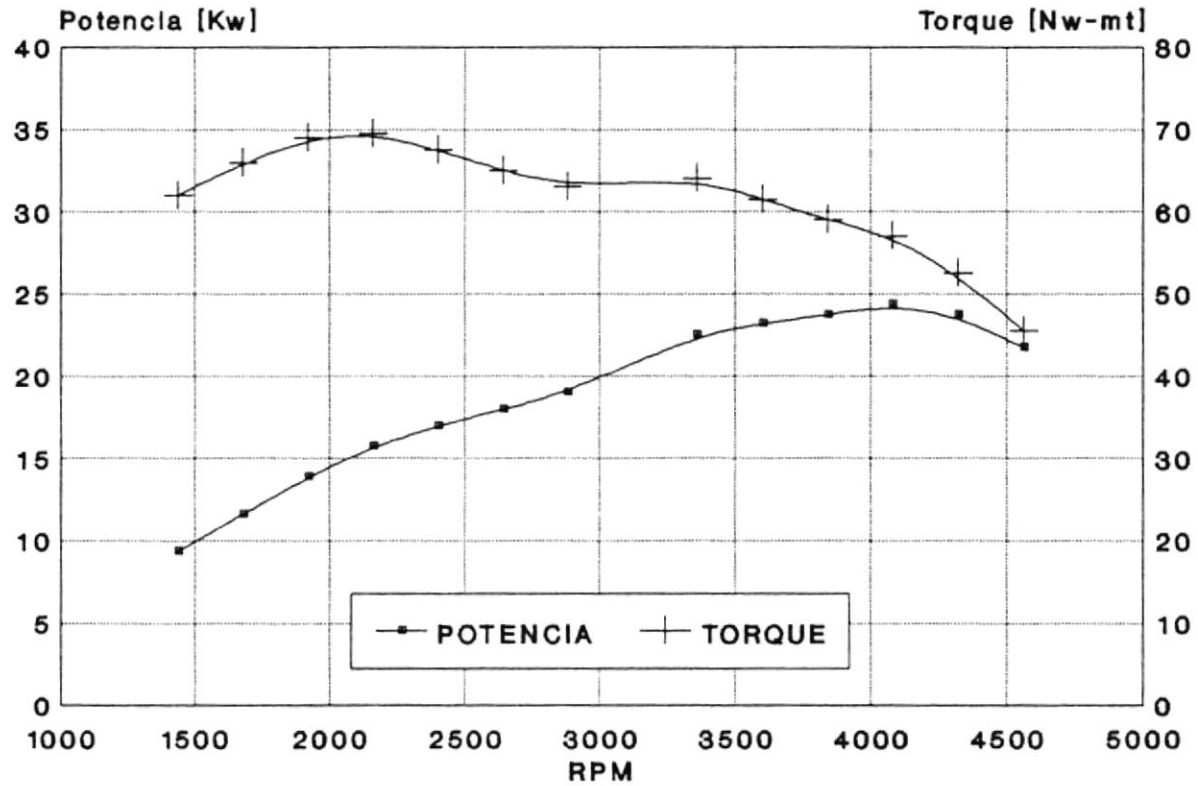


FIG. C - 11



VARIACION DE LA VELOCIDAD 100% DE ACELERACION

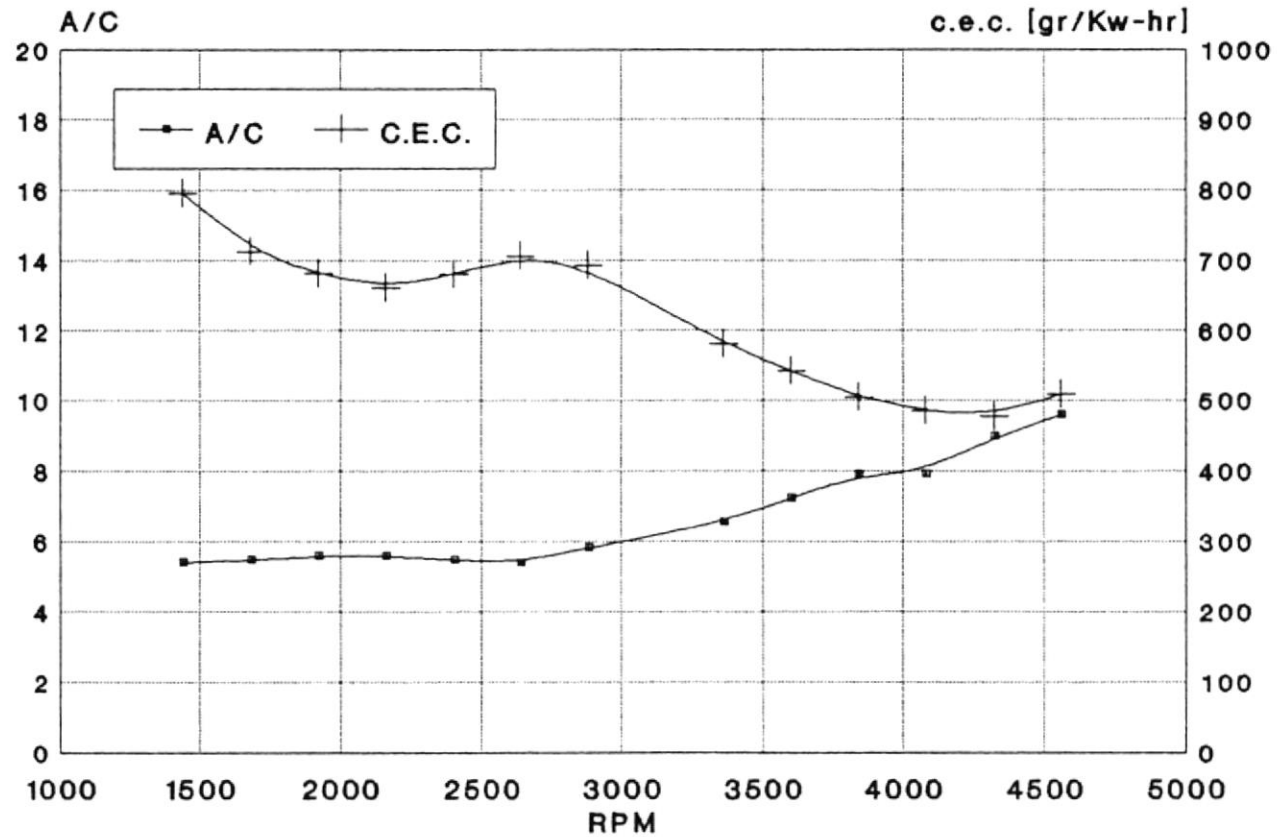


FIG. C - 12

VARIACION DE LA VELOCIDAD
100% DE ACELERACION
GASOLINA 92 OCTANOS

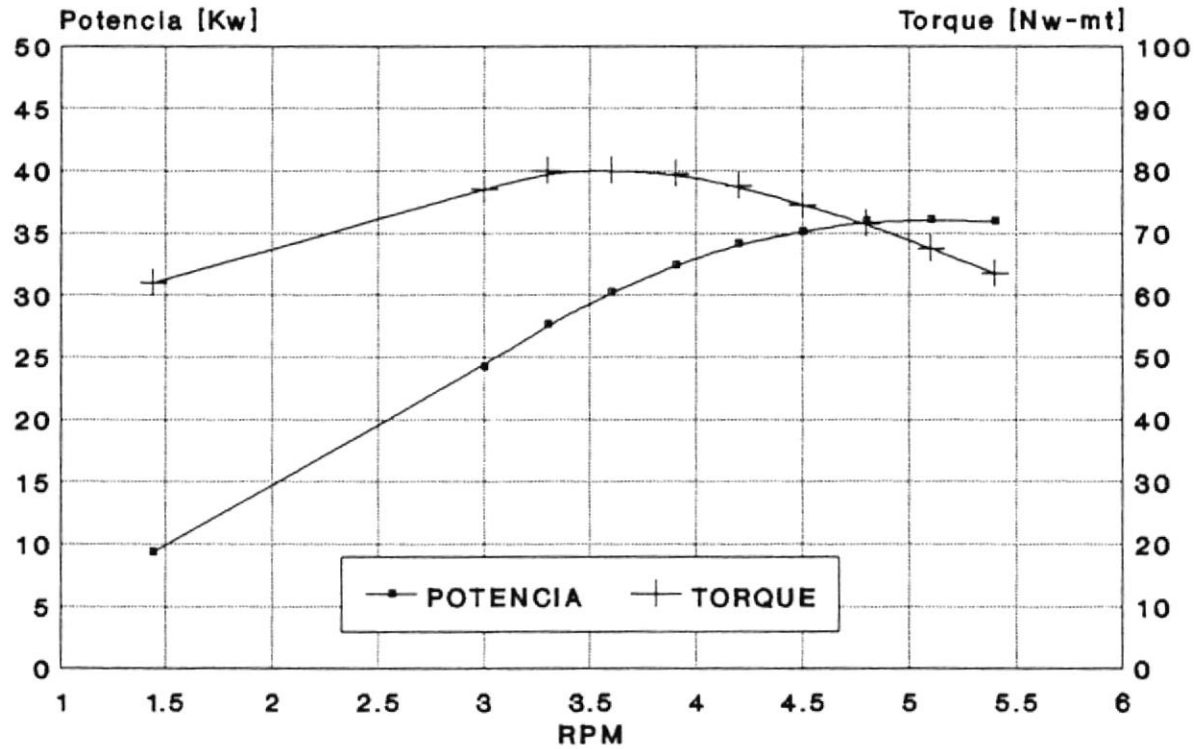


