

Ruben Ecuivar
6/3/03

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



"ADAPTACION DE ELECTROGENERADORES DOMESTICOS
A USO DE BIOGAS"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de

INGENIERO MECANICO

presentada por

VICTOR H. LARCO GOMEZ

GUAYAQUIL-ECUADOR

1982

AGRADECIMIENTO

Al Dr. ALFREDO BARRIGA R.,
Director de Tesis, por su
ayuda y colaboración para
la realización de este tra-
bajo.

DEDICATORIA

A mi Madre

A la memoria de mi Padre

A mis Hermanos


.....
Dr. Alfredo Barriga R.,
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

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

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



.....
VICTOR HUGO LARCO GOMEZ

R E S U M E N

Se presenta un análisis experimental y teórico de la operación de pequeños motores de combustión interna, en los que se reemplaza el combustible convencional por biogas, con aplicación a electrogeneradores para el área rural. La selección y adaptación de un carburador para el motor de pruebas se justifica debido a que no todos los modelos de carburadores pueden funcionar alternamente con gasolina y biogas. Se recomienda un diseño de un mezclador para que trabaje alternamente con los dos tipos de combustible.

Se incluyen pruebas de banco y se presentan los resultados de dichas pruebas tanto para gasolina, biogas y gas licuado de petróleo, (LPG).

Los resultados del LPG son referenciales y se incluyen en el Apéndice A. Se recomienda el tipo de motor más apropiado para la adaptación.

Finalmente se incluye un bosquejo y dimensionamiento aproximado para una unidad generadora de biogas, así como del

digestor y su materia prima apropiada, de tal forma que satisfaga los requerimientos de consumo de energía eléctrica en una familia perteneciente al área rural.

INDICE GENERAL

RESUMEN	VI
INDICE GENERAL.....	VI
INDICE DE TABLAS	
INTRODUCCION	
1. GENERALIDADES	
1.1 Generalidades y Objetivos	
1.2 Alcance del Proyecto	
1.3 Biogas, su proceso de obtención	
II. CARBURACION	
2.1 Funcionamiento del Carburador	
2.2 Clasificación de Carburadores	
2.3 Ajuste de los Carburadores	
III.COMBUSTIBLE.....	
3.1 Características del Biogas	
3.2 Combustión del BÍogas	
3.3 Evaluación Comparativa de las Propiedades, de los Combustibles Líquidos con el Biogas, en Aplicaciones a Motores de Combustión Interna	
IV. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DEL BIOGAS	
4.1 Diseño de Tanques de Almacenamiento	

4.2	Diseño de Tuberías para Distribución del Biogas.	57
4.3	Selección de dispositivos de control para el Biogas.....	59
v	EFFECTOS DE LA CORROSION.....	64
5.1	Estudio del efecto de la Corrosión en Motores de Combustión Interna.....	65
5.2	Determinación de los Elementos Corrosivos en el Biogas.....	66
5.3	Eliminación del Azufre contenido en el Biogas...	67
5.4	Diseño de Filtros Purificadores de Biogas.....	71
VI	PRUEBAS EXPERIMENTALES EN MOTORES.....	75
6.1	Efecto de la calidad de la mezcla.....	76
6.2	Mediciones de Torque, Flujo de Aire, Flujo de Combustible, con el acelerador completamente abierto, variando la velocidad del motor.....	82
6.3	Mediciones de Torque, Flujo de Aire, Flujo de Combustible, a velocidad constante, variando la abertura del acelerador.....	105
6.4	Eficiencia Mecánica y Térmica.....	116
6.5	Consumo total y específico de combustible.....	117
VII	OPTIMIZACION DEL USO DE BIOGAS EN LA ADAPTACION DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.....	120
7.1	Diseño de un Carburador para uso alterno de gasolina y biogas.....	121

7.2 Selección del Carburador más apropiado para el uso alternativo de Gasolina y Biogas.....	127
7.3 Selección del Motor más apropiado para trabajar con biogas en diversas aplicaciones.....	132
7.4 Recomendaciones generales de operación para motores que funcionan con biogas.....	138
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
APENDICES.....	147
A.- Utilización del LPG en el Motor de Pruebas (Power-lite).....	148
B.- Cartas y Tablas Adicionales.....	160
BIBLIOGRAFIA.....	170

INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>	<u>Pág</u>
1.1 Producción Estimada de Estiércol y Biogas Proveniente de Desperdicios Animales.....	15
1.2 Potencialidad de Generación Diaria de varias materias primas en términos de energía eléctrica.....	19
3.1 Composición General del Biogas.....	43
4.1 Biogas requerido para la Producción de Energía Eléctrica.....	63
5.1 Factor S, Valores.....	74
6.1 Datos de la Prueba con Gasolina, Velocidad Variable	89
6.1.1 Resultados de la Prueba con Gasolina, Velocidad Variable...	90
6.2 Datos de la Prueba con Biogas', Velocidad Variable..	100
6.2.2 Resultados de la Prueba con Biogas, Velocidad Variable.....	100
6.3 Datos de la Prueba con Gasolina, Velocidad Constante.....	100
6.3.3 Resultados de la Prueba con Gasolina, Velocidad Constante.....	100
6.4 Datos de la Prueba con Biogas, Velocidad Constante.	110
6.4.4 Resultados de la Prueba con Biogas, Velocidad Constante.....	110
6.5 Valores de Resultados experimentales correspondien-	

<u>NQ</u>	<u>Pág</u>
tes al mínimo consumo específico de Combustible....	113
A.1 Datos de la Prueba con LPG, Velocidad variable.....	154
A.1-1 Resultados de la Prueba con LPG, Velocidad Varia- ble.....	155
A.2 Datos de la prueba con LPG, Velocidad Constante....	157
A.2-2 Resultados de la Prueba con LPG, Velocidad Cons- tante.....	158
B.1 Poder Calorífico del Biogas y de otros combustibles no gaseosos.....	161
B.2 Poder Calorífico del Biogas y otros gases combus- tibles.....	162
B.3 Capacidad de una Instalación de Biogas.....	163
B.4 Consumo Típico de Potencia para diversos Artefactos Domésticos.....	164
B.5 Características de los Combustibles Gaseosos.....	165
B.6 Características de los Combustibles Líquidos.....	166
B.7 Constantes Físicas de los Hidrocarburos.....	167
B.8 Relaciones de Unidades.....	168

I N T R O D U C C I O N

La producción de energía a partir de la biomasa, es una realidad en nuestro medio, con diversas plantas de producción de biogas, localizadas en distintas provincias del País. De ahí que se ha visto la necesidad de utilizar la energía producida en forma de gas (Metano) en diversas aplicaciones. El presente trabajo abarca una de estas inquietudes, la cual es de aprovechar el metano producido para generar electricidad, utilizándolo como combustible en motores de combustión de pequeños electrogeneradores de uso común en zonas rurales, y cuyo rango de generación estará en el presente estudio entre 4 Kw/hr a 40 Kw/hr, de energía aprovechable.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 GENERALIDADES Y OBJETIVOS

La tecnología empleada para la producción y utilización de biogas en motores de combustión interna está aplicada a las necesidades de nuestro medio, siendo ésta compatible con la situación económica, social y política del sector de la población hacia el cual va enfocado este trabajo; este sector es el Area Rural.

El objetivo es, la adaptación de electrogeneradores domésticos al uso de biogas.

Se lo utilizará en motores de combustión interna, de cuatro tiempos, a gasolina, y con una relación de compresión de 8 a 1, ó mayor. Se analizará el sistema de carburación de estos motores y finalmente se recomendará el tipo de motor más apropiado para la adaptación, y éste deberá trabajar en forma alterna, con gasolina y biogas.

1.2 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto consta de las siguientes etapas:

- Realizar un estudio de los sistemas de carburación, de los motores existentes en el mercado.
- Utilizar el banco de pruebas para motores, para medir la eficiencia, consumo de combustible, etc. Con gasolina y biogas.
- Estudiar los efectos de la corrosión, debido a la utilización del biogas.
- Diseñar tanques de almacenamiento y sistemas de suministro del, biogas.
- Finalmente, se diseñará el sistema alternativo de alimentación de combustible, para gasolina y biogas.

1.3 BIOGAS, SU PROCESO DE OBTENCION

El metano puro es un gas incoloro e inodoro que generalmente constituye entre un 60 y un 70 por ciento del total del gas producido en el proceso anaeróbico. Los

otros componentes más importantes son el bióxido de carbono y concentraciones menores de otros gases, tales como sulfuro de hidrógeno e hidrógeno. El gas del digestor (biogas) se quema con una llama azul y posee un alto poder calorífico de, aproximadamente 4650 a 6000 Kcal/m³, cuando el contenido de metano es de un 60 a 70 %.

BIODEGRADABILIDAD.- La cantidad y composición de los gases producidos durante la digestión anaeróbica (en ausencia del oxígeno), son función, de la fracción total de los residuos que se exponen a la acción de las bacterias anaeróbicas, de la fracción biodegradable, y de las condiciones ambientales del proceso. Cuanto más biodegradable es el residuo mayor resulta la cantidad de metano producido por cantidad de desperdicio introducido en el digestor. La Tabla 1.1 indica la producción estimada de gas metano a partir del estiércol de varios animales.

Es posible producir entre 0.5 y 0.6 metros cúbicos de gas (que contiene de 60 a 70 por ciento de metano), por kilogramos de materia sólida volátil, introducida en el digestor, cuando la materia orgánica es altamente biodegradable, como es el caso del estiércol fresco de animal. No todos los desperdicios poseen estas

TABLA 1.1

PRODUCCION ESTIMADA DE ESTIERCOL Y BIOGAS
PROVENIENTE DE DESPERDICIOS ANIMALES

	Ganado Lechero	Ganado para carne	Porcino	De Corral
Produccion de estiércol (Kg/día/100 Kg de peso vivo).	85	58	50	59
Sólidos volátiles (Kg de sólido seco/día./1000 Kg de peso vivo).	8.7	5.9	5.9	12.8
Rendimiento en la digestión del estiércol sólido (%)	35	50	55	65
Producción de biogás (m ³ /Kg de sólido volátil)	0.29	0.41	0.45	0.53
m ³ /500 Kg de peso vivoldla.	1.27	1.23	1.34	3.45

FUENTE: Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer. L. John Fry. California, 1973.

condiciones favorables para la producción del metano. La fracción biodegradable de los residuos varía de acuerdo a las características de la sustancia, a la alimentación ingerida por el animal, y a la forma en que los desperdicios son tratados, antes de someterlos al proceso. Por ejemplo, solamente entre un 40 a 50 por ciento del sólido volátil que constituye el estiércol del ganado vacuno lechero, puede llegar a biodegradarse y ser apto para convertirse en metano. Para obtener un mayor rendimiento en el proceso de digestión se debe utilizar la sustancia lo más fresca posible, sin necesidad de agregarle algún elemento inerte, como ser arena o polvo. Cuando el residuo queda expuesto al medio ambiente, por Ej.: reposando en el suelo, la biodegradación natural comienza a producirse, por lo tanto va a perder efectividad en el proceso de elaboración. Por otra parte, ocurrirán pérdidas significativas de nitrógeno.

La Tabla 1.2 describe la potencialidad de varias materias primas, usadas en la producción de biogas, en términos de energía eléctrica.

EQUIPAMIENTO.- Los principales componentes de un sistema de producción de metano son: una uni-

TABLA 1.2

POTENCIALIDAD DE GENERACION DIARIA
DE VARIAS MATERIAS PRIMAS
EN TERMINOS DE ENERGIA ELECTRICA*

	Peso del Animal (Kg)	Estiércol (Kg)	Metano (m ³)	Nitrógeno (Kg)	Energía (Kwhr)
Vaca Lechera	635	52	1.132	0.258	3.1
Buey de Corte	453	27	0.7358	0.154	2.0
Caballo	453	20	0.9642	0.122	2.6
Cerdo de engorde	90	7.7	0.283	0.041	0.79
Cerdo de gestación	125	7.7	0.226	0.028	0.64
Gallina ponedora	1.80	0.095	0.0006	0.0013	0.016
Pollo de corte	0.91	0.063	0.0004	0.0010	0.01

FUENTE: Manual de Biogas, OLADE, Guatemala, 1981.

* **NOTA:** Se emplea una eficiencia electromecánica de 20%.

dad de digestión, un depósito de gas, una válvula de humedad, un tubo de salida del gas a utilizar y otro de los sólidos digeridos; en la Fig. 1.1 se puede apreciar un sistema en pequeña escala para cocción e iluminación. Para sistemas mayores y para otros usos, se puede adicionar una unidad de almacenamiento de desperdicios y unidades de remoción de sulfuro de hidrógeno y bióxido de carbono, así como una unidad de gas comprimido.

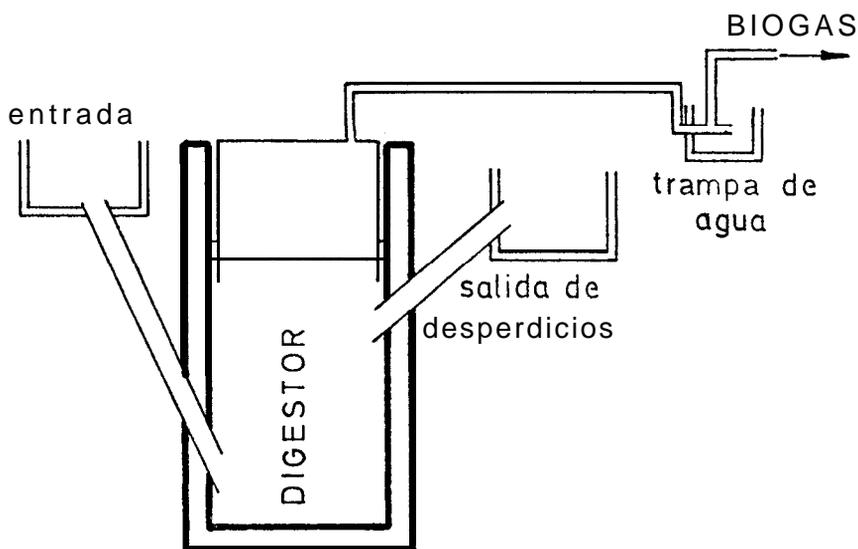


Fig. 1.1.- Unidad Generadora de Biogas

Los componentes en su mayoría, son de diversos tipos de materiales. Puede emplearse: ladrillos, cemento, concreto, tubos de hierro y tubería de PVC. El depósito

de gas consiste en un tambor construido con planchas de hierro.

La Fig. 1.2 representa un esquema global de lo que se persigue en el presente proyecto, que se puede resumir como: La adaptación de motores al uso de biogas y la determinación de su eficiencia de operación.

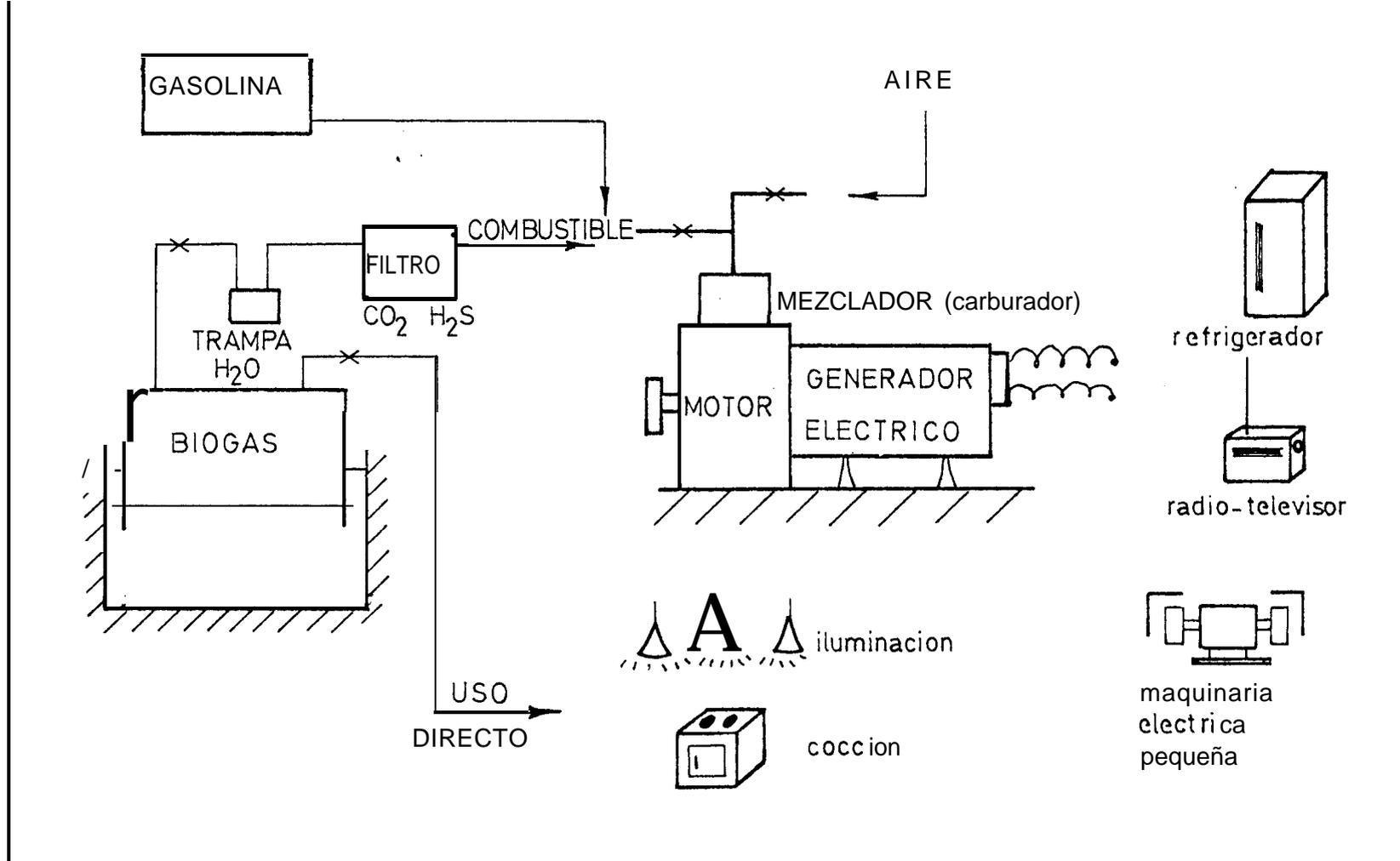


Fig. 1.2.- Esquema de uso de Biogas en la Generación de electricidad a través de motores-generadores.