FIG. C - 13

VARIACION DE LA VELOCIDAD
100% DE ACELERACION
GASOLINA 92 OCTANOS

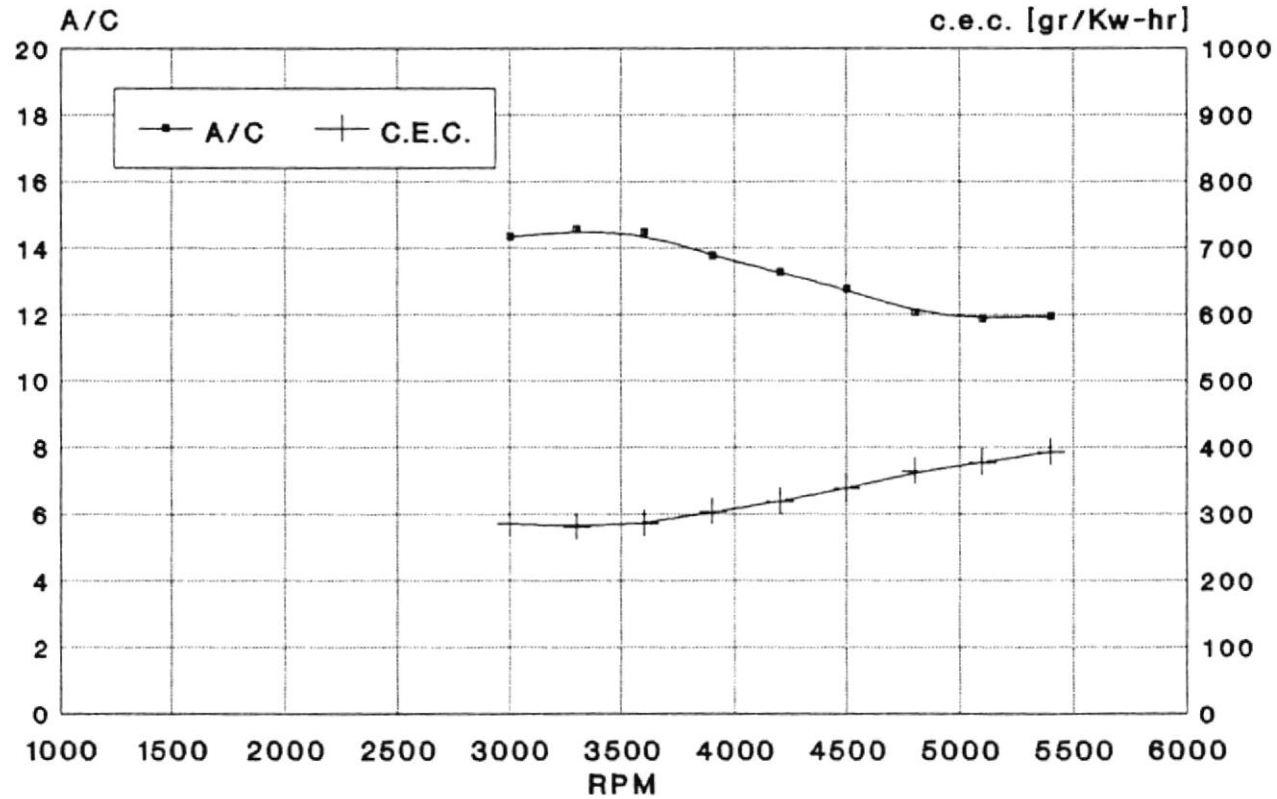


FIG. C - 14

APENDICE D

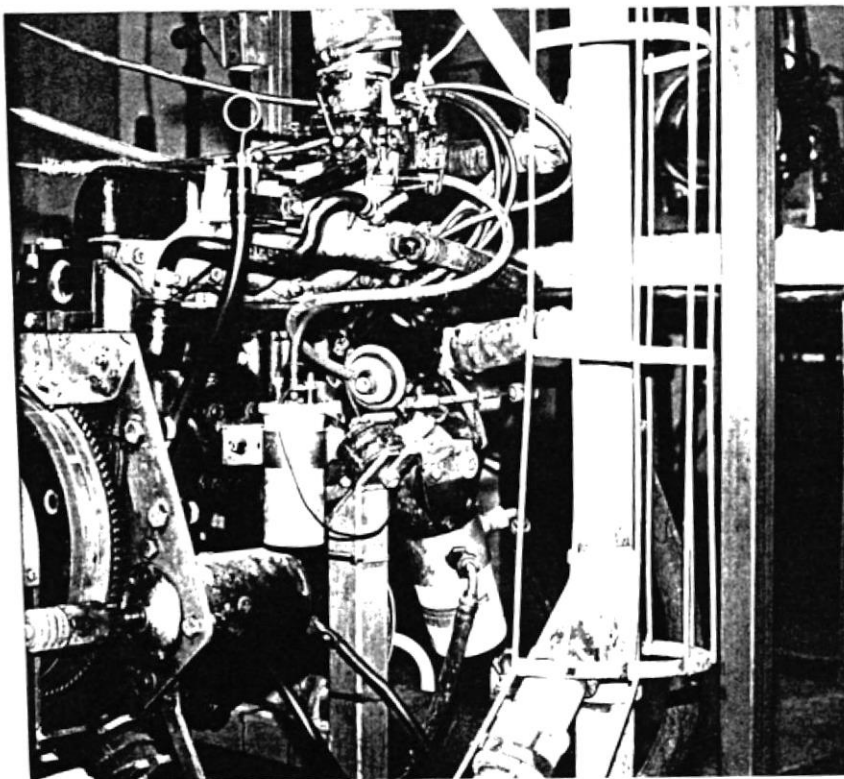


FOTO # 1: MOTOR FORD CORTINA 1300 cc.

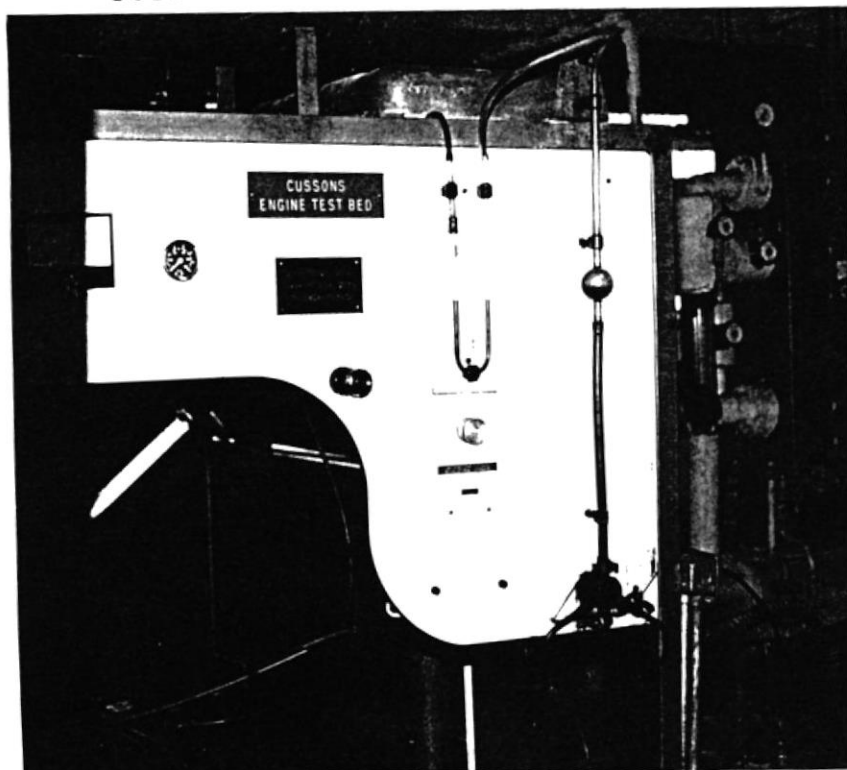


FOTO # 2: BANCO DE PRUEBAS CUSSONS.

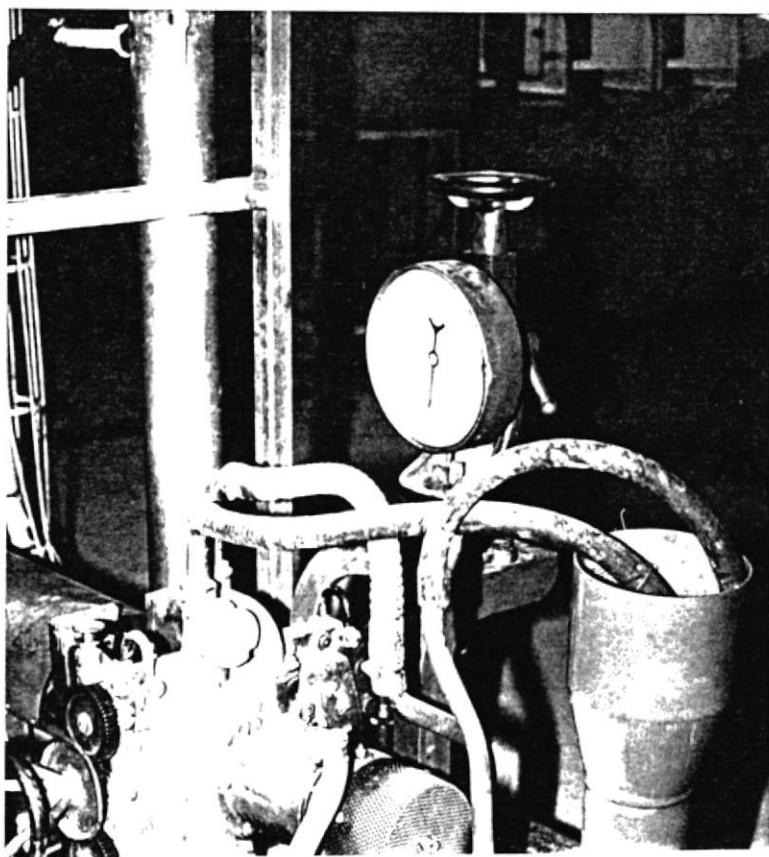


FOTO # 3: FRENO HIDRAULICO FROUDE.

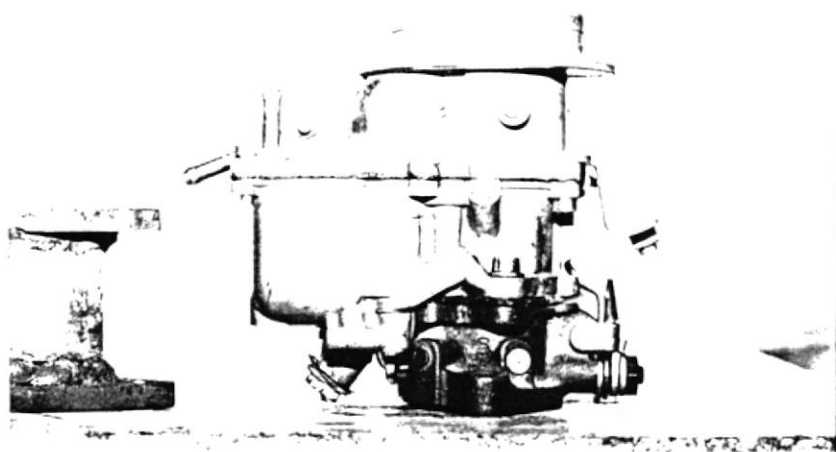


FOTO # 4: CARBURADOR PARA ALCOHOL ETILICO.



FOTO # 5: VISTA INFERIOR DEL CARBURADOR.

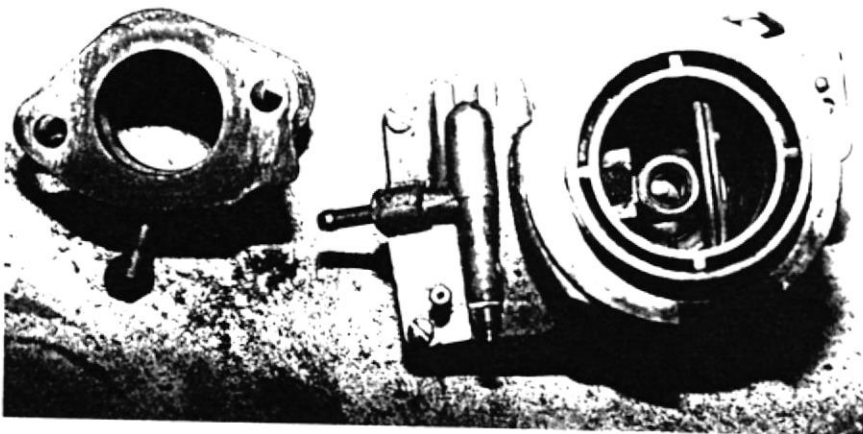


FOTO # 6: VISTA SUPERIOR DEL CARBURADOR Y BASE DE ACOUPLE.

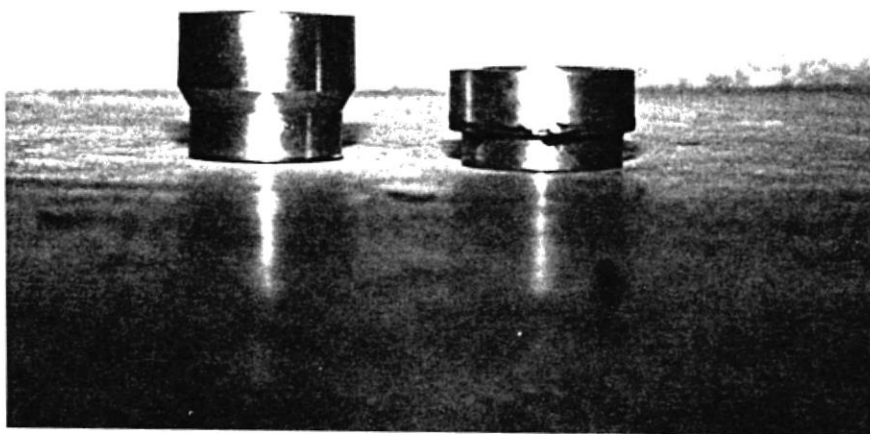


FOTO # 7: VISTA FRONTAL DE LOS OBTURADORES.