CAPITULO II

CARBURACION

La carburación tiene por objeto preparar la mezcla de aire con gasolina pulverizada, en proporción tal, que su inflamación por una chispa dé como resultado una combustión rápida y eficiente.

2.1 FUNCIONAMIENTO DEL CARBURADOR

El funcionamiento del carburador en su forma más elemental, se basa, en que toda corriente de aire que pasa alrededor de un tubo perpendicular a la corriente genera áreas de presión negativa, un orificio ubicado en esta área induce por tanto un efecto de succión.

En los carburadores, la corriente de aire es producida por la aspiración de los cilindros, que se ejerce en la tubería de admisión T, Fig. 2.1, a la cual asoma un tubito llamado surtidor, por donde llega la gasolina.

Para que la succión \emptyset vacío, provocado por la aspira -

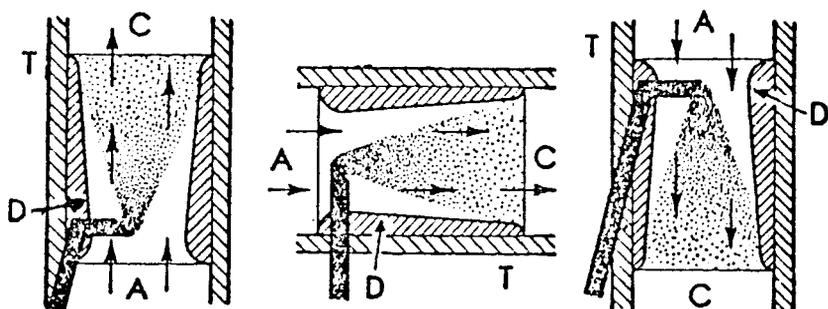


Fig. 2.1.- El Difusor D, en carburadores
 1, vertical ascendente;
 2, horizontal;
 3, descendente

ración de los cilindros, sea mayor en la boca del surtidor, se coloca el difusor o venturi D, que al estrechar el paso, aumenta la velocidad del aire y hace que sorba más enérgicamente el líquido del surtidor y lo pulverice más eficazmente. Si la gasolina llegase directamente al surtidor, saldría por éste un chorro constante cuya fuerza dependerla de la altura del combustible en el depósito y que se derramaría en pura pérdida al parar el motor, obligando al manejo de llaves de paso.

Para solucionar este inconveniente, se agrega un pequeño depósito intermediario o cuba, que forma parte integrante del carburador, y en el que se mantiene

por medio de un flotador, un nivel constante, ligeramente por debajo de la boca del surtidor, para que no haya derramante en las paradas, y que es suficiente para que la fuerza del vacío, pueda arrastrar el combustible.

El carburador quedaría constituido como indica la Fig. 2.2.

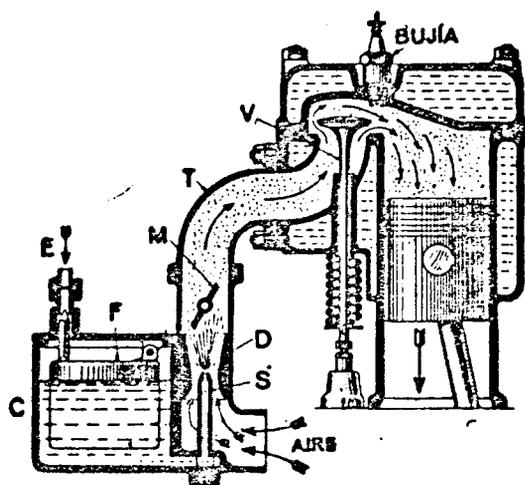


Fig. 2.2.- Elementos Principales de un sistema de carburación.

La gasolina llega por E, desde el depósito a la cuba C; el flotador F, con bisagra, sube, y cuando el nivel es el calculado, empuja la válvula de aguja que cierra la entrada E; a medida que se gasta combustible, el flotador desciende un poco y la aguja permite la en-

trada de más gasolina, pero sin que el nivel suba del fijado, permaneciendo sensiblemente constante.

De la cuba C pasa la gasolina al surtidor S, que tiene su boca uno o dos milímetros más alta que el nivel de la cuba y situado en el estrechamiento del difusor D. El aire que aspiran los cilindros, al pasar por la boca del surtidor, arrastra y pulveriza la gasolina y la mezcla pasa por la tubería o colector de admisión T ó las válvulas de admisión V, que le dan paso a los cilindros en el momento en que cada uno trabaja en el primer tiempo del ciclo.

Seguidamente veremos los detalles del funcionamiento del carburador.

PUESTA EN MARCHA.- Se mantiene cerrado el estrangulador 1 y abierta la mariposa del acelerador 2. Fig. 2.3. Al hacer girar el motor, con la manivela o el motor de arranque, la succión de los cilindros crea un fuerte vacío en el venturí 3, y la gasolina sale en abundancia por el surtidor principal 4 y el de compensación 5, mientras que la cantidad de aire que entra es escasa.

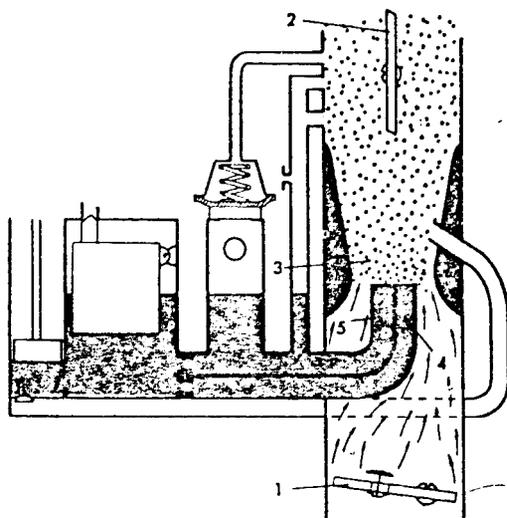


Fig. 2.3.- Operación de Puesta en Marcha

La mezcla que se forma es de gran riqueza.

FUNCIONAMIENTO EN RALENTI.- Se da este nombre al funcionamiento del motor lento y sin carga, se necesita una mezcla pobre y en poca cantidad. Se mantiene cerrada la mariposa del carburador, Fig. 2.4, la cual no impide totalmente el paso del aire, pero obliga a la pequeña cantidad que deja pasar a hacerlo a gran velocidad, creando un vacío en la boca del surtidor de ralentido 6 por la cual sale la gasolina mezclada con aire que entra en el surtidor por el soplador 7 y también por el surtidor suplementario 8; en el venturi 3 no existe suficiente depresión

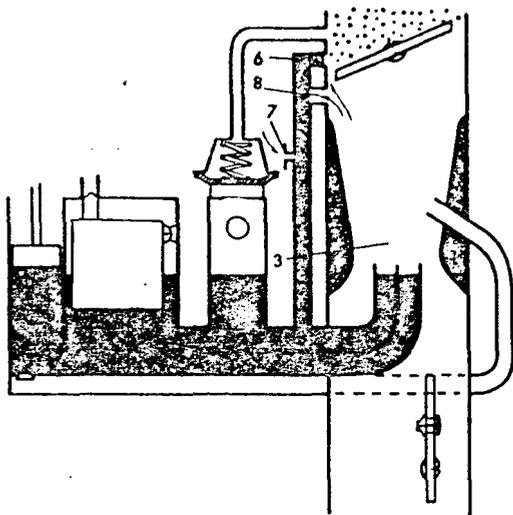


Fig. 2.4.- Funcionamiento en Ralentí

para que la gasolina salga por los surtidores principal y de compensación.

PASO DE FUNCIONAMIENTO EN RALENTI A FUNCIONAMIENTO NORMAL.- La mariposa del acelerador comienza a abrirse.

Fig. 2.5, el vacío en la boca del surtidor de ralentido 6 disminuye y no sale gasolina por él, pero en cambio sale por el suplementario 8 y en mayor cantidad, ya que solo entra aire en el surtidor por el soplador 7. El vacío en el venturi es aún insuficiente para que salga gasolina por los surtidores 4 y 5.

FUNCIONAMIENTO NORMAL.- La mariposa se halla abierta, el vacío, creado en el venturi

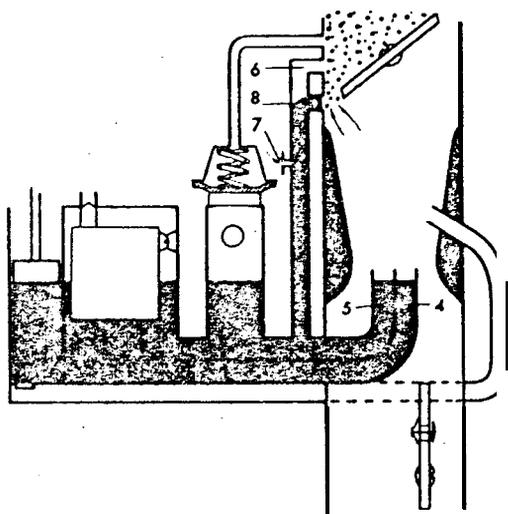


Fig. 2.5.- Paso de Funcionamiento en Ralentí a Funcionamiento Normal.

hace fluir la gasolina por el surtidor principal 4 y el de compensación 5; en este último, mezclada con el aire que entra en el pozo por el agujero 9, la cantidad de gasolina es determinada por los calibres 10 y 11. Fig. 2.6.

TENDENCIA AL AUMENTO DESCONTROLADO DE VELOCIDAD POR FALTA DE CARGA (RESISTENCIA AL GIRO).- En la tubería de admisión aumenta el vacío debido a la velocidad de los gases. Fig. 2.7, ésto provocarla un enriquecimiento de la mezcla por aumentar más que proporcionalmente, la salida de gasolina por los surtidores 4 y 5, pero la depresión o vacío se transmite por el tubo 12 a la cámara 13 y se levanta la membrana 14, permitiendo la

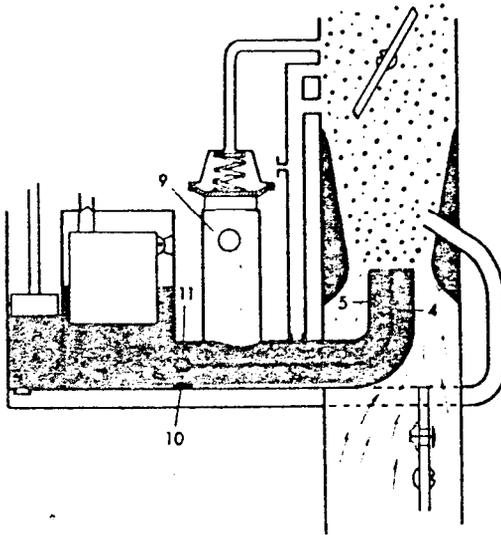


Fig. 2.6.- Funcionamiento Normal

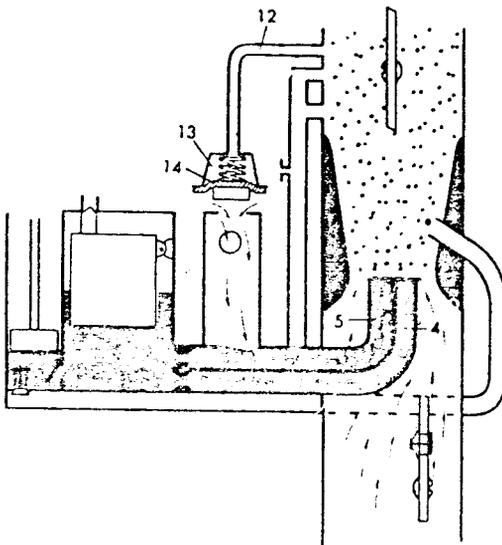


Fig. 2.7.- Tendencia al aumento descontrolado de velocidad por falta de carga.

entrada de mayor cantidad de aire en el pozo y en el surtidor de compensación, con lo cual la mezcla se empobrece.

ACELERACION.- El motor gira lento y ha de pasar a girar más rápido, para lograrlo debe desarrollarse más potencia. Se abre la mariposa del acelerador para aumentar el paso de gases al motor. Fig. 2.8, y al mismo tiempo baja el émbolo 15 de la bomba de aceleración; la presión en el cuerpo de la bomba, obliga a cerrarse a la válvula 16 y a abrirse a la válvula 17, siendo la gasolina impulsada a salir por el surtidor 18, enriqueciéndose así la mezcla.

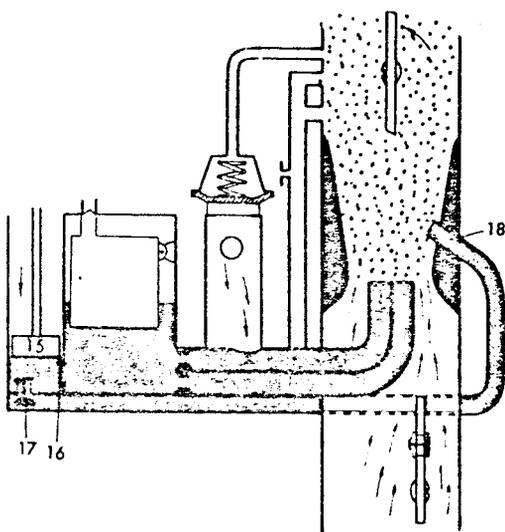


Fig. 2.8.- Aceleración

2.2 CLASIFICACION DE CARBURADORES

La mayoría de los carburadores actuales, además de la cuba de nivel constante, se componen de:

- 1.- Surtidor principal, con su calibre (todos)
- 2.- Surtidor de Ralentí, con su calibre (todos)
- 3.- Compensador, con:
 - Surtidor auxiliar de gasolina
 - Soplador de aire
- 4.- Bomba de aceleración, (todos los modernos)
- 5.- Economizador, por:
 - freno sobre la gasolina
 - aumento de aire.

Por consiguiente, basándose en los mismos fundamentos, resultarán análogos en el funcionamiento, y por tanto, en su resultado; sus diferencias radican más que nada en la disposición interior de los elementos.

A continuación se describirán brevemente los diferentes tipos de carburadores.

CARBURADORES CARTER.- Figs. 2.9 y 2.10. Son muy usados en automóviles americanos. De

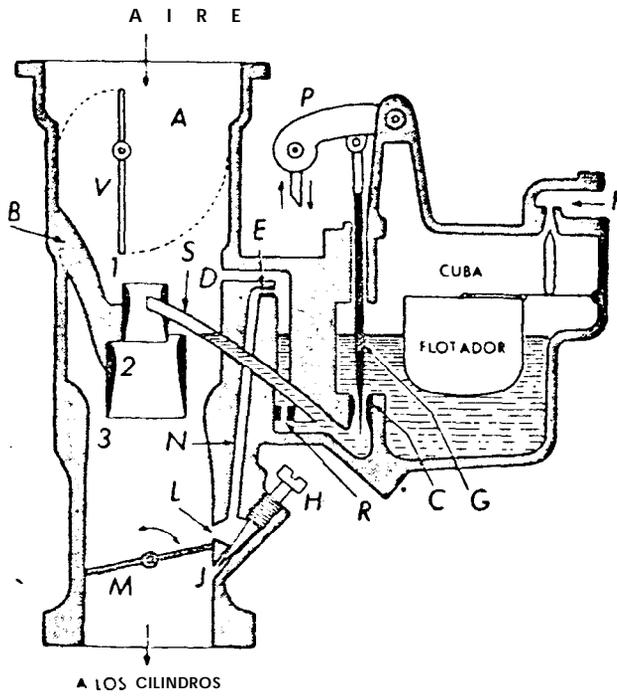


Fig. 2. 9 .- Carburador Cárter

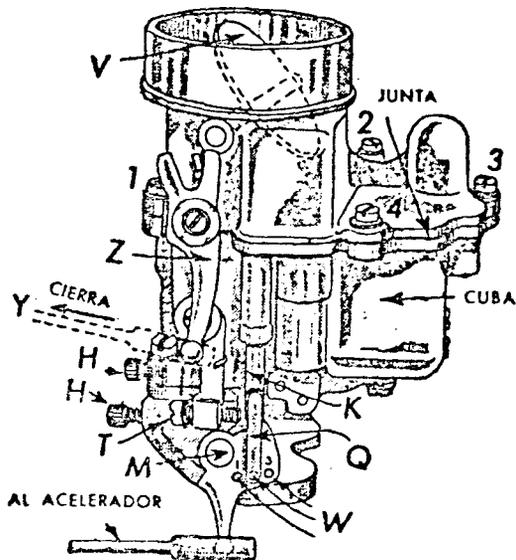


Fig. 2.10.- Reglajes exteriores de un Carburador Cárter.

todos los populares, los Cárter W y los Y son los únicos que, para actuar sobre la cantidad de gasolina que lleva al surtidor S, emplean como economizadora una aguja G que obtura más o menos el calibre principal G.

CARBURADOR HOLLEY.- Fig. 2.11.- Este tipo de carburador se caracteriza, por tener el surtidor normal S y su soplador T en el centro del tubo de aspiración, sostenido por dos brazos huecos (o por uno solo inclinado), que se apoyan en las paredes por encima del difusor.

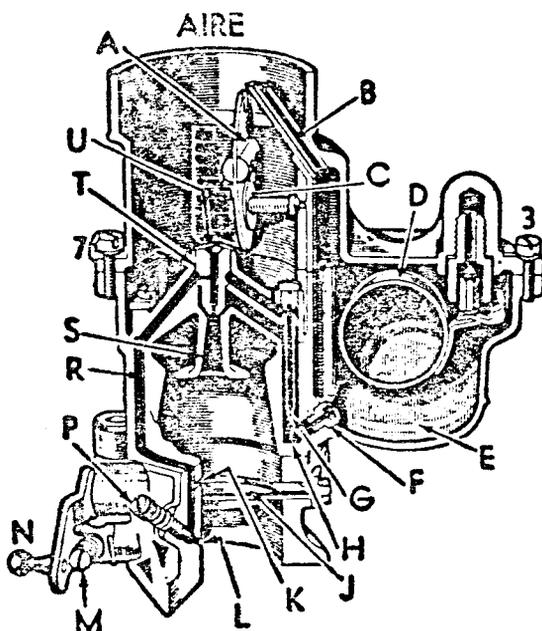


Fig. 2.11.- Carburador Holley

CARBURADOR STROMBERG.- Fig. 2.12.- Este carburador di-

fiere poco de los demás, cada vez con mayores semejanzas entre sí. El calibre principal 12 da paso a la gasolina de la cuba.

Para el ralenti, sube por 11 y su calibre 8, a emulsionarse con el aire que entra por el soplador interno 5, sigue por el conducto vertical a mezclarse con más aire que entra por 14, y sale debajo de la mariposa J, por el orificio que gradúa el tornillo 13.

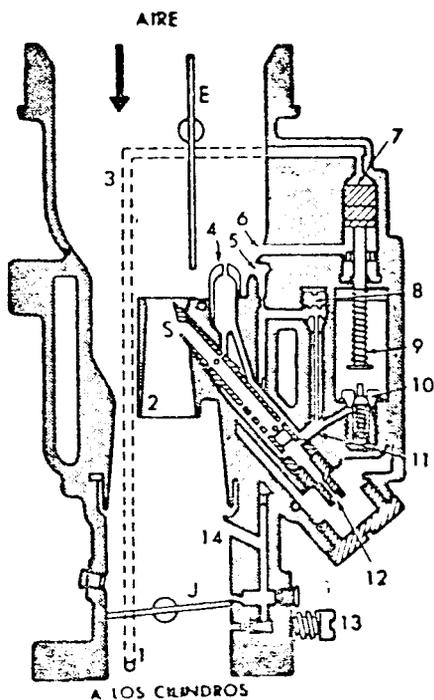


Fig. 2.12.- Carburador Stromberg

CARBURADOR ZENITH.- Los modelos modernos de Zenith son los de tiro descendente, cuyo es -

quema de funcionamiento representa la Fig. 2.13.

El ajuste de la riqueza de las mezclas que proporciona este carburador, es fijo y depende del calibrado, o sea del tamaño de los agujeros para el paso de la gasolina, de sus diversos calibres y del diámetro interior del venturí.

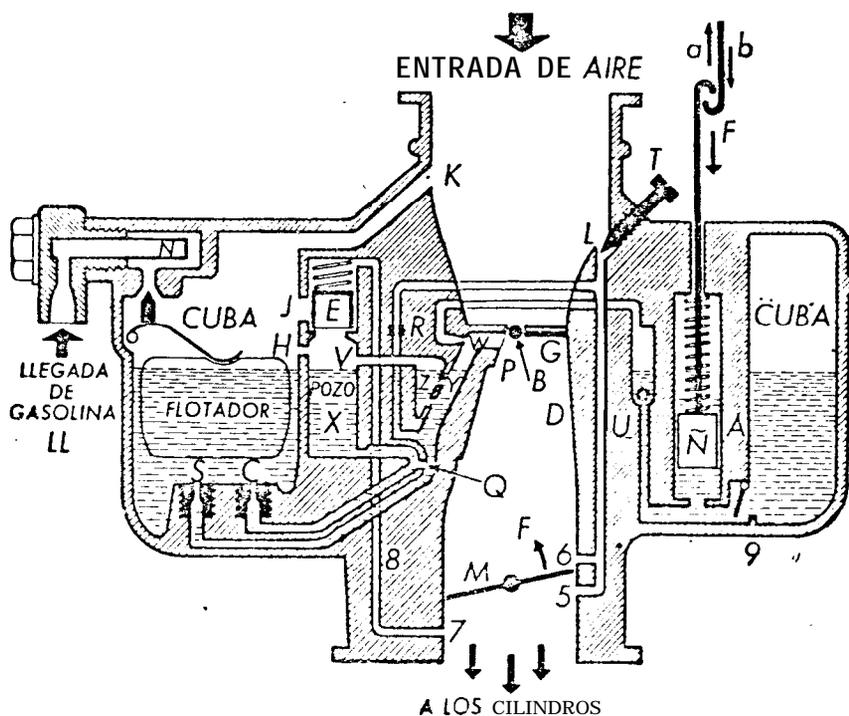


Fig. 2.13.- Esquema del Carburador Zenith

CARBURADOR SOLEX.- En este tipo de carburadores, el modelo que se popularizó, es el des -

cendente, que está representado en la Fig. 2.14.

La gasolina llega de la cuba por el calibre 4 y sigue al pozo 11. De aquí, sale por el conducto 9 del suministro para el calibre 2 de ralenti, carburando el aire que entra por el soplador auxiliar 1, y sigue por 3 y 13 a los orificios clásicos, uno de los cuales es graduado por el tornillo 14, que regula el paso de la mezcla.

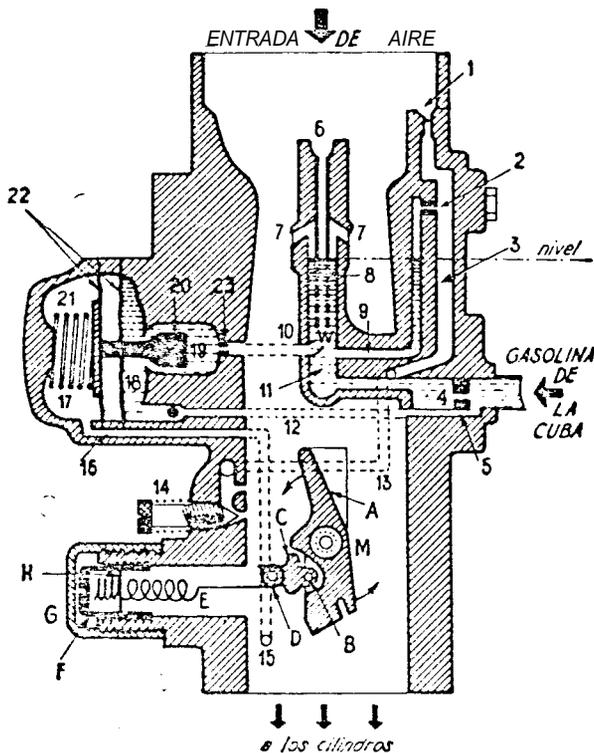


Fig. 2.14.- Carburador Solex descendente

CARBURADOR S.U.- El funcionamiento de este carburador

está basado en diferente principio que los demás expuestos. Se ha dicho al explicar el fundamento de todos los carburadores, que si se emplea un surtidor o calibre único, la mezcla se enriquecería en exceso a velocidades grandes del motor, dada la más fuerte aspiración que se produce; y que para velocidades bajas, como la succión es pequeña, la mezcla se haría demasiado pobre.

En todos los carburadores se consigue el equilibrio de la proporción aire/gasolina mediante la acción del pozo; pero en el S.U. se utiliza la misma variación del grado de vacío, producida por la mayor o menor velocidad del motor, para graduar la cantidad de gasolina que sale por un único surtidor. En la Fig.2.15 se representa el esquema de funcionamiento de este tipo de carburador.

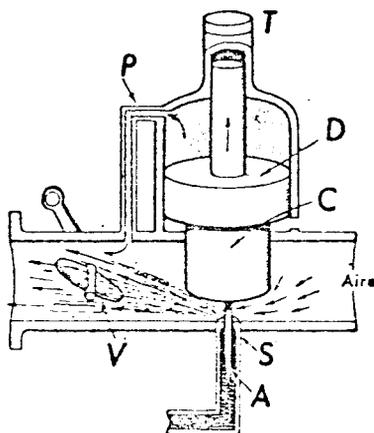


Fig. 2.15.- Esquema del Carburador S.U.

2.3 AJUSTE DE LOS CARBURADORES

En casi todos los carburadores los ajustes o reglajes normales, son el ralentí y el estacional de la bomba de aceleración (si lo hay).

El reglaje de ralentí se hace actuando sobre los dos tornillos clásicos que traen todos los carburadores: el de riqueza de la mezcla H, y el de velocidad de giro T. Ver la Fig. 2.16.

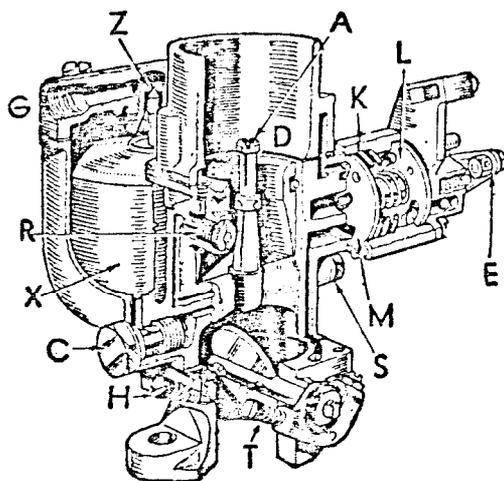


Fig. 2.16.- Esquema del Carburador Solex

En el supuesto de que el motor esté sin defectos de otra clase, y que esté funcionando en caliente, se opera así: primero se afloja el tornillo de riqueza H

hasta que el motor comience a galopar (marcha a impulsos, entre ligeras pausas); luego se afloja O aprieta el de velocidad T para que el motor gire a su marcha de ralenti. Después se cierra H muy poco a poco hasta que el giro se note bien regular; nunca debe apretarse a fondo. Si resultara un ralenti rápido, se vuelve a actuar, empezando por apretar un poco T hasta que el motor galope, ahora más despacio; y otra vez se cierra muy lentamente H para conseguir un giro estable.

El reglaje de la bomba de aceleración consiste en fijar el extremo de su vástago de mando, a una determinada posición de tal forma que, en tiempo caluroso debe ser el que dé menos recorrido al pistón de la bomba; y en tiempo de frío, el de mayor suministro.

CAPITULO III

COMBUSTIBLE

La energía química contenida en el combustible se libera bajo forma de calor, cuando el combustible se quema por causa de la presencia del oxígeno del aire. Por consiguiente, se han de introducir en el motor aire y combustible. En los motores de encendido por chispa, la mezcla de aire y combustible se prepara en el carburador y es luego conducida al cilindro.

La mezcla comprimida en la cámara de combustión se transforma, por efecto de esta última, en vapor de agua (H_2O), bióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno (N_2). El nitrógeno, gas inerte contenido en el aire, no interviene en la combustión. El vapor de agua producido en la combustión se mantiene por encima de la temperatura de saturación y se comporta como un gas permanente. Entre los productos de la combustión se encuentran también porciones de otros gases: monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2), y oxígeno (O_2).

En consecuencia, el fluido.operante está formado inicialmente por el aire y el combustible y, después, por el conjunto de gases producidos durante la combustión. Como es natural y evidente, su composición química varía en el ciclo operativo.

3.1 CARACTERISTICAS DEL BIOGAS

El biogas producido en digestores, es una mezcla de varios gases, entre los cuales predomina el metano (CH_4).

El metano puro es un gas incoloro e inodoro, que generalmente constituye un 60 a 70 por ciento del total del gas producido en el proceso anaeróbico. Los otros componentes más importantes son el bióxido de carbono (CO_2), aproximadamente 30 por ciento, y concentraciones menores de otros gases, tales como sulfuro de hidrógeno e hidrógeno. El biogas, se quema con una llama azul y posee un alto poder calorífico de, aproximadamente 4650 a 6000 Kcal/m³; cuando el contenido de CH_4 está alrededor de 60 a 70%.

La Tabla 3.1 presenta los diversos componentes del biogas y sus proporciones estimadas.

TABLA 3.1
COMPOSICION GENERAL DEL BIOGAS

COMPONENTE		RANGO	VALOR TIPICO
Metano	CH ₄	54 - 70 %	60 %
Bióxido de Carbono	CO ₂	27 - 45 %	30 %
Nitrógeno	N ₂	0.5 - 3 %	---
Hidrógeno	H ₂	1 - 10 %	---
Monóxido de Carbono	co	0.1 - %	---
Oxígeno	O ₂	0.1 - %	---
Sulfuro de Hidrógeno	H ₂ S	TRAZAS	---

FUENTE: Methane Digesters for Fuel Gas and Fertilizer. L. John Fry. 1973.

Al estar el biogas constituido principalmente por metano, que es muy buen combustible, tiene lógicamente muchas aplicaciones, puede usarse directamente en procesos tales como: iluminación, calefacción, cocción, refrigeración, etc.

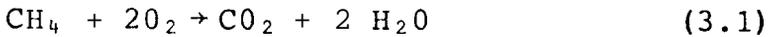
En el presente trabajo se lo utiliza como combustible, para motores de combustión interna, sin embargo para emplearlo en motores, se necesita ciertos requisitos:

- a) Reducir el sulfuro de hidrógeno, contenido en el gas, a menos del 0.25%, para prevenir la corrosión en las superficies metálicas.
- b) Contar con un sistema para extraer el Bióxido de Carbono, a los efectos de incrementar el poder calorífico del gas resultante.

2 COMBUSTION DEL BIOGAS

Siendo el biogas en su mayor parte metano, analizaremos la combustión de éste.

La ecuación completa para la combustión del metano es:



Esto quiere decir que si hay 1 metro cúbico de metano más dos metros cúbicos de oxígeno, generarán al quemarse, un metro cúbico de gas carbónico más dos metros cúbicos de vapor de agua.

El aire contiene 21% de oxígeno por volumen, entonces, la mínima cantidad de aire necesaria para la combustión completa del metano es de:

$$\frac{2 \times 100}{21} = 9.5 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ de metano}$$

Dado que el biogas, normalmente contiene 60% de metano, la mínima cantidad de aire, necesaria para la combustión completa de éste será:

$$9.5 \times 0.6 = 5.7 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ de biogas}$$

Admitiendo un exceso de aire de 40%, tendremos que:

$$\text{aire requerido} = 5.7 \times (1 + 0.4)$$

$$\text{aproximadamente} = 8 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ de biogas}$$

En la práctica se usa una mezcla de aire/combustible

en la proporción de 1:9 a 1:10, en volumen.

3.3 EVALUACION COMPARATIVA DE LAS PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES LIQUIDOS CON EL BIOGAS, EN APLICACIONES A MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.

Anteriormente hablamos analizado las propiedades del biogas, sus características, así como su combustión. Seguidamente analizaremos la gasolina como combustible sus propiedades y combustión, y luego haremos las comparaciones respectivas.

LA GASOLINA.- Es un producto obtenido de la destilación fraccionada del petróleo bruto, separando los productos de la destilación comprendidos entre 70° y 120° C. La gasolina, físicamente considerada, es un líquido incoloro, movable y ligero, de olor característico, de densidad a 15°C comprendida entre 0.66 y 0.70 gr/cm³.

El calor de volatización de una gasolina, es el número de calorías que se necesitan para transformar un Kilo de la misma en vapor, a la misma temperatura. Esta misma cantidad de calor es puesta en libertad cuando el vapor es condensado.

El calor de vaporización depende de la calidad de gasolina y en término medio es de 122 Kcalorías/Kg. La densidad del vapor de gasolina es de unas 3.25 veces la del aire y se determina pesando un volumen determinado de vapor seco de gasolina, relacionándolo al peso del mismo volumen de aire seco, a igual presión y temperatura.

Químicamente considerada, la gasolina está formada, como hemos dicho por una mezcla heterogénea de hidrocarburos, predominando los de la serie acíclica, siendo los principales, el Pentano, Exano y Heptano. Todos los cálculos de reacciones de combustión se fundamentan tomando como carburo tipo de ella, al heptano.

Partiendo del hidrocarburo tipo, C_7H_{16} , HEPTANO, cuya composición es de 84% de carbono y 16% de hidrógeno, vamos a determinar la cantidad real de aire, que es necesario para quemar un peso dado de gasolina.

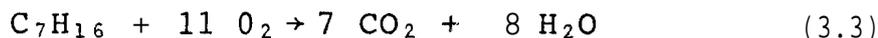
La composición en peso de un hidrocarburo, dado de la forma C_xH_y puede encontrarse de la siguiente manera aproximada:

$$\frac{y}{x} = \frac{(\% C)/12}{\%H/1} \quad (3.2)$$

donde (%C) y (%H) son los porcentajes de Carbono e Hidrógeno respectivamente. Los valores de y i x dependen así mismo del peso específico del combustible dado.

El Heptano tiene una composición sensiblemente igual a la del Pentano (83.2% de C y 16.71% de H) y al Exano, con 83.68% de C y 16.32% de H, pero es de mayor densidad que éstos (0.718 contra 0.64 y 0.67 respectivamente).

La reacción química que tiene lugar en la combustión del Heptano es la siguiente:



Teniendo en cuenta los pesos atómicos (H = 1) y (C = 12), el Heptano contendrá:

$$\begin{aligned} 7 \times 12 &= 84 \text{ gr. de Carbono y} \\ 16 \times 1 &= 16 \text{ gr. de Hidrógeno} \end{aligned}$$

Cuyos componentes, para su combustión completa, necesitan, ($O_2 = 32$)

11 x 32 = 352 gr. de Oxígeno

Ya que el aire, contiene el 23% de Oxígeno en peso, los 352 gr. estarán contenidos en un peso de aire cie:

$$\frac{352 \times 100}{23} = 1530 \text{ gr.}$$

que es la cantidad de aire necesaria para la combustión de:

84 + 16 = 100 gr. de Heptano

0 sea, que 1 gramo de gasolina necesita, para su completa combustión, 15.30 gr. de aire (cantidad teórica). En la práctica, la cantidad real de aire necesario, es de 1.3 veces la teórica, en previsión a una perfecta homogeneidad de la mezcla; por tanto un gr. de gasolina necesitar%:

15.3 x 1.3 = 20 gr. de aire

cuyo peso ocupa un volumen de:

$$\frac{20 \text{ gr.}}{1300 \text{ gr/cm}^3} = \frac{20 \text{ gr.} \times 1000 \text{ lt}}{1300 \text{ gr/cm}^3 \times \text{cm}^3} = 15.3 \text{ lt.}$$

Para conseguir un rendimiento máximo en la combustión de la gasolina, es preciso que ésta y el aire, estén por tanto en la proporción de 1 a 20, en peso.