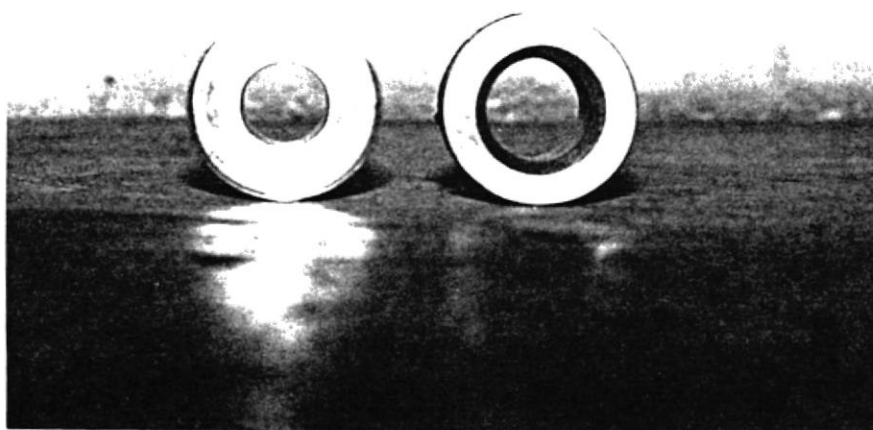







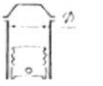

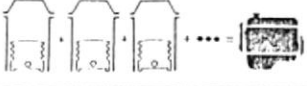

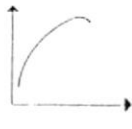



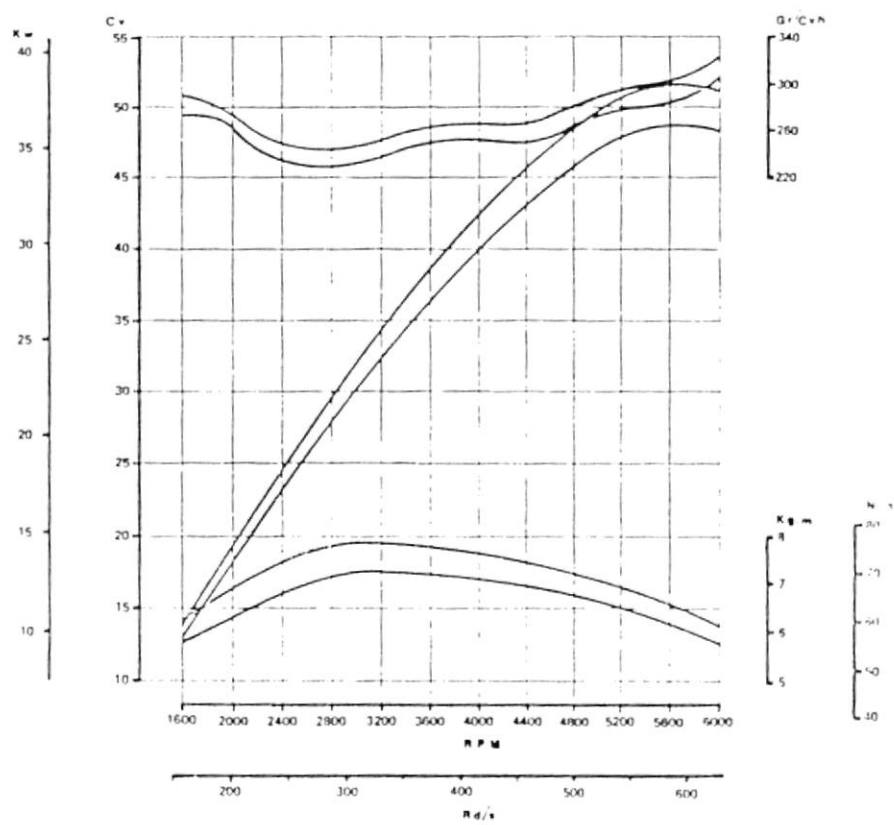
FOTO # 8: VISTA SUPERIOR DE LOS OBTURADORES.

APENDICE E

BLOCK Y ÓRGANOS DEL CIGUEÑAL

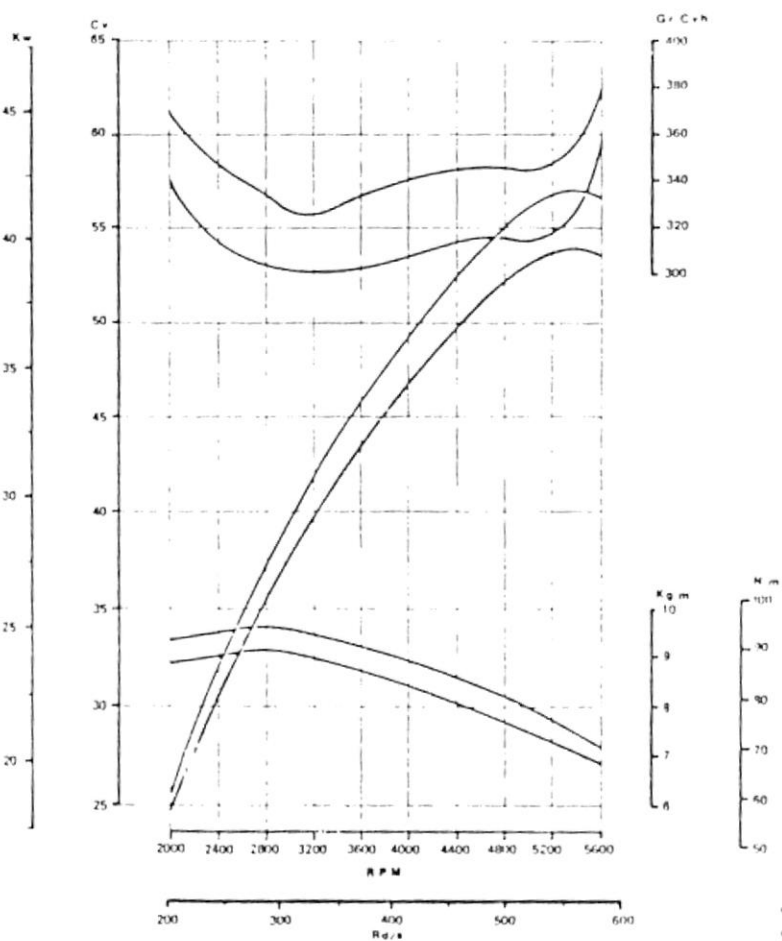
DATOS CARACTERÍSTICOS

		1050 cc  GASOLINA	1300 cc  GASOLINA	1300 cc  ALCOHOL	1300 cc  GAS. 70 CV	1300 cc  AL. 70 CV
	Ciclo	OTTO 4 tiempos				
	Número de cilindros	4				
	Diámetro del cilindro (mm)	76,0				
	Carreta (mm)	57,3	71,5			
	Cilindrada (cm ³)	1.048,8	1297,4			
	Relación de compresión = Q	8,0:1	10,5:1	8,0:1	10,5:1	
	Kw	38,3	42,8	43,9	52,5	51,5
	(CV)	(52)	(58,7)	(59,7)	(71,4)	(70,0)
	rpm	5.600	5.200	5.200	5.600	
	Nm	76,5	98,0	98,0	101,9	103,9
	(kgm)	(7,8)	(10,0)	(10,0)	(10,4)	(10,6)
	rpm	3.200		2.600	3.000	