Pasaremos ahora a describir las ventajas del biogas como combustible para motores de combustión interna. Sabemos que el rendimiento interno, depende de las propiedades del combustible utilizado.

El biogas se considera un buen combustible para el uso de motores de este tipo. El CO_2 contenido en el biogas evita que en los motores ocurran sacudidas por detonación anticipada.

En comparación con los motores que utilizan combustibles líquidos, el biogas presenta ciertas ventajas, tales como:

- Los motores operan sin detonación previa.
- La mezcla de combustible/aire, es más homogénea, debido a que ambos son gaseosos.
- Hay ausencia de depósitos de carbono en las culatas, debido a una combustión más completa.
- Hay menos necesidad de mantenimiento.
- La vida del motor aumenta.

- Hay menos cantidad de monóxido de carbono en los gases de escape.
- Existe una mejor posibilidad de mantener la rotación de marcha lenta, debido a la quema más uniforme de la mezcla biogas/aire, en el cilindro.

Las desventajas en cuanto al uso del biogas serán expuestas en capítulos posteriores, a medida que éstas se vayan presentando.

C A P I T U L O

ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION DEL BIOGAS

La producción del biogas se lleva a efecto bajo condiciones estables de temperatura y presión, que son las que se dan dentro del digestor. El biogas producido se almacena típicamente en una campana, encontrándose ésta propiamente sobre el digestor o aparte de éste, dependiendo la ubicación de la campana del costo de inversión de la obra y de la funcionabilidad del digestor. Una vez almacenado el gas, se lo puede conducir hacia los lugares donde se lo necesite, por medio de tuberías de distribución.

4.1 DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Para el almacenamiento del biogas se utiliza, gasógenos de campana, con sello de agua.

Para las pruebas en motores se ha empleado un reservorio de este tipo, que consiste en dos cilindros abiertos cada uno por un lado y colocados concéntricamente por sus lados abiertos, como indica la Fig. 4.1.

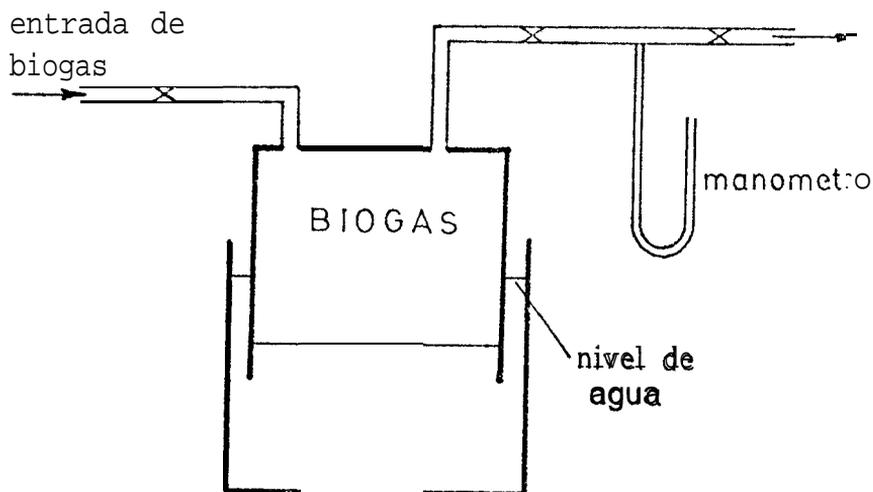


Fig. 4.1.- Gasómetro de Campana

La idea de utilizar una campana con sello de agua para las pruebas en motores, se debe principalmente a que en el Area Rural se dispone de un gasómetro de campana y el gas se lo emplea directamente de éste.

Las ventajas que presenta este sistema de almacenamiento es de que se puede retener el biogas a bajas presiones, esta presión depende del peso de la campana que incide directamente sobre el grado de compresibilidad del gas.

La campana con sello de agua que se utilizó para las pruebas experimentales en motores da normalmente una

presión de 6 cm. de columna de agua. Lógicamente esta presión puede ser alterada, por Ej.: alivianando el peso de la campana por medio de contrapesos para que la presión disminuya, o colocando "peso" sobre ésta para que la presión aumente, dependiendo del dispositivo en el que va a utilizarse el bioqas.

Otra ventaja del reservorio, es de que no presenta mayor peligro ya que cualquier fuga puede ser detectada fácilmente, por el burbujeo que se produce en el agua, indicio de que hay escape de gas.

Habíamos dicho anteriormente que la campana con sello de agua, para nuestra aplicación de motores, nos sirve como un reservorio intermedio, con respecto al gasógeno propiamente dicho. Ya que aquí podemos realizar ligeras variantes, como es el caso del dispositivo para alterar la presión, éste consiste en un sistema de poleas con las que se puede obtener la presión necesaria de operación en la Fig. 4.2, se indica más claramente la configuración de este sistema de poleas.

Otros medios utilizados para almacenar el bioqas son:

TUBOS DE LLANTA.- Se requiere que sean lo más grande

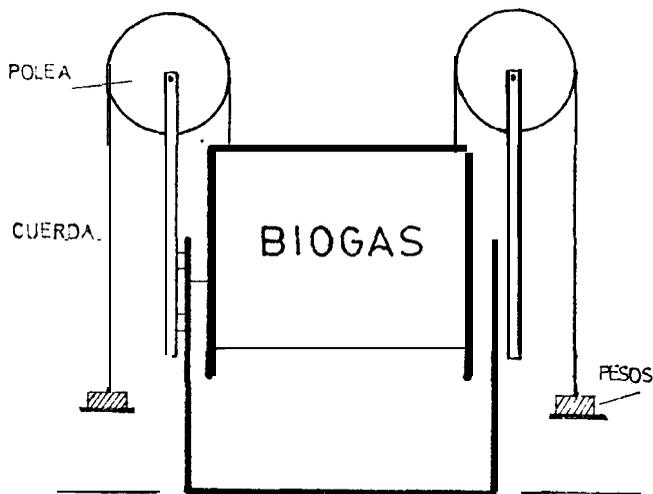


Fig. 4.2.- Campana con sistema de Poleas

posible, se los puede llenar directamente donde se produce el biogas, son muy útiles cuando se quiere transportar gas en pequeñas cantidades, por Ej.: para realizar análisis de laboratorio.

La presión a la que se almacena es aproximadamente igual a la del digester. El único inconveniente es que no se puede almacenar en grandes cantidades.

CILINDRO DE GAS COMPRIMIDO.- Si se desea transportar gas en mayores cantidades, se lo puede comprimir en cilindros. Pero aquí hay que tomar precauciones, ya que se tiene que tratar

el biogas, para reducir al mínimo el contenido de H_2S (Acido Sulfúrico). Si no se hace ésto, se está sometiendo el compresor a un daño prematuro, debido al efecto corrosivo del (H_2S).

El biogas utilizado para las pruebas en motores se lo transportó en cilindros a presión. Se utilizaron dos cilindros con un volumen de aproximadamente 2400 lt. en total, un cilindro estaba acoplado directamente a la toma del compresor y al mismo tiempo los dos se encontraban unidos por una manguera flexible de presión, pero con válvulas, de tal forma que se los podía independizar según la necesidad. La presión a la que se transportó fue de 130 PSI, el lugar de procedencia del biogas es Guasuntos, Cantón Alausí, Provincia del Chimborazo.

La seguridad de los tanques consistió en válvulas de alivio calibradas a 160 PSI, los tanques se los probó previamente con aire comprimido, existiendo una disminución de presión de 0.5 PSI por cada 24 horas, en realidad ésta no se consideró como fuga.

Ya estando en el lugar donde se comprimió biogas y como se tenía que comprimir poco a poco, debido a que se

debía de traer la producción de 2.5 días, sucedió que de un día para otro la presión se redujo a 8 PSI, y si la presión del reservorio aumentaba, la cantidad de biogas que escapaba era mayor, constatando un día que la presión llegó a bajar hasta 24 PSI/día, se detectó la fuga por las válvulas de alivio, y se evidenció que el cierre de éstas no era hermético. Entonces, de las 3 válvulas que había, se colocó una sola, la cual tenía otro tipo de cierre, y se lo calibró a 180 PSI. En conclusión se podría decir, que el transporte de biogas a presión debe hacerse solo si el fin se justifica.

3.2 DISEÑO DE TUBERIAS PARA DISTRIBUCION DE BIOGAS

La conducción del biogas desde el digestor hasta el lugar de su utilización se lo hace normalmente por medio de tuberías, ya sean éstas de plástico rígido o flexible.

En la instalación de una tubería para biogas, se recomienda como mínimo, un declive de un metro en cada cien metros de distancia, con el objeto de que pueda ser eliminada el agua presente en el biogas formada, al condensarse en la tubería.

Se deberá observar mucho cuidado en la instalación de las tuberías, debiendo el declive ser continuo para que no se formen bolsas de agua condensada que pueden impedir el paso del biogas.

Siendo conocido de antemano la producción de biogas en el digester en m^3/Hr y en función de otros parámetros, podemos encontrar el diámetro de la tuberla a utilizar, aplicando la fórmula de Colombo:

$$Q^2 = (0.5)^2 \frac{(H_1^2 - H_2^2) d^5}{S \times H_2 \times L} \quad (4.1)$$

De donde:

$$d^5 = \frac{Q^2 \times S \times H_2 \times L}{(0.5)^2 (H_1^2 - H_2^2)}$$

En la que:

Q = vaciado en m^3/Hr

H_1 = presión inicial en mm de H_2O

H_2 = presión final en mm de H_2O

L = longitud de la tuberla en m

d = diámetro interno del tubo en m

S = peso específico del biogas en Kg/m^3

4.3 SELECCION DE DISPOSITIVOS DE CONTROL PARA EL BIOGAS

Los dispositivos de control que se emplean en una instalación de biogas consisten básicamente en: manómetros, trampas de agua y válvulas de paso, éstas pueden ser de plástico o de hierro. También caben en esta clasificación las válvulas mezcladoras, de biogas y aire, que son utilizadas para adaptar un motor, al uso de biogas.

BOSQUEJO Y DIMENSIONAMIENTO APROXIMADO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE BIOGAS PARA GENERAR ENERGIA ELECTRICA.- Si se considera que se tiene un generador de 2 Kw y se calcula que trabajará durante 4 horas diarias, tendríamos que la energía producida será de 8 Kwhr. Viendo de otra manera podemos plantear el problema. diciendo que el consumo diario corresponde a 8 Kwhr. En base a este dato buscaremos la cantidad necesaria de biogas.

Como disponemos de un electrogenerador, necesitamos la eficiencia del sistema y ésta deberemos asumirla.

El siguiente desarrollo nos llevará a encontrar el volumen requerido de biogas.

$$\eta_t (\text{motor}) = \frac{\text{Potencia desarrollada en el eje}}{\text{Energía del Combustible}} \quad (4.2)$$

De donde:

$$\text{Potencia desarrollada en el eje} = \eta_t (\text{motor}) \times \frac{\text{Energía del Combustible}}{\text{Potencia desarrollada en el eje}} \quad (4.3)$$

$$\eta_{\text{generador}} = \frac{\text{Energía eléctrica de salida}}{\text{Potencia de entrada (P eje)}} \quad (4.4)$$

De donde:

$$\text{Potencia de entrada (P eje)} = \frac{\text{Energía eléctrica de salida}}{\eta_{\text{generador}}} \quad (4.5)$$

Igualando (4.3) y (4.5) se obtiene que:

$$\text{Energía del Combustible} = \frac{\text{Energía Eléctrica de Salida}}{\eta_t(\text{motor}) \times \eta_{\text{generador}}} \quad (4.6)$$

La energía eléctrica de salida, sabemos que es igual a 8Kwhr/día.

η_t (motor), aproximadamente 20%

$\eta_{\text{generador}}$, aproximadamente 75%

Reemplazando datos en (4.6)

$$\text{Energía del Combustible} = \frac{8 \text{ Kwhr/día}}{0.20 \times 0.75} = 53.33 \text{ Kwhr/día}$$

La equivalencia de 1 Kwhr es:

$$1 \text{ Kwhr} = 860 \text{ Kcal}$$

Por lo tanto:

$$\text{Energía del Combustible} = 53.33 \frac{\text{Kwhr}}{\text{día}} \times \frac{860 \text{ Kcal}}{\text{Kwhr}}$$

$$= 45863.8 \text{ Kcal/día}$$

El poder calorífico del biogas es 4650 Kcal/m³ (poder calorífico inferior).

Tendremos finalmente:

$$\text{Volumen de Biogas necesario} = 45863.8 \frac{\text{Kcal}}{\text{día}} \frac{1}{4650 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3}}$$

$$= 9.86 \text{ m}^3/\text{día}$$

De la Tabla B.3 (Apéndice B), vemos que para producir 10 m³/día, de biogas, se necesitan 18 cabezas de ganado.

En la Tabla 4.1 se establece, en base al análisis an-

terior el volumen requerido de biogas, teniendo inicialmente la potencia nominal del generador.

TABLA 4.1

BIOGAS REQUERIDO PARA LA PRODUCCION
DE ENERGIA ELECTRICA

POTENCIA NOMINAL DEL GENERADOR (Kw)	TIEMPO DE FUNCIONA- MIENTO (hr/día)	VOLUMEN DE BIOGAS REQUERIDO (m ³ /día)	CABEZAS DE GANADO, NECESARIAS (Nº)
1	4	5	9
	8	10	18
2	4	10	18
	8	20	36
5	4	25	45
	8	50	90
10	4	50	90
	8	100	180

C A P I T U L O V

E F E C T O S D E L A C O R R O S I O N .

La corrosión es el deterioro de los metales, iniciada en su superficie. Si el metal está sometido simultáneamente a esfuerzos mecánicos, pueden actuar conjuntamente el ataque químico y la sollicitación mecánica, produciéndose una corrosión especialmente peligrosa. La extraordinaria importancia práctica de la corrosión, no reside sólo en la pérdida de una cantidad considerable de metales. Es frecuente que con pérdidas relativamente pequeñas de metal se produzcan daños cuantiosos.

A pesar de la multiplicidad de los fenómenos de corrosión, la causa es siempre la misma. El metal que se corroe tiende a formar una combinación química. Sabemos que los metales sensibles a la corrosión, como el hierro y el aluminio, se encuentran en la Naturaleza en forma de combinaciones y sólo por el esfuerzo del hombre pasan al estado metálico. Cuanto mayor es el trabajo necesario para lograr esta transformación, tanto mayor es la tenden-

cia del metal a volver a su estado originario y natural.

Este proceso de vuelta al origen es lo que llamamos corrosión.

5.1 ESTUDIO DEL EFECTO DE LA CORROSION EN MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

La corrosión en los motores de combustión interna, comprende: la que se produce en culatas y camisas de cilindros, y en cilindros y piezas mecánicas durante la parada de los motores.

CORROSION EN CILINDROS Y PIEZAS DEL MOTOR DURANTE LAS PARADAS.- La corrosión originada durante la parada de los motores tiene su causa en la formación de agua condensada, que por depositarse en lugares en su mayor parte, muy difícilmente accesibles, es casi imposible eliminar. En el interior de los cilindros se forma: En el sistema de enfriamiento del motor y en las piezas de éste, por variaciones de temperatura, incluso a causa de los cambios de tiempo.

CORROSION EN CULATAS Y CAMISAS DE CILINDROS.- Las corrosiones más intensas de esta clase se observan en

culatas y camisas de cilindros refrigerados con agua del mar en los motores diesel de los barcos; pero también son conocidas tales corrosiones en los motores refrigerados con agua dulce, cuando a ésta se le añade aire, para lograr el denominado efecto de impulsión. Este aire ocluido, actúa de modo especialmente agresivo sobre las culatas de los cilindros bañados por el agua.

El motor que se utiliza para las pruebas experimentales de laboratorio en el presente proyecto, es refrigerado por aire, no afectándole por lo tanto, lo concerniente a la corrosión debido al agua de refrigeración.

5.2 DETERMINACION DE LOS ELEMENTOS CORROSIVOS EN EL BIOGAS

La impureza principal en el biogas, que se presenta como sustancia corrosiva es el ácido sulfhídrico (H_2S).

Ciertos gases naturales y de petróleo están exentos de esta inconveniente impureza, pero, aparte de ellos, su presencia es universal en los gases combustibles brutos, en cantidades que varían desde unos $230\text{gr}/100\text{m}^3$

El ácido sulfhídrico (Hidrógeno sulfurado, sulfuro de hidrógeno), de peso molecular 34.08, es un gas incoloro que tiene olor muy desagradable. Está muy difundido en la naturaleza, y en la industria se lo encuentra muchas veces como impureza rechazable. De él se produce abundante cantidad, de Azufre elemental, de ácido sulfúrico y otros productos químicos.

5.3 ELIMINACION DEL AZUFRE CONTENIDO EN EL BIOGAS

Sabemos ya, que el azufre se encuentra en el biogas, en forma de gas sulfhídrico, analizaremos ahora la forma de eliminar este gas.

El proceso del óxido de hierro (ABSORCION POR SOLIDOS), para la eliminación del ácido sulfhídrico, como generalmente se lo conoce, consiste en que, el óxido, que de ordinario está formado por virutas de hierro oxidadas, limonita o subproductos del refinado de la bauxita, se mezcla con virutas de madera. También constituyen un excelente soporte las tusas de maíz, aunque se prefiere la madera.

Las virutas de madera ofrecen un elemento mullido que permite el fácil paso del gas a su través y sirven pa-

ra exponer el óxido a la corriente gaseosa.

Los óxidos varían enormemente en sus propiedades purificadoras, las cuales no dependen del contenido de hierro, sino del estado físico y químico del óxido. El efecto de la humedad juega un importante papel en la reacción.

Los datos descubiertos por Huff y Milbourne, indican que la reacción que ensucia el óxido, se mantiene mejor con una humedad alrededor del 65%.