S Gasolina

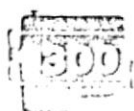
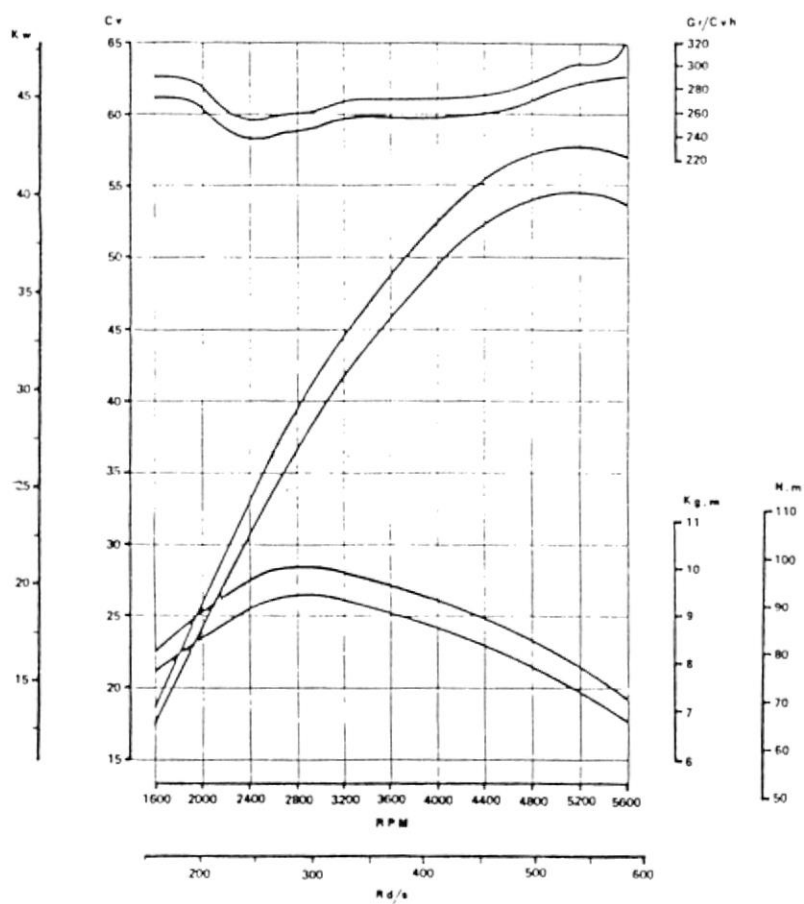
2010



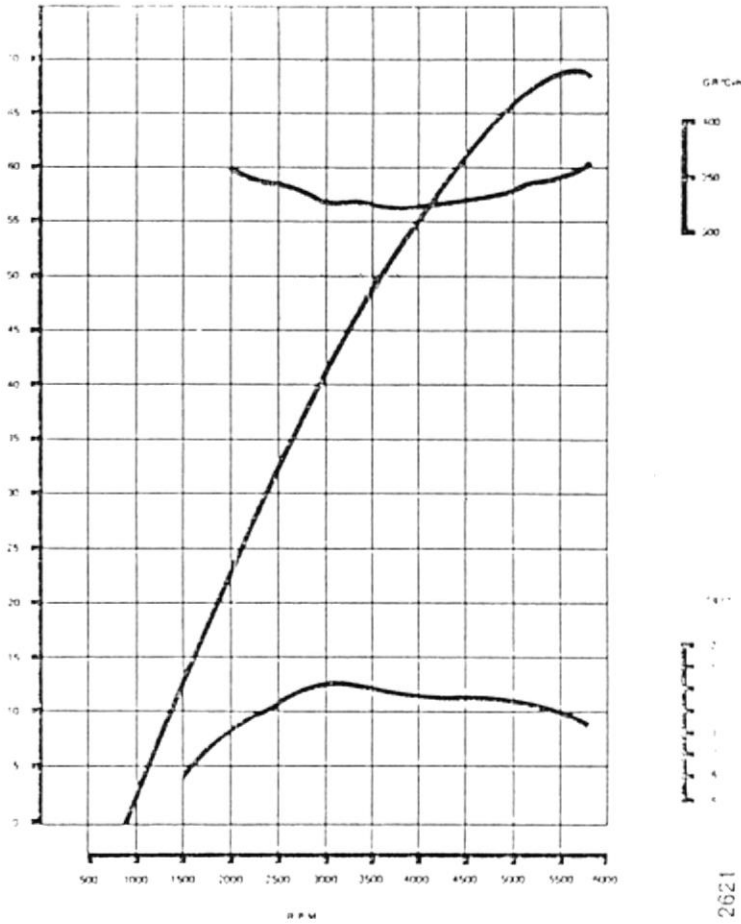
2619

S/CS Alcohol

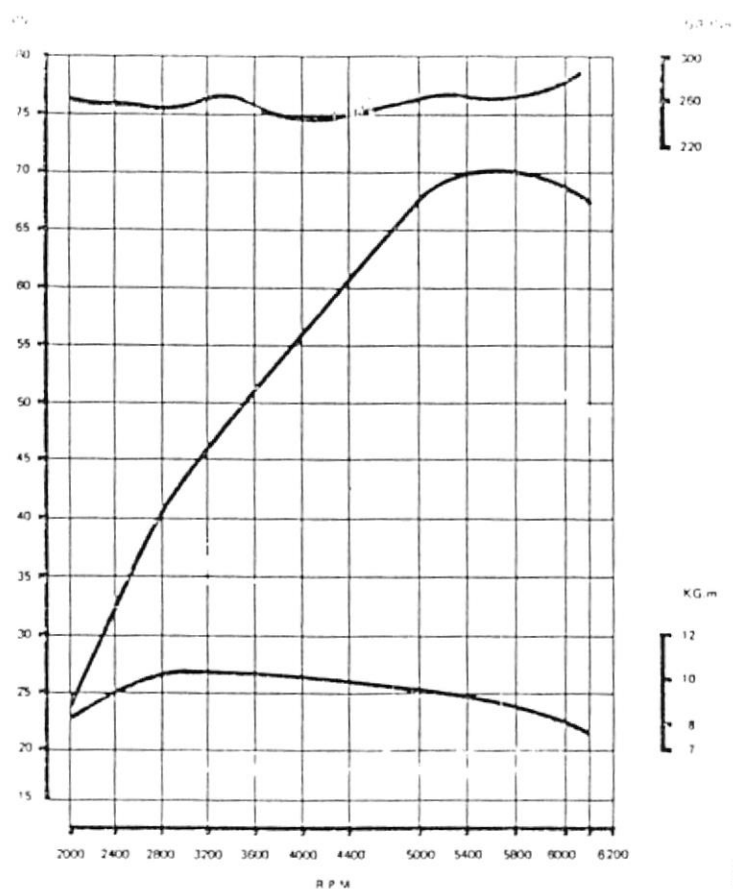




CS Gasolina



SX Alcohol 70 CV



2622



SX Gasolina 70 CV

APENDICE F

VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 50% ACELERACION

D = 21.65 mm
 Pa = 759.8 mmHg
 Ta = 27 C
 V = 50 c.c.
 RPM = 3360

GRADOS	TORQUE (Nw-mt)	TIEMPO (Seg.)	POTENCIA (Kw)	c.e.c. (gr/Kw-hr)
2.00	25.40	19.28	8.941	852.303
4.00	26.90	18.76	9.469	825.342
8.00	28.70	18.18	10.102	798.273
12.00	30.80	17.48	10.842	773.748
16.00	31.50	17.43	11.088	758.650
20.00	33.50	16.72	11.792	743.432
24.00	34.60	16.67	12.174	722.345

TABLA XI
 F - 1

VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 50% ACELERACION

D = 21.65 mm
 Pa = 759.0 mmHg
 Ta = 26.5 C
 V = 50 c.c.
 RPM = 3360

GRADOS	TORQUE (Nw-mt)	TIEMPO (Seg.)	POTENCIA (Kw)	c.e.c. (gr/Kw-hr)
2.00	26.00	19.72	9.152	815.729
4.00	27.20	19.38	9.574	793.322
8.00	28.50	19.29	10.032	760.761
12.00	29.90	19.02	10.525	735.354
16.00	31.80	18.52	11.194	710.292
20.00	34.70	17.64	12.214	683.346
24.00	38.80	16.41	13.652	657.076

TABLA XII
F - 2

VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 50% ACELERACION

D = 21.65 mm
 Pa = 757.3 mmHg
 Ta = 27.5 C
 V = 50 c.c.
 RPM = 3360

GRADOS	TORQUE (Nw-mt)	TIEMPO (Seg.)	POTENCIA (Kw)	c.e.c. (gr/Kw-hr)
2.00	26.40	19.19	9.293	828.790
4.00	27.00	19.07	9.504	815.651
8.00	28.60	18.33	10.067	801.332
12.00	30.70	17.49	10.806	782.274
16.00	31.50	17.64	11.088	755.837
20.00	32.60	17.63	11.480	730.723
24.00	34.00	17.46	11.968	707.512