El óxido ensuciado se revive o activa por la acción del oxígeno del aire en presencia de humedad; el estudio antes mencionado muestra que son mejores las altas humedades.

Justamente lo suficiente, por debajo del punto de saturación, para evitar la precipitación en líquido de dicha humedad. El óxido gastado puede revivirse, simultáneamente con su ensuciamiento, admitiendo una pequeña cantidad de aire con el gas, alrededor de 0.5% más de oxígeno (sobre el volumen total), que el necesario para la reacción.



Sin embargo, la reacción es más compleja que ésta. El proceso revivificador es relativamente lento y, cuando se realiza simultáneamente, debe prevalecer condiciones de humedad favorables.

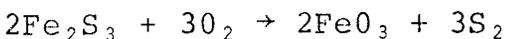
El óxido se revivifica o activa sacándolo del recipiente o bien desviando la corriente de gas del recipiente y haciendo pasar aire a través de ella, pero deben tomarse precauciones para evitar calentamientos excesivos y explosiones.

Un dato que se tiene es de que 0.0325 m^3 de óxido consigue remover 3.7 Kg. de azufre. Habiendo 0.2% aproximadamente de H_2S en el biogas, este volumen de óxido puede eliminar el H_2S de aproximadamente 2500 m^3 de biogas.

Las reacciones que ocurren son las siguientes:



Regeneración del óxido



En el Capítulo III, sección 3.1, expusimos la necesidad de contar con un método para extraer el Bióxido de Carbono (CO_2), con la finalidad de incrementar el poder calorífico del gas resultante, describiremos seguidamente la forma de extraer el CO_2 del biogas.

La purificación de biogas a través de agua, es lo más conveniente cuando la misma está disponible en grandes cantidades y a bajas presiones, este método se conoce como BURBUJEO o LAVADO EN AGUA.

Para eliminar el CO_2 de 0.2m^3 de biogas a una temperatura de 20°C , bajo una presión de 1.03 Kg/cm^2 , son necesarios 91.6 litros de agua (admitiendo que existan 35% de CO_2 en el biogas y la densidad del CO_2 sea de 0.00198 gr/cm^3). Aumentando la presión se necesita menos cantidad de agua.

La adición del gas al agua trae consigo la formación del ácido carbónico, con los consecuentes efectos de disminución del PH.

El H_2S puede ser eliminado también, lavándolo por medio de agua, pero las cantidades son apenas perceptibles. Además del agua, pueden ser usados, NaOH (hi -

dróxido de sodio), KOH (Hidróxido de potasio) y Ca (OH)₂(OH)₂ (hidróxido de calcio), para purificar el biogas, este método se conoce como LAVADO CAUSTICO.

Todas estas sustancias no son regenerables a bajo costo, por lo tanto no son recomendables desde el punto de vista económico.

Existe otro método de purificación de biogas, conocido como SEPARACION POR PRESION. El principio básico consiste en comprimir el biogas, excediendo la presión parcial crítica de los compuestos no deseados, y manteniendo la temperatura, arriba de la temperatura crítica del metano, pero, por debajo de la que poseen las impurezas, por Ej.: el CO₂ puede licuarse cuando la temperatura está por debajo de los 32°C, luego de una compresión en exceso de 77.7 Kg/cm².

Sin embargo, este procedimiento presenta el inconveniente de que al comprimirlo en estado de impureza, el equipo compresor resultara dañado en poco tiempo.

.4 DISEÑO DE FILTROS PURIFICADORES DE BIOGAS

Para la purificación del gas sulfhídrico, del biogas, se sigue el procedimiento que a continuación se deta -

lla.

El óxido se coloca en cajas de acero o de fundición de gran sección transversal, para que el contacto se efectúe con la mínima caída de presión. En dichas cajas se disponen bandejas de madera, y la mezcla de virutas de ésta y del óxido se colocan en dos o tres capas, comúnmente de 46 a 76 cm. de altura.

Se distribuye el óxido sobre al menos tres o cuatro cajas en serie, y disposiciones convenientes de válvulas, posibilitan cambiar el orden en que circula el gas por ellas, para permitir que una quede fuera de servicio, en alguna posición en que no reciba mucho ácido sulfhídrico y de modo que pueda ser revivificado.

Una fórmula que tiene en cuenta varios factores, en el cálculo del área de las cajas, se llama fórmula de Steere.

(Bull 37 Steere. Engineering Co; Detroit, Mich)

Dicha fórmula es:

$$G = \frac{300 \times (D + C) \times A}{S} \quad (5.1)$$

hídrico, por 100 cm³ de gas que entra en los purificadores y sus valores son los mostrados en la Tabla 5.1.

TABLA 5.1

FACTOR S, VALORES

Gramos de H ₂ S por 100 cm de gas sin purificar	Factor S
2300 o más	720
2070	700
1840	675
1610	640
1318	600
1150	560
920	525
690	500
460 o más	480

FUENTE: Enciclopedia de Tecnología Química, Tomo 2, 1961, Kirk-Othmer.

CAPITULO VI

PRUEBAS EXPERIMENTAL& EN MOTORES.

Las principales pruebas experimentales aquí consideradas son aquellas que sirven para determinar los valores: del PAR MOTOR, de la POTENCIA DESARROLLADA, del CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE, etc.

El número y modalidad de las pruebas, así como los instrumentos empleados para efectuarlas, varían, al variar el tipo de motor y las condiciones de su empleo. El banco de pruebas utilizado para los ensayos en motores, es de la casa PLINT & PARTNERS LTD. ENGINEERS, Modelo TE 46. Este banco de pruebas consta de los siguientes elementos:

- Voltímetro
- Amperímetro
- Regulador de campo
- Selector de carga
- Dinamómetro
- Banco de resistencias
- Medidor de consumo de aire

- Medidor de consumo de combustible

El dinamómetro, es lo más relevante en este equipo, ya que en base a las características de éste, se realizó las adaptaciones de los motores.

Las características del dinamómetro son las siguientes:

- Máxima velocidad permitida.....360 0 rev/min
- Máxima potencia mecánica absorbida 4 Kw
- Mínima potencia de salida como motor... 2 Kw
- Mínimo consumo de potencia de salida
como motor 5 Kw
- Fusible: Circuito de carga del dinamó-
metro..... 2 0 A
Aislamiento..... 3 0 A

La Fig. 6.1 representa una vista general del equipo.

6.1 EFECTO DE LA CALIDAD DE LA MEZCLA

La mezcla (aire/combustible) se forma en el carburador, cuya función consiste en dosificar la cantidad de combustible líquido, de manera que la relación de mezcla sea la requerida por las condiciones de funcionamiento

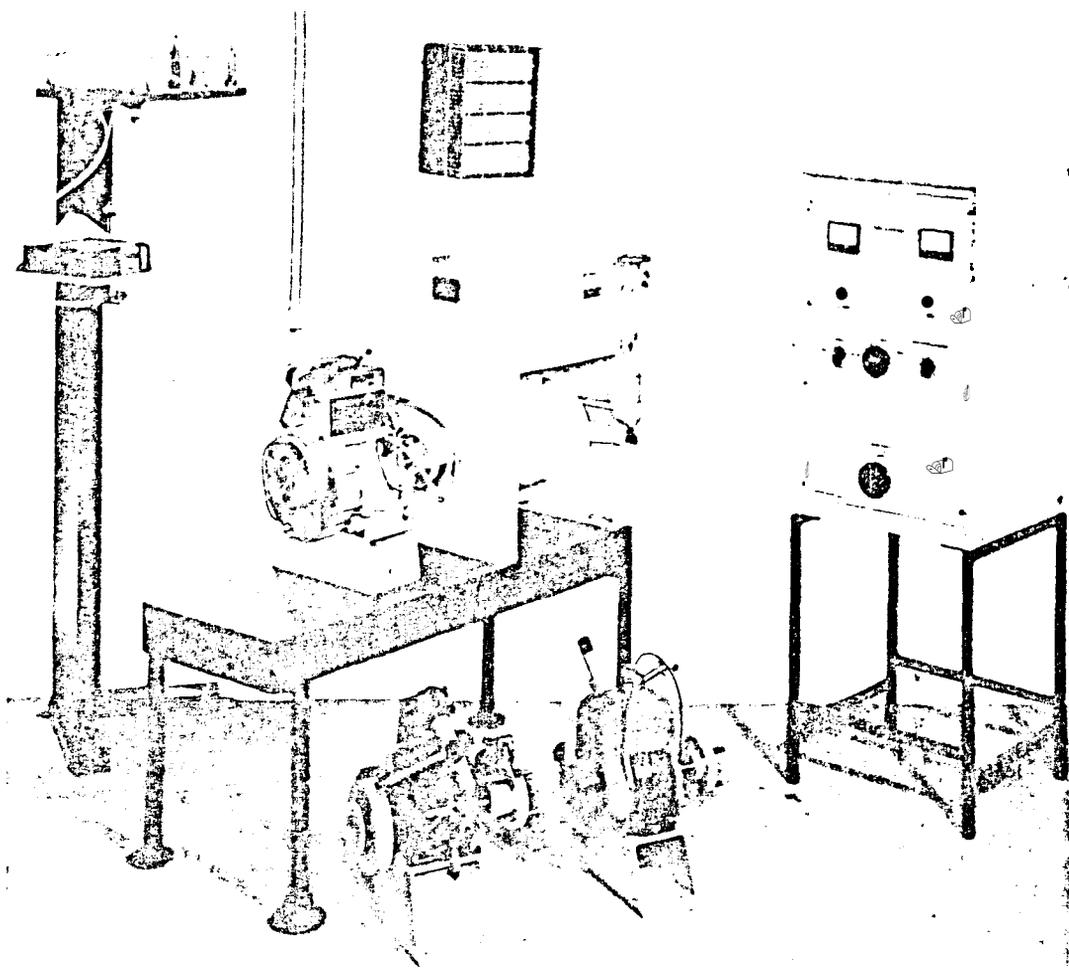


Fig. 6.1.- Banco de Pruebas Plint, para motores de combustión interna. Modelo TE 46.

del motor, así como pulverizarlo y mezclarlo de modo homogéneo con el aire.

La relación aire/combustible requerida por el motor se altera, dentro de cierta medida, al variar el régimen de funcionamiento.

En un motor que funciona con el acelerador completamente abierto y a una carga constante, el valor de la relación de aire/combustible influye, tanto sobre la potencia como sobre el consumo específico de combustible.

El valor de la relación aire/combustible que corresponde al punto de máxima potencia tiene, por lo general, un valor distinto al estequiométrico. Es de advertir que en la curva del consumo específico existe un punto de valor mínimo al que corresponde la relación de mezcla más económica. En la curva descrita en la Fig.6.2 puede observarse que para la máxima potencia debe ser la mezcla más rica que la estequiométrica, mientras que para la máxima economía ha de ser más pobre. Cuando el motor funciona con abertura parcial, las condiciones no son exactamente las mismas, pero sí parangonables.

En general, los motores requieren relaciones de mezcla que sigan en lo posible la forma de la curva representada en la Fig. 6.3. Puede observarse no sólo que hay tres campos de variación de abertura de la mariposa del carburador, sino también que en cada uno de ellos difieren las exigencias del motor, y, por consiguiente, el carburador debe modificar la relación de

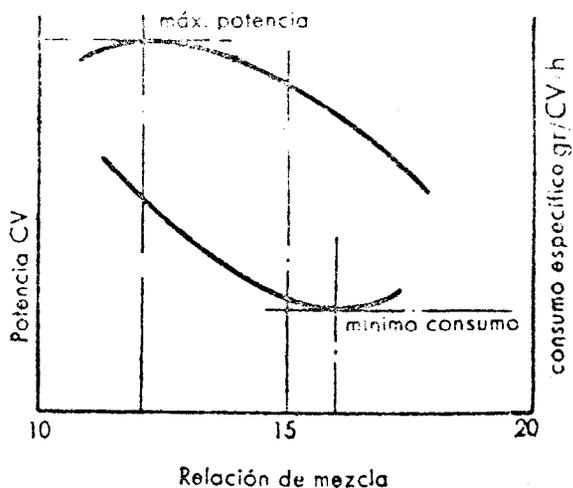


Fig. 6.2.- Efecto de la relación de mezcla sobre la potencia y el consumo específico de combustible.

mezcla de acuerdo con los mismos.

Estos campos son:

- A BAJO Y MINIMO REGIMEN: La mezcla ha de ser enriquecida.
- A VELOCIDAD DE CRUCERO: La mezcla ha de ser empobrecida.
- A REGIMEN DE ALTA POTENCIA: La mezcla ha de ser enriquecida.

Cuando el motor funciona al minimo sin carga, la mariposa está prácticamente cerrada.

La presión en el conducto de aspiración es del orden

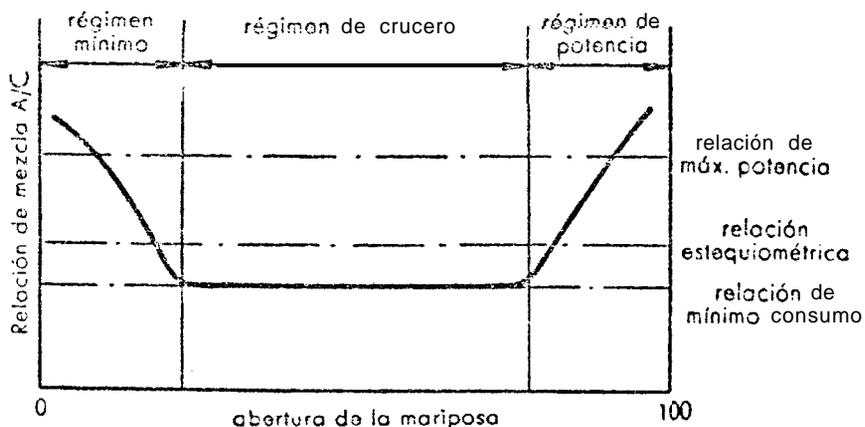


Fig. 6.3.- Relación de mezcla en función de la abertura de la mariposa en regímenes varios.

de 0.3 Kg/cm^2 , y en la cámara de combustión de 1.1 Kg/cm^2 , mientras que para los gases de escape, al final del mismo, la presión es, poco más o menos, igual a la atmosférica. La presión de los gases de escape no es sensiblemente influida por la posición de la mariposa, y la masa de gases de escape en el cilindro al final del mismo permanece casi constante a todos los regímenes. Al mínimo, la carga de gas fresco introducida es muy inferior de la que corresponde al funcionamiento con plena abertura y, por tanto, la proporción de gases de combustión presentes en la carga es mucho más grande.

A medida que se abre la mariposa, las diferencias de

presión disminuyen y se reduce la dilución de la mezcla con los gases de escape por lo cual es menos rica la relación de mezcla necesaria.

En régimen decrucero es fundamental obtener la máxima economía de combustible; por ello, es menester que el carburador sirva la mezcla en la relación más económica. En los regímenes de elevada potencia, los motores necesitan una mezcla más rica. Es lógico que la mezcla se aproxime cuanto sea posible a la relación de máxima potencia, que, por lo común, es algo más rica, pero hay otras razones que obligan a incrementar este enriquecimiento. A altas potencias es necesario disipar mayor cantidad de calor de las superficies más solicitadas térmicamente como son la válvula de escape y las zonas próximas a la misma. Enriqueciendo la mezcla, decrece la temperatura de la llama y, en consecuencia, se reducen los riesgos de dañar la válvula de escape.

Otra finalidad de alcanzar las condiciones de máxima potencia estriba en la conveniencia de reducir la detonación. Enriqueciendo la mezcla más allá de la relación estequiométrica, se consigue un descenso de la temperatura de la llama y, por lo tanto se disminuye

la tendencia a la detonación.

6.2 MEDICIONES DE TORQUE, FLUJO DE AIRE, FLUJO DE COMBUSTIBLE, CON EL ACELERADOR COMPLETAMENTE ABIERTO, VARIANDO LA VELOCIDAD DEL MOTOR

Definiremos primeramente, cada uno de los parámetros arriba indicados.

TORQUE.- Es la fuerza o esfuerzo de torsión, y es medido en términos de fuerza y longitud del brazo de palanca sobre el cual actúa.

POTENCIA.- La ecuación para el cálculo de la potencia es:

K_w es:

$$K_w = \frac{N \times RPM}{36040}$$

donde N es la carga al freno, en Newton.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE.- Indica la cantidad de combustible que el motor consume por unidad de tiempo.

$$CC = \frac{3.6 \times V \times \rho_g}{t} \quad (\text{Kg/hr})$$

Donde:

v : volumen entre 2 divisiones en (cc)

t (seg): tiempo de consumo entre dos divisiones en el reservorio de combustible del banco de pruebas, corresponde a 25 cc.

ρ_g : densidad de la gasolina 0.735 Kg/lt

CONSUMO DE AIRE.- La ecuación para medir el consumo de aire es:

$$CA = 0.00001232 \times D^2 \sqrt{\frac{h_o \times Pa}{T_a}} \text{ (Kg/seg)}$$

Donde:

D = diámetro del orificio de entrada de aire = 18mm.

h_o = cabezal a través del orificio (cm H₂O)

P_a = presión atmosférica (Kn/m²)

T_a = temperatura ambiente (°K)

RELACION AIRE COMBUSTIBLE.-

$$\text{Relación aire combustible} = \frac{\text{Flujo de Aire (Kg/hr)}}{\text{Flujo de combustible (Kg/hr)}}$$

CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE.- Indica la cantidad de combustible que

el motor consumo para la potencia que produce.

$$cec = \frac{\text{Flujo de Combustible (Kg/hr)}}{KW}$$

EFICIENCIA TERMICA.- Es la relación entre la potencia desarrollada por el motor y la producida por el combustible consumido.

$$\eta_t = \frac{3.6 \times 10^6}{cec \times Hl} \times 100 (\%)$$

Siendo:

Hl: poder calorífico del combustible (J/Kg)

Hl: gasolina = 41.86×10^6 J/Kg

Hl: biogas = 28.97×10^6 J/Kg

Hl: gas de botella = 45.84×10^6 J/Kg

Seguidamente se describe el procedimiento a seguir para realizar esta experiencia en el banco de pruebas. Luego se dá un ejemplo de cómo se encontraron los valores, de los parámetros buscados, en función de datos referenciales. Todo esto utilizando gasolina como combustible, ya que necesitamos encontrar las curvas características del motor, y que posteriormente servirán como referencia, cuando utilicemos biogas.

PROCEDIMIENTO.-

- Se arranca el motor y se deja que la máquina se caliente durante unos minutos.

- Utilizando el acelerador, se incrementa la velocidad a 3600 RPM, luego se aumenta la carga y se lleva al motor a 3600 RPM nuevamente; se repite este proceso hasta que el acelerador esté completamente abierto y la máquina funcione a 3600 RPM.

- Cuando se estabiliza el comportamiento del motor, se toman las lecturas; se disminuye gradualmente la velocidad aplicando carga, se espera que se den condiciones estables y se toma nuevamente la lectura de datos, este procedimiento se repite hasta llegar a una velocidad límite que es 1800 RPM aproximadamente.

CALCULOS Y RESULTADOS.- Con los datos obtenidos se calcula los siguientes parámetros:

Torque, Potencia, Consumo Específico de Combustible, Eficiencia Térmica y Relación Aire Combustible, luego se los grafica vs. velocidad en RPM.

Realizaremos un cálculo, de tal forma que sirva de guía

para los resultados posteriores.

Los datos tomados en el banco de pruebas son:

DATOS

Velocidad	3130 RPM
Carga al freno (N)	24.5 Newton
Tiempo	60.11 seg
Voltaje	223 V
Amperaje	7.15 A
Presión de Vacío (Aire)	25.5 mm H ₂ O

RESULTADOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE.- El consumo de combustible está dado por la relación.

$$\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} = \frac{3.6 \times V \times \rho_g}{t}$$

De donde:

$$\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} = \frac{25 \times 0.735 \times 3.6}{60.11} = 1.10$$

POTENCIA.- La potencia viene dada por la relación

$$Kw = \frac{N \times RPM}{36040}$$

entonces tendremos que:

$$Kw = \frac{24.5 \times 3130}{36040} = 2.12$$

CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE.- Estará dado por:

$$cec = \frac{Kg/hr}{cv} = \frac{1.10}{2.88}$$

$$cec = 0.38$$

$$1 Kw = 1.36 cv$$

POTENCIA ELECTRICA DISIPADA

$$Kw = V \times A/1000$$

$$Kw = \frac{223 \times 7.5}{1000}$$

$$Kw = 1.67$$

TORQUE.- Viene dado por la relación

$$\text{Torque} = \text{Newton} \times L$$

Donde:

$$L = 0.265 m$$

Entonces:

$$T = 24.5 \times 0.265$$

$$T = 6.49 \text{ Newton} \times \text{m}$$

EFICIENCIA TERMICA.- Está expresada por

$$\eta_t = \frac{3.6 \times 10^6}{\text{cec} \times \text{Hl}} \times 100(\%)$$

Estando el cec en Kg/Kwhr

$$\eta_t = \frac{3.6 \times 10^6}{0.516 \times 41.72 \times 10^6} \times 100$$

$$\eta_t = 16,7\%$$

Los datos y resultados, se adjuntan en los siguientes cuadros y gráficos:

TABLA 6.1.

DATOS DE LA PRUEBA CON GASOLINA

VELOCIDAD VARIABLE

RPM	TORQUE (Newton)	TIEMPO (seg.)	VOLTAJE (v)	AMPERAJE (a)	AIRE mm H ₂ O
3600	18.5	60.03	198	6.4	27.5
3500	20.5	60.03	208	6.75	28
3400	22.0	60.10	218	6.9	26.5
3240	23.5	60.13	220	7.1	26.5
3130	24.5	60.11	223	7.15	25.5
3070	22.5	60.15	215	6.9	24.5
2830	24.5	60.20	212	6.9	22
2680	25.5	60.20	214	6.8	20.5
2520	26.5	60.20	212	6.8	19.5
2270	28.0	60.30	207	6.7	17.5
2160	28.0	60.56	200	6.5	16

TABLA 6.1-1RESULTADOS DE LA PRUEBA CON GASOLINAVELOCIDAD VARIABLE

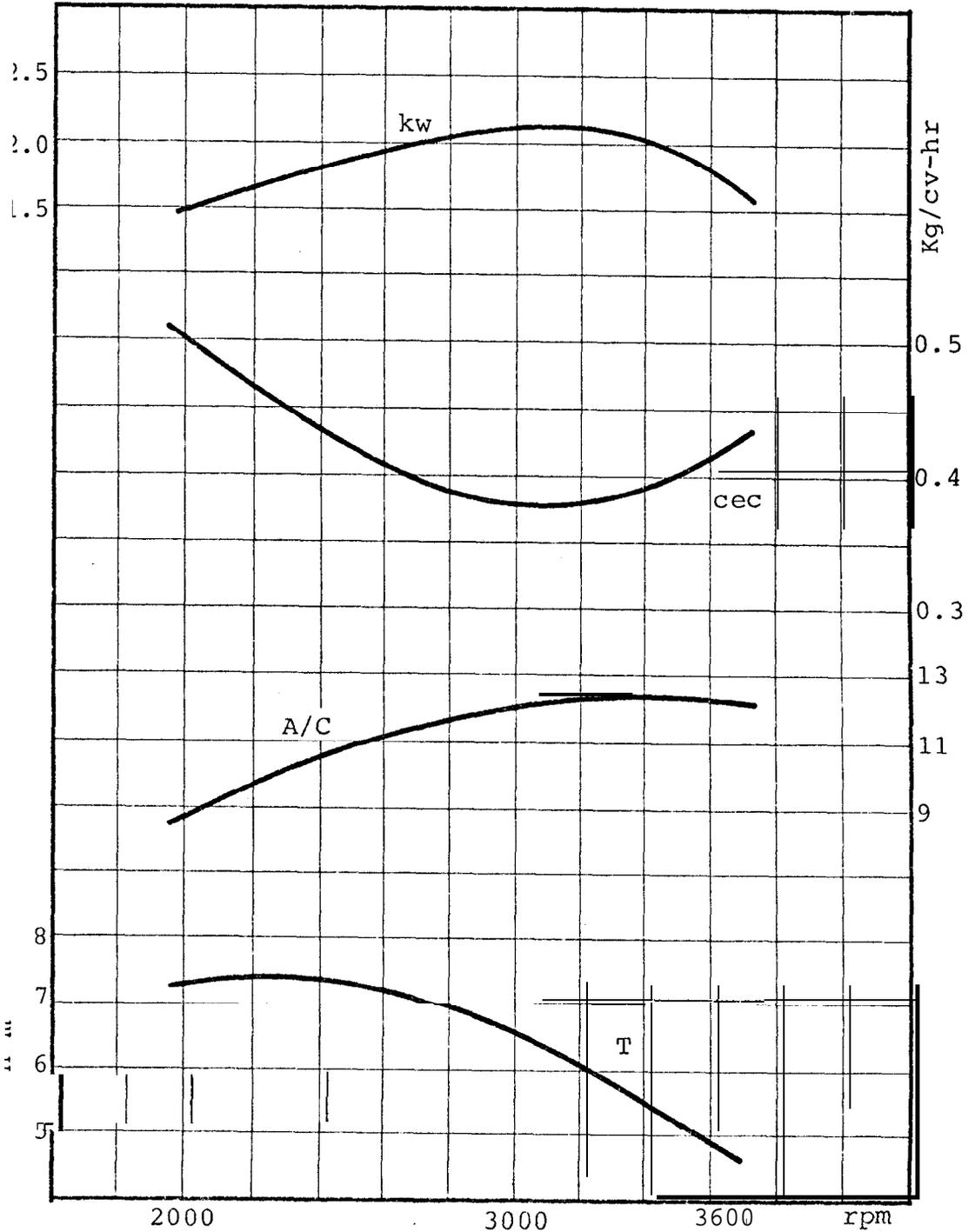
cc Kg/hr	Pot. CV	cec Kg/cvhr	*Pot. Kw	T n-m	fa Kg/hr	η_t %	A/C
1.101	2.51	0.438	1.26	4.90	13.8	14.4	12.5
1.101	2.70	0.406	1.40	5.43	13.9	15.5	12.6
1.100	2.82	0.389	1.50	5.83	13.5	16.2	12.3
1.100	2.87	0.383	1.56	6.22	13.3	16.5	12.1
1.100	2.89	0.380	1.59	6.49	13.3	16.6	12.1
1.099	2.60	0.421	1.48	5.96	13.0	15.0	11.8
1.098	2.61	0.419	1.46	6.49	12.3	15.0	11.2
1.098	2.57	0.425	1.45	6.75	11.9	14.8	10.8
1.098	2.51	0.436	1.44	7.02	11.6	14.5	10.6
1.097	2.39	0.457	1.38	7.42	11.0	13.8	10.0
1.092	2.28	0.478	1.30	7.42	10.5	13.2	9.6

NOTA: La potencia está graficada en Kw

$$1 \text{ Kw} = 1.36 \text{ cv}$$

CURVAS CARACTERISTICAS PARA LA GASOLINA

VELOCIDAD VARIABLE



CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL MOTOR UTILIZANDO BIOGAS

PROCEDIMIENTO.- El biogas se lo tomó de un tanque, don-

de estaba a una presión inicial de 130 PSI. Por medio de conexiones, donde se utilizan válvulas y mangueras, se lo pasó a una campana con sello de agua, en la cual la presión se reduce a 6 cm. de columna de agua, que es la que da el propio peso de la campana y que al mismo tiempo es la presión de entrada al carburador del motor, la entrada definitiva se realiza por un orificio de 2 mm de diámetro que termina en un codo, con la dirección de salida apuntando hacia la entrada de la cámara de combustión. La campana tiene un diámetro de 56 cm. y para cada condición de trabajo del motor, se toma como referencia una altura determinada de campana que sirve para realizar el cálculo de consumo de biogas. Las Figs. 6.4 y 6.5 presentan una vista general del equipo utilizado.

A continuación se plantea la ecuación para la masa de combustible en función de la altura de campana.

Si:

A: es el área de la campa en décímetros cuadrados,

Y

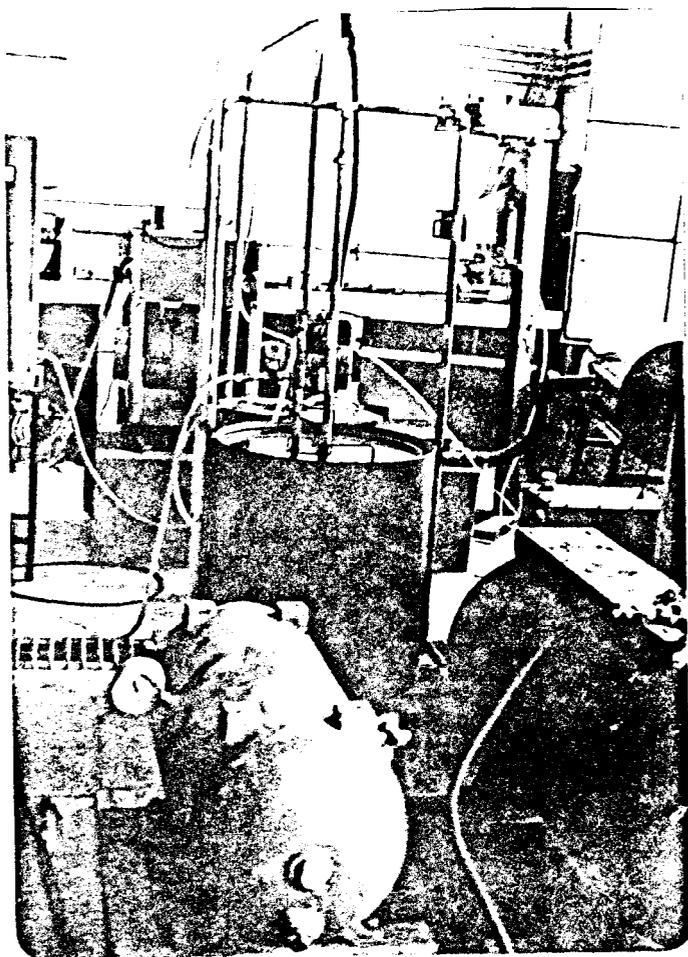


Fig. 6.4.- Vista general del equipo utilizado para las pruebas experimentales.

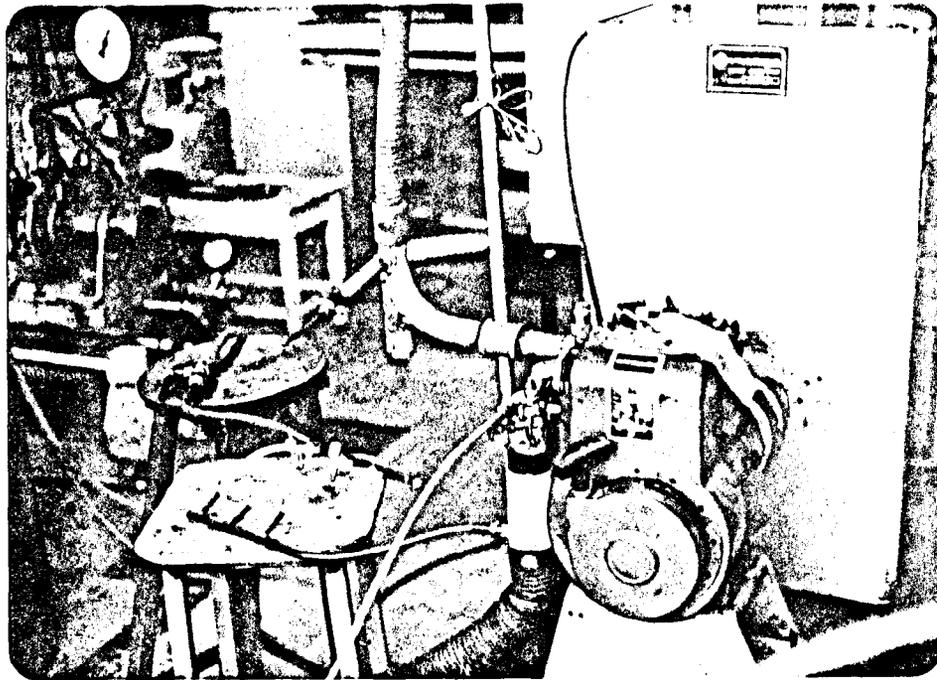


Fig. 6.5.- En primer plano está el motor utilizado en las pruebas experimentales, la entrada superior (en el carburador) es para gasolina y la inferior es para bioqas y LPG.

h : es la altura referencial de consumo de biogas en decímetros.

Tendremos que:

$$\text{Volumen} = A \times h$$

Sabemos que

$$m = \text{Volumen} \times \rho$$

Donde:

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{p}{p_0} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right)$$

Siendo:

ρ = Densidad del biogas* (20% < ρ aire), (Kg/m³)

P_0 = Densidad referencial del biogas, (Kg/m³)

p_0 = Presión referencial, cm H₂O

T_0 = Temperatura referencial, °K

p = Presión de trabajo, cm H₂O

T = Temperatura de trabajo, °K

La ecuación definitiva para la masa será la siguiente:

$$m = \text{Volumen} \times \rho_0 \left(\frac{p}{p_0} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right) \quad (6.1)$$

La masa sería un parámetro nuevo, en base al cual realizaremos los cálculos posteriores para encontrar el consumo específico de combustible (biogas). Las relaciones para hallar los otros parámetros, son las mismas que se emplearon para realizar los cálculos con gasolina.

A continuación se indica el procedimiento empleado para la obtención de los resultados.

CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE.- Indica la cantidad de combustible que el motor consume para la potencia que produce.

Para el caso del biogas el cec viene dado por la relación.

$$\text{cec} = 1.152 \times 10^6 \left(\frac{1}{N \times \text{RPM} \times t} \right) \frac{\text{Kg}}{\text{cv} \times \text{hr}} \quad (6.2)$$

Donde:

h: altura de la campana en dm.

N: Carga al freno en newton

RPM: velocidad desarrollada por el motor

t: tiempo de consumo de h, en seg.

Esta relación se la obtiene a partir de la definición de cec, que está dada por

$$\text{cec} = \frac{\text{Masa de biogas en Kg.}}{\text{Potencia desarrollada en cv x tiempo en hr}}$$

Donde:

$$\text{Masa de Biogas} = v \times \rho$$

$$\text{Masa de biogas} = A \times h \times \rho_0 \left(\frac{p}{p_0} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right)$$

Aquí:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \pi \frac{(5.6 \text{ dm})^2}{4} = 24.63 \text{ dm}^2$$

Donde:

$$D = 5.6 \text{ dm. diámetro de la campa}$$

El volumen es:

$$V = A \times h = 24.63 \text{ dm}^2 \times 0.5 \text{ dm.}$$

$$V = 12.31 \text{ lt}$$

Aquí:

$$h = 0.5 \text{ dm. constante}$$

La densidad del biogas será

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{P}{P_0}\right) \left(\frac{T_0}{T}\right)$$

$$\rho = \rho_0 (0.8) (1.3) \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \left(\frac{1030 + 6}{1030}\right) \frac{\text{cm H}_2\text{O}}{\text{cm H}_2\text{O}} \left(\frac{273}{273 + 27}\right) \frac{^\circ\text{K}}{^\circ\text{K}}$$

$$\rho = 0.951 \text{ Kg/m}^3$$

En esta ecuación:

$$\left(\frac{P}{P_0}\right) \left(\frac{T_0}{T}\right); \text{ factor de conversión para la densidad, constante.}$$

Finalmente tendremos que:

$$m = (12.31 \times 10^{-3}) \text{m}^3 \times 0.951 \text{ Kg/m}^3$$

$$m = 11.69 \times 10^{-3} \text{Kg} \quad (6.3)$$

Que será un valor constante, para todas las mediciones experimentales, (ya que h es constante = 0.5 dm).

Sabemos que la potencia está dada por:

$$P = \frac{1.36 \times N \times \text{RPM}}{36040} \text{ (cv)}$$

En función de la ecuación 6.3, de la potencia y del tiempo, se llega a la relación 6.2.