TABLA XIII
 F - 3

VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 100% ACELERACION

D = 21.65 mm
 Pa = 758.2 mmHg
 Ta = 25.5 C
 V = 50 c.c.
 RPM = 3360

GRADOS	TORQUE (Nw-mt)	TIEMPO (Seg.)	POTENCIA (Kw)	c.e.c. (gr/Kw-hr)
2.00	50.90	10.64	17.918	772.814
4.00	53.50	10.54	18.832	741.795
8.00	55.80	10.51	19.642	713.534
12.00	58.30	10.40	20.522	690.451
16.00	60.00	10.29	21.120	677.960
20.00	61.70	10.43	21.718	650.270
24.00	64.50	10.35	22.704	627.343
26.00	55.60	11.10	19.571	678.258

TABLA XIV
F - 4



VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 100% ACELERACION

D = 21.65 mm
 Pa = 758.2 mmHg
 Ta = 25.5 C
 V = 50 c.c.
 RPM = 3360

GRADOS	TORQUE (Nw-mt)	TIEMPO (Seg.)	POTENCIA (Kw)	c.e.c. (gr/Kw-hr)
2.00	49.20	12.82	17.321	776.256
4.00	51.80	12.03	18.232	757.741
8.00	53.30	11.89	18.773	738.298
12.00	55.90	11.61	19.685	715.312
16.00	57.80	11.03	20.046	689.995
20.00	60.50	10.79	21.892	662.665
24.00	65.00	10.53	22.881	637.259
26.00	56.30	11.23	19.829	681.473

TABLA XV
 F - 5

VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 100% ACELERACION

D = 21.65 mm
 Pa = 758.2 mmHg
 Ta = 25.5 C
 V = 50 c.c.
 RPM = 3360

GRADOS	TORQUE (Nw-mt)	TIEMPO (Seg.)	POTENCIA (Kw)	c.e.c. (gr/Kw-hr)
2.00	50.00	11.97	17.201	748.539
4.00	52.60	11.46	18.521	715.284
8.00	56.00	10.99	19.714	682.197
12.00	59.30	10.65	20.872	657.352
16.00	62.80	10.43	22.113	635.178
20.00	66.30	10.20	23.346	610.466
24.00	69.00	10.03	24.295	581.045
26.00	65.40	10.65	23.027	604.365