A continuación realizaremos los cálculos referenciales, que nos servirán como ejemplo para resultados posteriores:

DATOS

Velocidad	3100 RPM
Carga al freno	13 newt
Tiempo	40.33 seg
Altura de campana	0.5 dm
Voltaje	190 v
Amperaje	4.1 A
Presión de vacío (aire)	12.5 mm H ₂ O

RESULTADOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE.- El consumo de combustible viene dado por la relación

$$\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} = \frac{42.084}{t}$$

De donde:

$$\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} = \frac{42.084}{40.33} = 1.04$$

$$\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} = 1.04$$

POTENCIA.- La relación que da la potencia es:

$$CV = \frac{N \times RPM}{36040} \times 1.36$$

Reemplazando datos tendremos:

$$CV = \frac{13 \times 3100}{36040} \times 1.36$$

$$cv = 1.52$$

CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE.-

$$cec = 1.1152 \times 10^6 \frac{1}{N \times RPM \times t} \frac{Kg}{cv \text{ hr}}$$

$$cec = 1.1152 \times 10^6 \frac{1}{13 \times 3100 \times 40.33}$$

$$cec = 0.68 \frac{Kg}{cv \times hr}$$

POTENCIA ELECTRICA DISIPADA.

$$Kw = V \times A / 100$$

$$Kw = \frac{190 \times 4.1}{1000}$$

$$Kw = 0.77$$

TORQUE.- Está dado por:

$$\text{Torque} = \text{newton} \times L$$

Siendo $L = 0.265 \text{ m}$

$$\text{Torque} = 13 \times 0.265$$

$$\text{Torque} = 3.44 \text{ newton} \times \text{m}$$

EFICIENCIA TERMICA

$$\eta_t = \frac{3.6 \times 10^6}{\text{cec} \times \text{HI}} \times 100 (\%)$$

$$\text{cec} = (\text{Kg/Kwhr})$$

$$\eta_t = \frac{3.6 \times 10^6}{0.932 \times 28.97 \times 10^6} \times 100$$

$$\eta_t = 13.3\%$$

TABLA 6.2

DATOS DE LA PRUEBA CON BIOGASVELOCIDAD VARIABLE

RPM	TORQUE (newt)	TIEMPO (seg)	H (dm)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)	AIRE mm H ₂ O
3300	12	39.53	0.5	186	4	13.5
3100	13	40.33	0.5	190	4.2	12.5
2760	10.5	43.46	0.5	157	3.5	10.3
2670	11.2	41.63	0.5	161	3.6	9.5
2500	12.5	42.03	0.5	165	3.8	8.7
2220	13	45.02	0.5	165	3.7	6.5
2100	14.5	43.43	0.5	167	3.8	6
1920	15	45.12	0.5	166	3.7	5.5

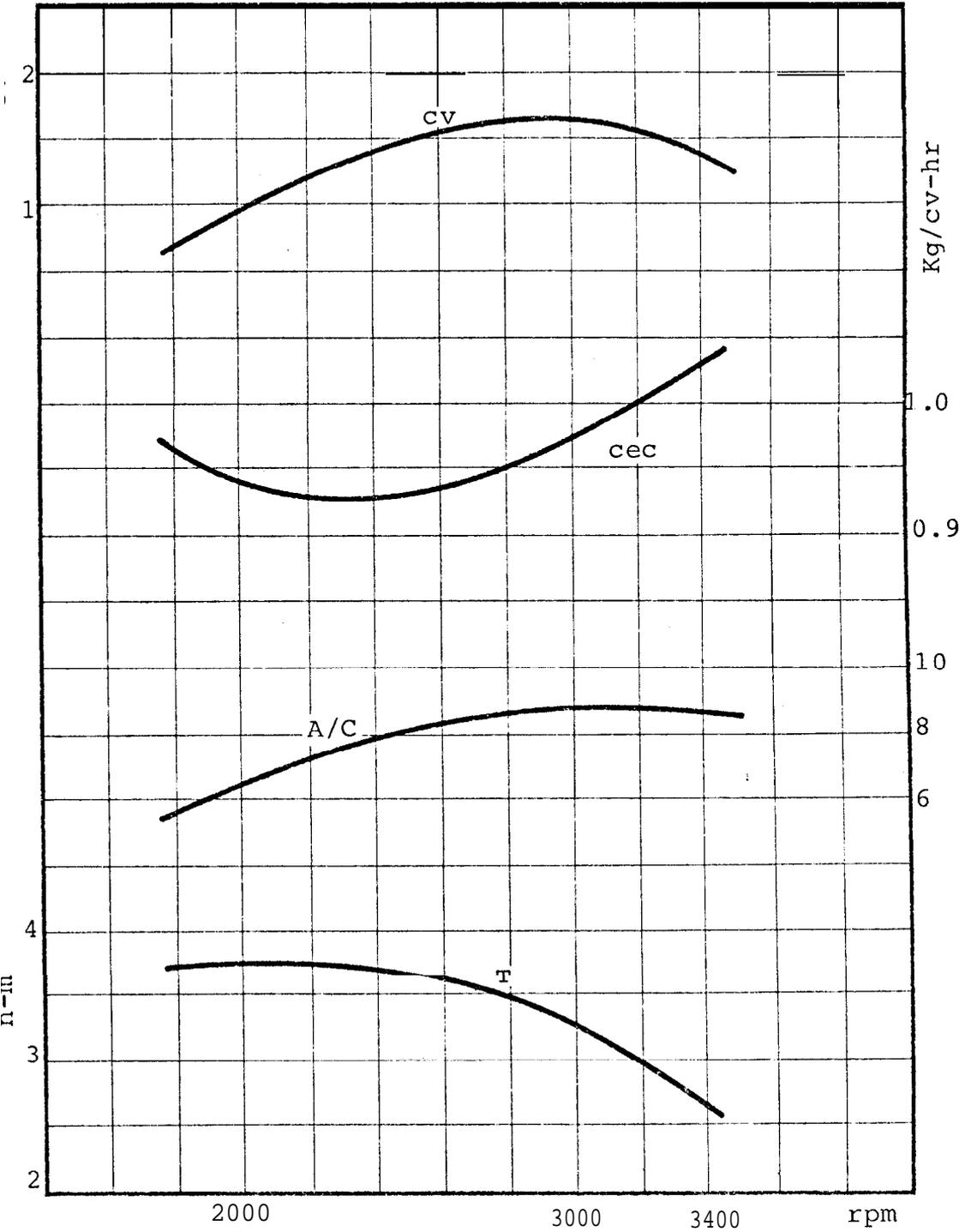
TABLA 6.2-2RESULTADOS DE LA PRUEBA CON BIOGASVELOCIDAD VARIABLE

cc Kg/hr	Pot. cv	cec Kg/cvhr	*Pot. Kw	T n-m	fa Kg/hr	ηt %	A/C
1.06	1.49	0.71	0.74	3.1	9.7	12.7	9.1
1.04	1.52	0.68	0.79	3.4	9.3	13.3	8.9
0.96	1.09	0.88	0.54	2.7	8.4	10.2	8.7
1.01	1.12	0.90	0.57	2.9	8.1	10.1	8.03
1.00	1.17	0.85	0.62	3.3	7.7	10.6	7.7
0.93	1.08	0.86	0.61	3.4	6.7	10.5	7.1
0.97	1.14	0.85	0.63	3.8	6.4	10.7	6.6
0.93	1.08	0.86	0.61	3.9	6.1	10.5	6.6

GRAFICO 6.2

CURVAS CARACTERISTICAS PARA EL BIOGAS

VELOCIDAD VARIABLE



6.3 MEDICIONES DE TORQUE, FLUJO DE AIRE, FLUJO DE COMBUSTIBLE, A VELOCIDAD CONSTANTE, VARIANDO LA ABERTURA DEL ACELERADOR.

Esta experiencia tiene como procedimiento los siguientes pasos:

- Se arranca el motor y se lo deja que se caliente durante un tiempo prudencial.
- Utilizando el acelerador y la carga se lleva al motor a: 2800 RPM para la gasolina y 2500 RPM para el biogas, ésto se logra abriendo el acelerador y aumentando la carga.
- Se cierra el acelerador hasta llevar al motor a una velocidad menor que la establecida, luego se saca carga y se lo lleva al motor a la velocidad de trabajo, se espera condiciones estables para proceder a tomar la lectura de datos.
- Se repite este procedimiento hasta trabajar a baja carga.

CALCULOS Y RESULTADOS.- En base a los datos experimen-

tales, se obtienen los siguientes resultados: Potencia, relación aire/combustible, consumo específico de combustible, etc. Finalmente se grafica estos parámetros en función de la abertura del acelerador (%).

Las ecuaciones empleadas para encontrar los resultados, son las mismas ya descritas anteriormente, estando los datos y resultados graficados a continuación.

TABLA 6.3DATOS DE LA PRUEBA CON GASOLINAVELOCIDAD CONSTANTE

RPM	TORQUE (newt)	TIEMPO (Seg.)	VOLTAJE (v)	AMPERAJE (a)	AIRE mm H ₂ O
2800	20	75.06	214	5	17.5
	19	75.08	212	4.8	16.5
	18	75.08	218	4.7	15.5
	16.5	75.11	206	4.5	13.5
	15	75.12	199	4.2	11.5
	14.5	75.09	186	4.1	11.0
	14	75.12	174	4.8	10
	13.5	75.12	162	4.6	9.5
-	-				

TABLA 6.3-3

RESULTADOS DE LA PRUEBA CON GASOLINA

VELOCIDAD CONSTANTE

cc Kg/hr	Pot. cv	cec Kg/cvhr	*Pot. Kw	T n-m	fa Kg/hr	η_t %	A/C
0.881	2.11	0.417	1.07	5.3	11.0	15.5	12.5
0.830	2.00	0.438	1.01	5.0	10.7	14.4	12.1
0.880	1.90	0.462	1.02	4.7	10.3	13.6	11.8
0.880	1.74	0.505	0.92	4.3	9.7	12.5	11.0
0.880	1.58	0.555	0.81	3.9	8.9	11.3	10.1
0.880	1.53	0.574	0.76	3.5	8.7	11.0	9.9
0.880	1.4;	0.595	0.8;	3.0	8.3	10.6	9.4
0.880	1.3;	0.641	0.74	2.6	8.1	9.8	9.2

NOTA: La potencia está graficada en Kw

$$1 \text{ Kw} = 1.36 \text{ cv}$$

GRAFICO 6.3

CURVAS CARACTERISTICAS PARA LA GASOLINA

VELOCIDAD CONSTANTE

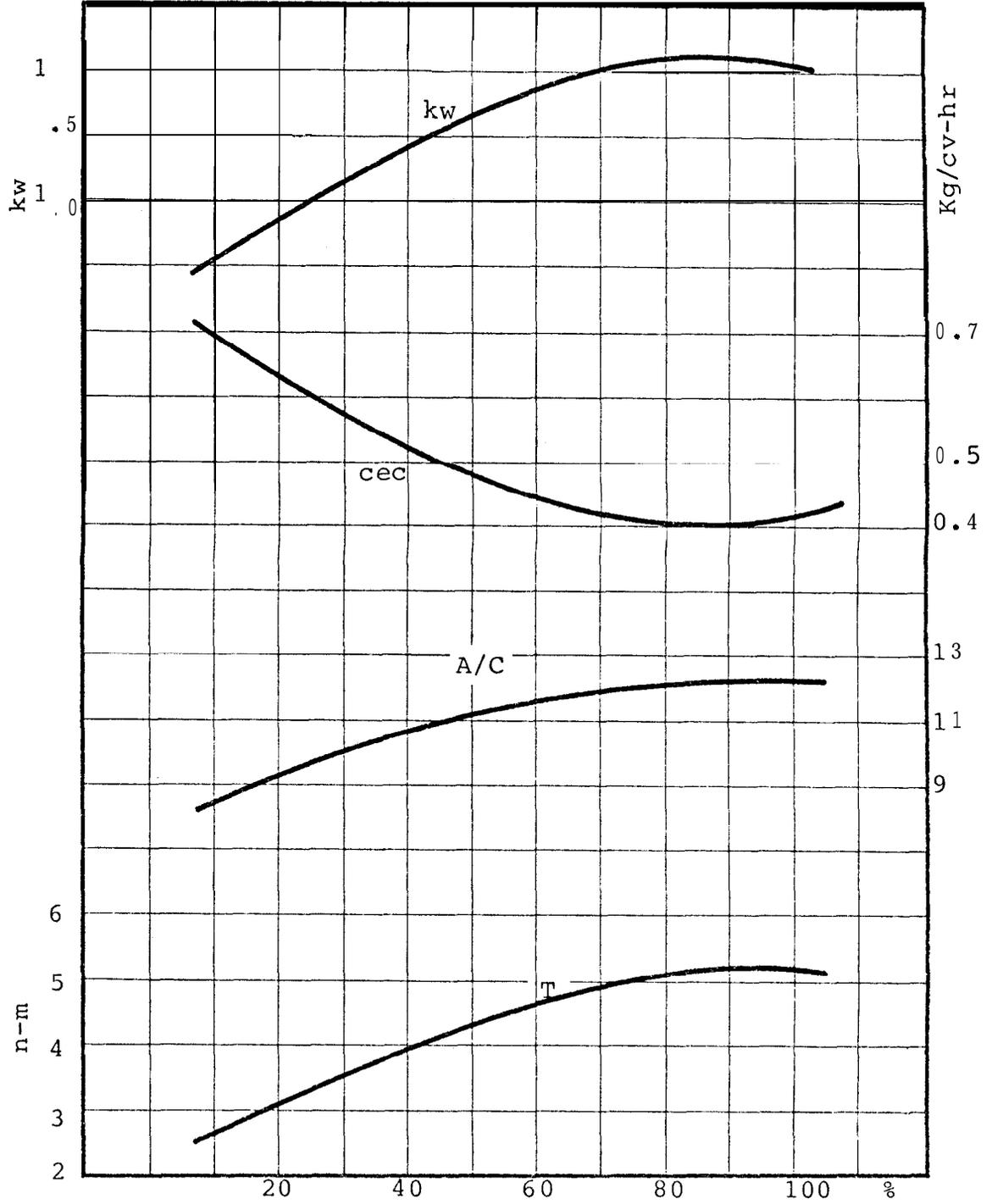


TABLA 6.4DATOS DE LA PRUEBA CON BIOGASVELOCIDAD CONSTANTE

RPM	TIEMPO (seg)	H (dm)	VOLTAJE (v)	AMPERAJE (a)	AIRE mm H ₂ O	TORQUE n-m
2500	49.81	0.5	196	2.2	9	10
	52.41	0.5	190	2	8	9.8
	52.64	0.5	188	2.1	8	9.6
	53.81	0.5	182	1.9	7.5	9
	54.12	0.5	168	2	7.5	8.5
	55.71	0.5	152	1.8	6.5	8.1
	56.45	0.5	140	1.7	6	8.0

TABLA 6.4-4

RESULTADOS DE LA PRUEBA CON BIOGASVELOCIDAD CONSTANTE

cc Kg/hr	Pot. CV	cec Kg/cvhr	*Pot. kw	T n-m	fa Kg/hr	η t %	A/C
0.845	0.94	0.896	0.43	2.6	7.9	100.11	9.3
0.803	0.92	0.869	0.38	2.5	7.4	10.5	9.2
0.800	0.90	0.883	0.39	2.5	7.4	10.3	9.3
0.783	0.84	0.922	0.34	2.3	7.2	9.2	9.2
0.778	0.80	0.971	0.33	2.2	7.2	9.4	9.2
0.756	0.76	0.989	0.27	2.1	6.4	9.2	8.5
0.746	0.75	0.989	0.23	2.1	6.1	9.2	8.2

GRAFICO 6.4

CURVAS CARACTERISTICAS PARA EL BIOGAS
VELOCIDAD CONSTANTE

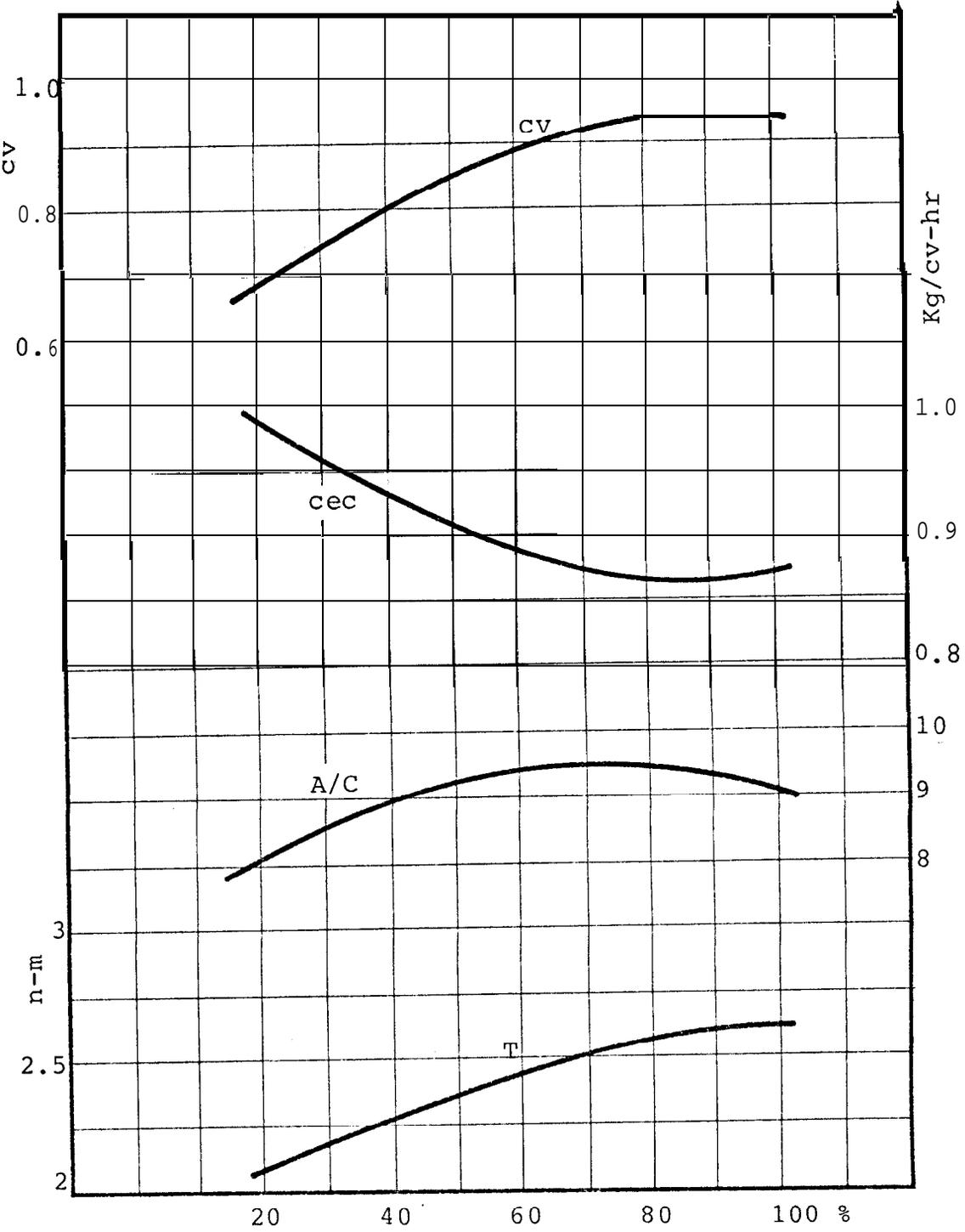


TABLA 6.5VALORES DE RESULTADOS EXPERIMENTALESCORRESPONDIENTES AL MINIMO CONSUMOESPECIFICO DE COMBUSTIBLE

	cec Kg/cvhr	Potencia cv	Torque	nt %	A/C
GASOLINA Velocidad Variable	0.380	2.89	6.49	16.6	12.1
BIOGAS Velocidad Variable	0.68	1.52	3.4	13.3	8.9
LPG Velocidad Variable	0.497	2.82	5.5	11.6	9.2
GASOLINA Velocidad Constante	0.417	2.11	5.3	15.5	12.5
BIOGAS Velocidad Constante	0.869	0.92	2.5	10.5	9.2
LPG Velocidad Constante	0.306	2.29	6.4	18.8	15.1

Seguidamente analizaremos las curvas obtenidas experimentalmente, para los diferentes combustibles utilizados, incluido el LPG, cuyos gráficos están presentados en el Apéndice A.