TABLA XVI
F - 6

APENDICE G

VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 50% DE ACELERACION

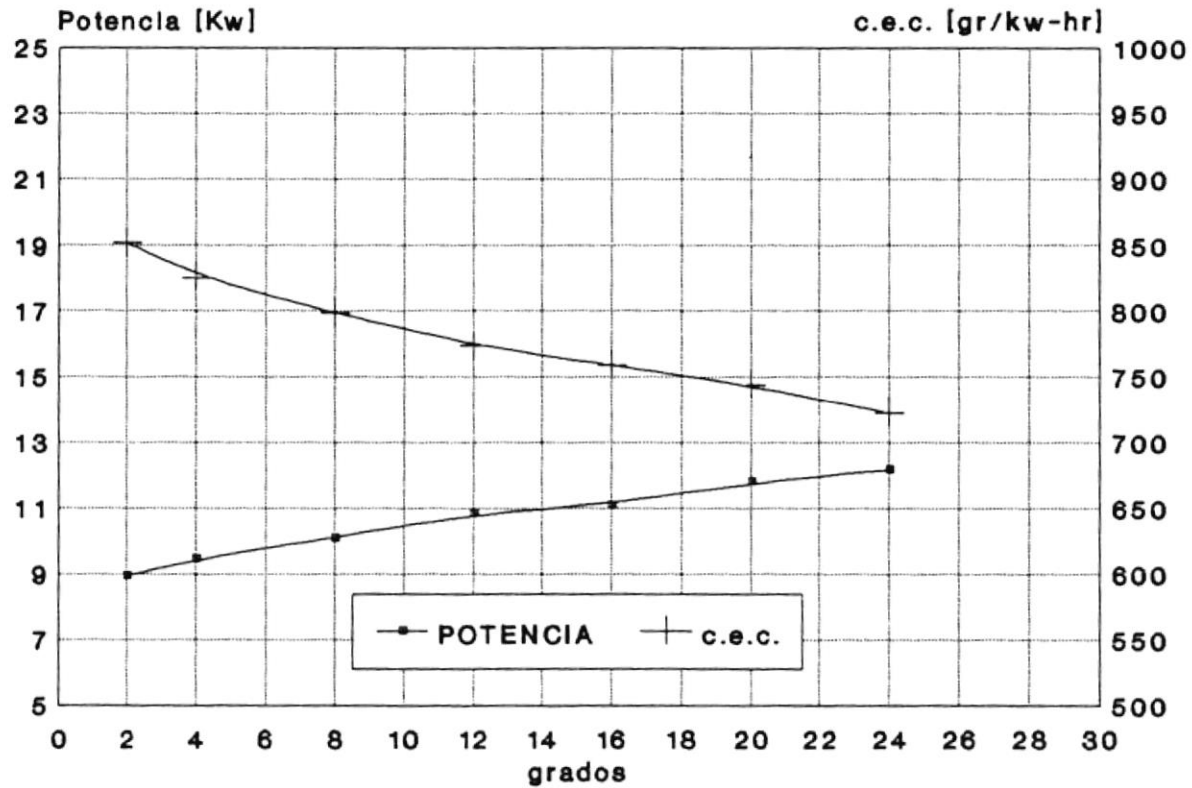


FIG. G - 1

VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 50% DE ACELERACION

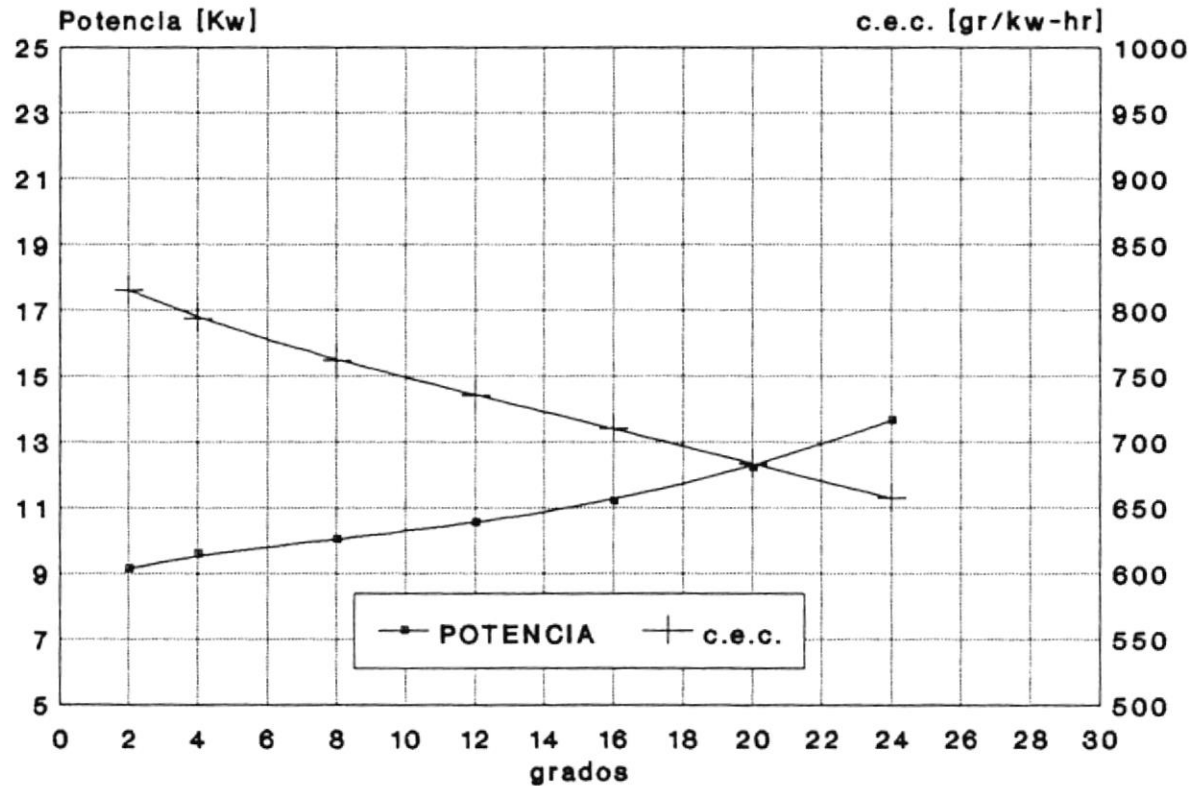


FIG. G - 2



VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 50% DE ACELERACION

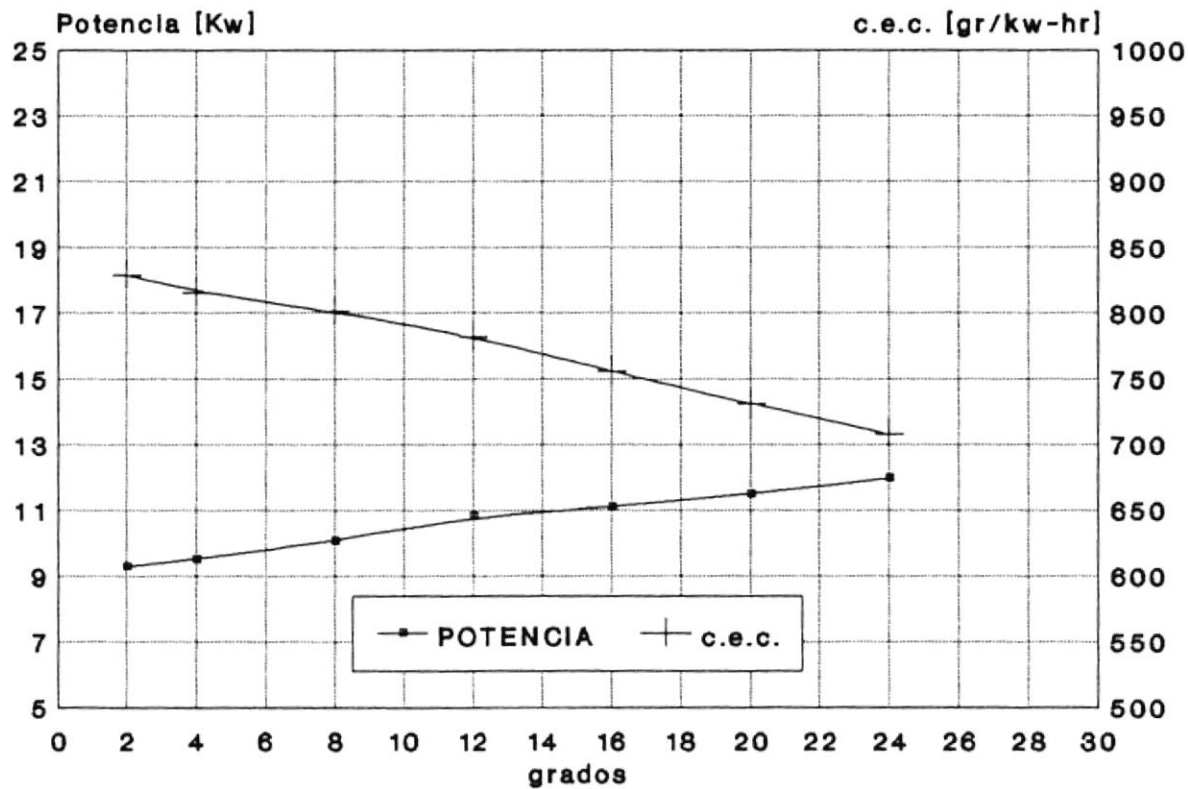


FIG. G - 3

VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 100 % DE ACELERACION

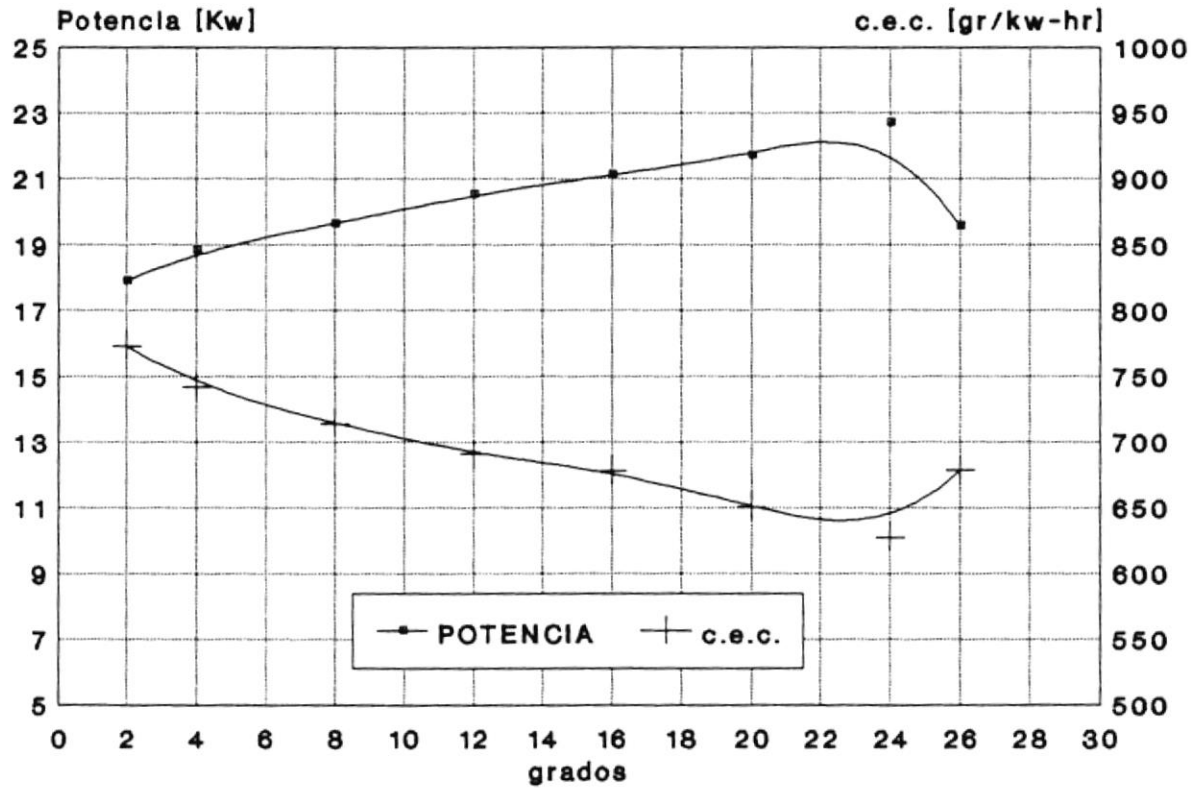


FIG. G - 4

VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 100 % DE ACELERACION

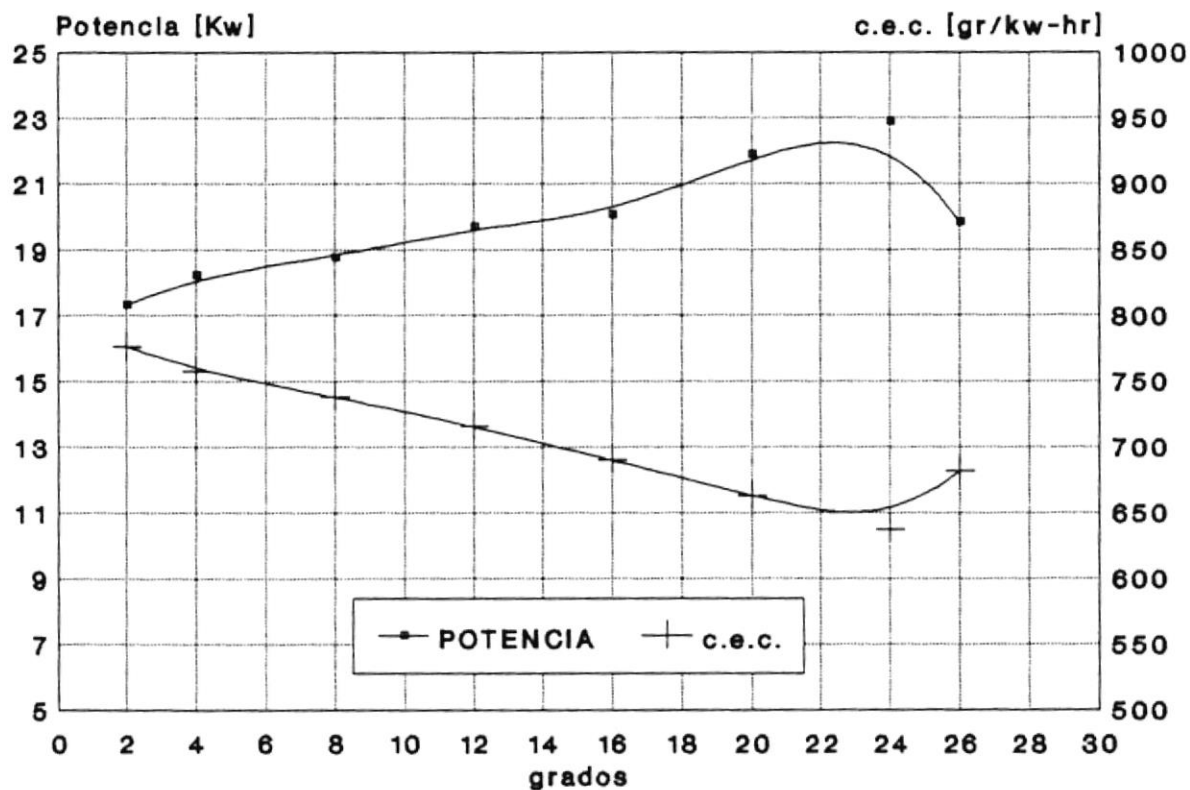


FIG. G - 5

VARIACION DEL ANGULO DE ENCENDIDO 100 % DE ACELERACION

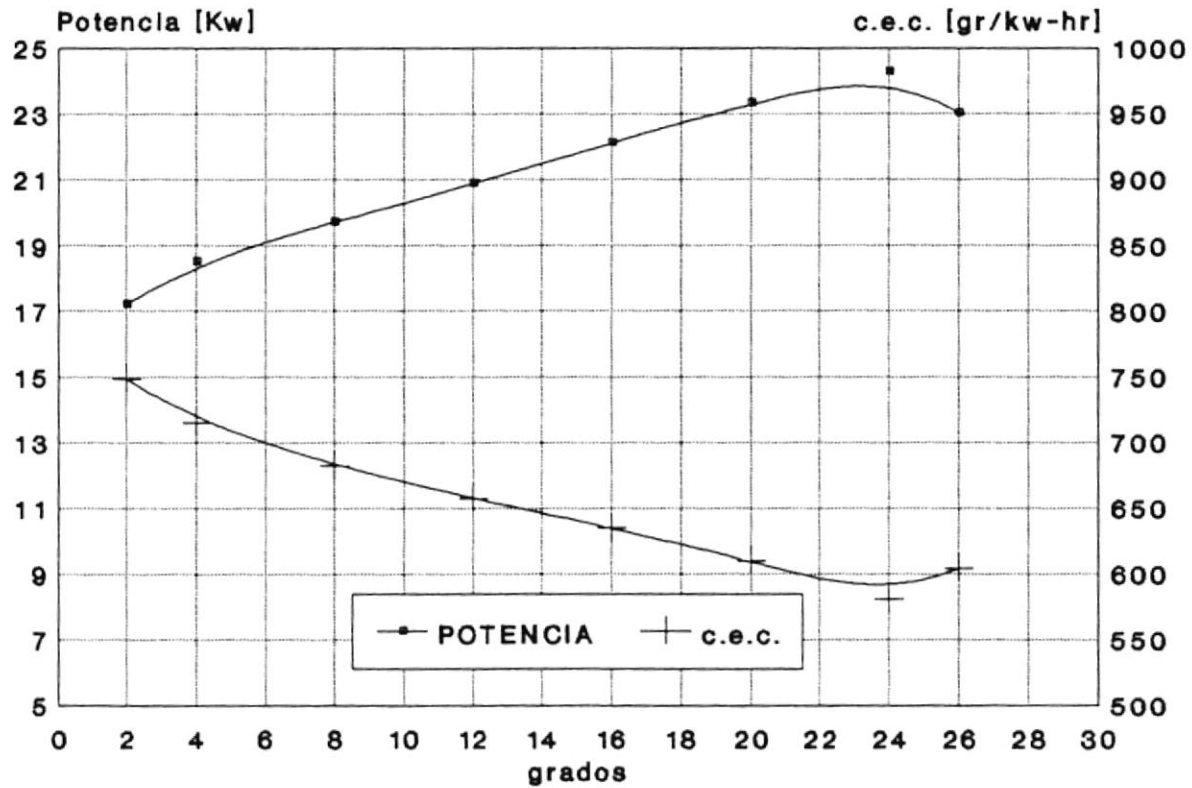


FIG. G - 6

NOMENCLATURA

A/C	= Relación aire-combustible.
c.e.c.	= Consumo específico de combustible.
D	= Diámetro.
K	= Relación de calores específicos.
PMS	= Punto muerto superior.
PMI	= Punto muerto inferior.
ETBE	= Tri-etílico eter butil.
bhp	= Potencia efectiva del motor (potencia al freno).
ihp	= Potencia indicada.
fhp	= Potencia de la fricción.
bmep(pb)	= Presión media efectiva.
h_o	= Cabezal de aire.
Q_1	= Calor introducido.
Q_2	= Calor sustraído.
c_v	= Calor específico a volumen constante.
c_p	= Calor específico a presión constante.
T	= Temperatura, par motor.
P	= Presión, Potencia.
U	= Energía interna.
N	= Velocidad de rotación.
RPM	= Revoluciones por minuto.
c.c.	= Volumen de combustible.
\dot{m}_a	= Consumo de aire.

\dot{m}_c = Consumo de combustible.
t = tiempo.
RPS = Revoluciones por segundo.

LETRAS GRIEGAS.

γ = Peso específico.
 ρ = Densidad.
 η_t = Rendimiento térmico.
 η_v = Rendimiento volumétrico.
 τ_c = Relación de compresión.





BIBLIOGRAFIA.

- 1.- CEVALLOS Freddy. MOTORES DE COMBUSTION INTERNA. (Guayaquil - Ecuador: ESPOL, 1979), pp: 10-49.
- 2.- FIAT CORP., MANUAL DE MANTENIMIENTO Y REPARACION, (Brasil: Copyright Fiat, 1991), pp: 102-120.
- 3.- GIACOSA Dante, MOTORES ENDOTERMICOS, (3ra. edición; Barcelona: Hoepli, 1970), pp: 45-129.
- 4.- LAPILLONE Bruno, ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA PRODUCCION A GRAN ESCALA DE ALCOHOL, (Quito: INE, 1980), pp: 1 - 28.
- 5.- OBERT E. F., MOTORES DE COMBUSTION INTERNA Y POLUCION DEL AIRE, (New York, USA: Intext Edducational Publisher, 1973), pp: 50-356.
- 6.- PAVLOV B., TERETIEV A., CURSO DE QUIMICA ORGANICA, (Moscú, URSS: MIR Moscú, 1970), pp: 129-136.
- 7.- PETROBRAS, INFORME TECNICO-USO DE GASOLINA EN UN MOTOR A ALCOHOL, (Rio de Janeiro, Brasil: Lanoas, 1985), pp: 5-13.
- 8.- STAWN Naomi, HINMAN Norm, BIO FUELS FACTS, (Colorado, USA: GOLCEN, 1993), pp: 988- 1015, 1032-1052, 1185-1190, 1533-1536.