CURVAS A VELOCIDAD VARIABLE.- Del Gráfico (6.1) (para gasolina), vemos que la producción de potencia aumenta hasta un máximo, ésta corresponde a 3200 RPM después de la cual disminuye. El cec es mínimo para 3000 RPM y de la tabla de resultados comprobamos que el rendimiento térmico es máximo donde el cec es mínimo. La relación A/C aumenta a medida que aumenta la velocidad del motor llegando hasta un valor máximo de aproximadamente 12.5, este valor lógicamente es un poco alto, pero la mejor relación se la obtiene a 2200 RPM. El torque disminuye a medida que la velocidad aumenta, el mínimo está en 3400 RPM.

En general las curvas para velocidad variable para los tres combustibles, tienen una configuración aproximada en cuanto a las tendencias que presentan.

Con respecto a la potencia al comparar los gráficos (6.1), (6.2) y (A.1), se observa que la mayor potencia desarrollada por el motor es precisamente cuando se

utiliza LPG.

Comparando los gráficos (6.2) y (A.1), observamos que el LPG tiene un mejor cec en peso (Kg/cvhr) en comparación con el biogas.

La relación A/C para los gráficos (6.1), (6.2) y (A.1), aumenta a medida que aumentan las RPM, hasta alcanzar un valor máximo, de aquí si se aumenta la velocidad del motor la relación A/C empieza a disminuir. El torque en estos tres gráficos disminuye al aumentar las RPM.

CURVAS A VELOCIDAD CONSTANTE.- Gráficos (6.3), (6.4) y (A.2), los parámetros están establecidos en función de la abertura del acelerador en porcentaje. Las mayores potencias corresponden a la utilización de LPG y gasolina. El cec del LPG en comparación con el del biogas es menor, 0.32 Kg/cvhr contra 0.72 Kg/cvhr del biogas.

En cuanto a la relación A/C, gráfico (6.4), se observa que el biogas tiene un valor bastante aceptable, está entre 9 y 9.5 para 80% de abertura del acelerador.

Para los tres gráficos, el torque (T) aumenta proporcionalmente con la abertura del acelerador.

6.4 EFICIENCIA MECANICA Y TERMICA

POTENCIA Y RENDIMIENTO MECANICO.- La potencia obtenida de un motor, es llamada comúnmente potencia al freno (bhp) o simplemente caballos producidos. La potencia total desarrollada sobre el émbolo del motor se llama potencia indicada (ihp).

Una parte de la potencia indicada, 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, émbolos 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 para realizar esas tareas se llama potencia perdida en las fricciones (fhp). La potencia al freno es menor que la indicada, en una cantidad igual a la potencia consumida en las fricciones del motor.

$$ihp = bhp + fhp \quad (6.4)$$

La relación entre la potencia producida por el motor

(bhp) y la potencia total desarrollada dentro de él (ihp) se conoce como rendimiento mecánico.

$$\eta_m = \frac{\text{bhp}}{\text{ihp}}$$

De la ecuación (6.4)

$$\eta_m = \frac{\text{ihp} - \text{fhp}}{\text{ihp}} = 1 - \frac{\text{fhp}}{\text{ihp}}$$

$$\eta_m = 1 - \frac{\text{fhp}}{\text{ihp}}$$

EFICIENCIA TERMICA.- Se define η_t , para un ciclo o una máquina de energía. Como la relación entre.

$$\eta_t = \frac{\text{Producción de trabajo del sistema}}{\text{Energía cargada al sistema, o consumida}} \quad (6.5)$$

Para ciclos y máquinas o motores ideales, el numerador y el denominador son valores ideales, que se definen para cada sistema ideal considerado.

5 CONSUMO TOTAL Y ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE

Por cada Kg de aire inducido en el motor, debe añadirse una cantidad proporcional de combustible.

Por lo tanto, el consumo de combustible en Kg/hr, es proporcional al consumo de aire y para un motor hipotético con un porcentaje constante de pérdidas de calor, será proporcional a la potencia indicada. Para este motor ideal el consumo específico indicado de combustible será constante, independientemente de la velocidad, como queda ilustrado por la línea FG en la Fig. 6.6. Sin embargo el porcentaje de pérdidas de calor para los motores disminuye apreciablemente con aumentos de la velocidad cuando esta correlación cuantitativa se aplica a la línea FG en la Fig. 6.6, se obtiene una curva DE que cae a valores menores en altas velocidades. Las pruebas hechas en motores reales confirman esta tendencia para el consumo específico indicado de combustible.

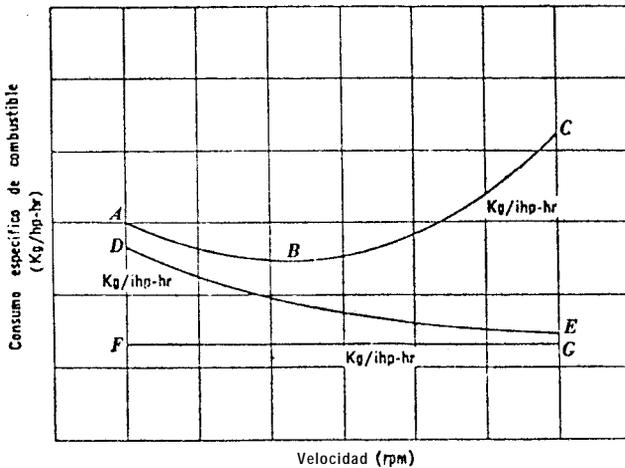


Fig. 6.6 Consumo específico de combustible sin estrangulación para el motor hipotético.

El rendimiento mecánico, funcionando con el estrangulador completamente abierto, disminuye con la velocidad. Si el consumo específico indicado, de combustible (DE en la Fig. 6.6), se divide entre el rendimiento mecánico, se obtiene el consumo específico al freno de combustible. Nótese que las tendencias de la pérdida de calor y del rendimiento mecánico, se oponen una a la otra y por ello el consumo específico al freno de combustible es un poco plano en bajas velocidades. Esta conclusión se verifica en los motores reales.

CAPITULO VII

OPTIMIZACION DEL USO DE BIOGAS EN LA ADAPTACION DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

En los motores de combustión interna de encendido por chispa, existe la necesidad de adaptar el carburador, para que el volumen de biogas que alimenta al motor, tenga la cantidad de calor lo más equivalente posible a la del combustible para el cual el motor fue previsto originalmente, en nuestro caso este combustible es la gasolina. Esto no siempre es posible, y ocurre una pérdida de potencia con el uso del biogas.

Esta es una razón poderosa para que el carburador o en otras palabras, la cámara mezcladora que se recomienda en este trabajo, tenga las características de máxima economía y funcionabilidad, de tal forma que se obtenga al mismo tiempo, una alta eficiencia de combustión dentro del cilindro del motor.

7.1 DISEÑO DE UN CARBURADOR PARA USO ALTERNO DE GASOLINA Y BIOGAS

Uno de los objetivos de este trabajo, consiste en utilizar un motor de gasolina, en las mismas condiciones en que se lo adquiere en el mercado. Razón por la cual el sistema de inducción de gas, se lo hace directamente por la toma de aire del carburador, esto significa que por medio de llaves de paso, colocadas estratégicamente, se puede realizar el cambio de gasolina a biogas, o viceversa.

La cantidad de gas necesaria, es determinada por la dilución con el aire, y que es compatible con la tasa de presión del motor.

Ya que tiene que funcionar el carburador con gasolina y biogas, se ha partido de uno que emplea gasolina, este carburador es el S.U., del cual tomaremos sus principios de funcionamiento para adaptarlo a biogas.

Una fórmula dada en el libro CARBURADORES por Manuel de Castro, permite encontrar el diámetro del cuerpo del carburador, ésta es:

$$D = 0.82 \sqrt{C \times N/1000} \quad (7.1)$$

donde:

D = diámetro del cuerpo del carburador en mm.

N = número de revoluciones máximas que pueda dar el motor (rpm) .

C = cilindrada unitaria en c.c.

Para nuestro caso tendremos que: N = 4000 RPM,

C = 205.98 cc -206 cc. Reemplazando datos en la ecuación 7.1 tendremos:

$$D = 0.82 \sqrt{206 \times 4000/1000}$$

$$D = 23.53 \text{ mm}$$

$$D = 2.35 \text{ cm.}$$

El flujo de combustible a través de un orificio viene expresado por (Ver Motores de Combustión Interna, E. Obert, Carburadores).

$$m_f = 0.79 \times C_f \times d_f^2 \sqrt{ef\Delta H_f} \quad (\text{Kg/seg}) \quad (7.2)$$

donde:

m_f = gasto de combustible (Kg/seg)

C_f = coeficiente de descarga para corregir el flujo

ideal; haciéndolo real.

d_f = diámetro del orificio (cm)

e_f = peso específico del combustible (Kg/cm^3)

ΔH_f = depresión manométrica (cm H_2O)

La salida de biogas es a través de un orificio de 3 mm. de diámetro (entrada al carburador), la depresión corresponde a 64 cm H_2O , el peso específico es 0.951 Kg/m^3 y C_f se toma igual a 0.85.

Reemplazando datos en la ecuación (7.2) tendremos:

$$m_f = 0.79 \times 0.85 \times (0.3)^2 \sqrt{0.51 \times 10^{-6} \times 64}$$

$$m_f = 4.71 \times 10^{-4} \text{ Kg/seg}$$

Este valor corresponde al flujo de biogas.

Si tomamos una relación de aire/combustible igual a 9 podremos encontrar el flujo de aire.

$$m_a/m_f = 9$$

$$m_a = 9m_f$$

$$m_a = 9(4.71 \times 10^{-4})$$

$$m_a = 4.23 \times 10^{-3} \text{ Kg/seg}$$

El área de la garganta del carburador vendrá dada por

$$d_g^2 = \frac{m_a + m_f}{0.79 \times C_a \sqrt{e_a \Delta H_a}} \quad (7.3)$$

Para esta ecuación $C_a = 0.9$, el peso específico es igual a 1.3 Kg/m^3 y la depresión es $69 \text{ cm H}_2\text{O}$. Sustituyendo datos en la ecuación (7.3) tendremos:

$$d_g^2 = \frac{(4.71 \times 10^{-4} + 4.23 \times 10^{-3})}{0.79 \times 0.9 \sqrt{1.3 \times 10^{-6} \times 69}}$$

$$d_g^2 = 0.698$$

$$d_g = 0.835 \text{ cm}$$

$$d_g = 8.35 \text{ mm}$$

El diámetro del cilindro que controla el flujo de aire (sobre el que se sujeta la aguja cónica que controla la entrada de combustible), se toma normalmente igual al diámetro del cuerpo del carburador, ésto es 2.35 cm .

El área sobre la cual actúa el vacío del motor para alzar el cilindro con la aguja cónica, se la calcula tomando como diámetro un valor igual al doble del diámetro del cuerpo del carburador, ésto equivale a $4.7 \text{ cm} \approx 5 \text{ cm}$

El área será igual a:

$$A = \pi d^2 / 4$$

$$A = \pi (5)^2 / 4$$

$$A = 19.63 \text{ cm}^2$$

La fuerza que se ejerce sobre esta brea se la calcula de:

$$F = P \times A$$

donde:

$$P = 70 \text{ cm H}_2\text{O (presión de vacío)}$$

$$A = 19.63 \text{ cm}^2$$

reemplazando datos en la ecuación anterior obtendremos

$$F = (0.07014 \text{ Kg/cm}^2) (19.63 \text{ cm}^2)$$

$$F = 1.37 \text{ Kg}$$

Vemos que se puede manejar un peso considerable, aún más, cuando el material que se emplea para la construcción es Aluminio cuya densidad es de $2.7 \times 10^3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$. Normalmente la subida del cilindro está controlada por un resorte que hace que ésta sea uniforme.

Seguidamente esquematizaremos el carburador (mezclador), dándole sus dimensiones establecidas y luego

describiremos en forma general su funcionamiento.

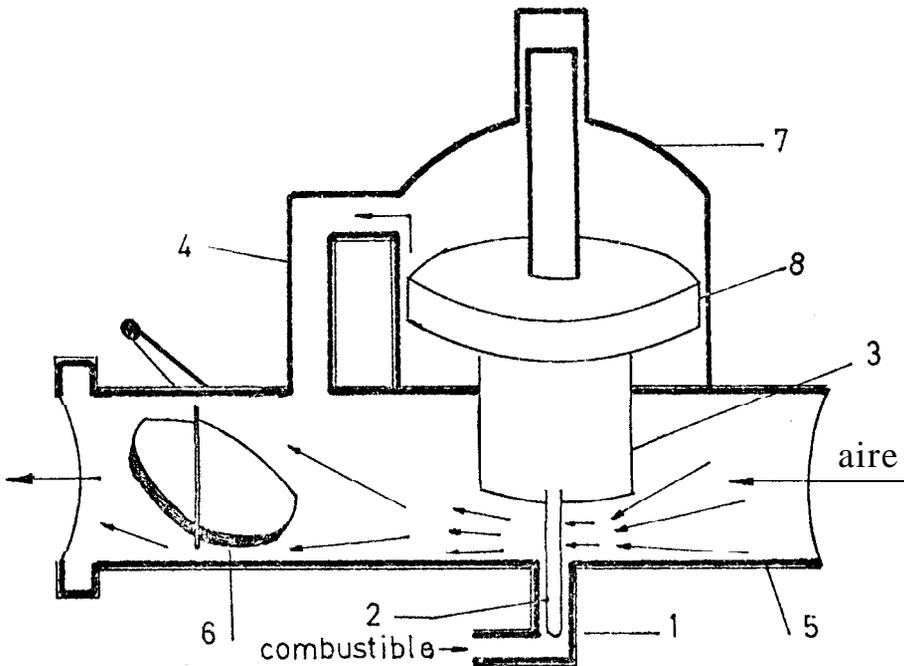


Fig. 7.1.- Esquema del Carburador para uso alterno de gasolina y biogas.

El carburador posee un surtidor único (1), se regula las variaciones de la mezcla por medio de la aguja cónica (2) que se hunde más o menos en el surtidor según la empuje o levante el émbolo (3). El movimiento de este émbolo está mandado por el conducto (4) que tiene comunicación con el tubo del carburador (5) cerca de la válvula mariposa (6). Al pasar el aire por este conducto (4) crea una depresión en el interior de la caperuza (7) la cual levanta el disco accionado por

el vacío (8) y con el émbolo (3) y la aguja cónica (2).

SELECCION DEL CARBURADOR MAS APROPIADO PARA EL USO AL-
TERNO DE GASOLINA Y BIOGAS.

En el apartado 7.1, habíamos expuesto que el motor que vaya a ser adaptado para que trabaje con biogas, no sufría alteración alguna, ésto es, que el motor debe permanecer intacto en cuanto a su configuración.

Partiendo desde este punto de vista, se llega a la conclusión, de que el motor a adaptarse a biogas, tenga un determinado tipo de carburador, que facilite dicha adaptación.

En el presente trabajo hemos seleccionado dos tipos de carburadores, como los más apropiados para la finalidad que se persigue.

En primer lugar, tenemos el carburador tipo FLO-JET de doble cuerpo, de la BRIGGS & STRATTON, que se lo ha utilizado en un motor de 7 HP de la misma marca.

En segundo lugar, se ha utilizado para pruebas definitivas, el carburador tipo B. 10/1/2 de la **VILLIERS**,

este carburador se adaptó a un motor de 5 HP, marca POWERLITE. Los dos tipos de carburadores está esquematizados en las Figs. 7.2 y 7.3.

Las ventajas que presentan estos dos tipos de carburadores, es que presentan un gran espacio libre hacia la cámara de combustión, cuando permanecen abiertas las válvulas de mariposa y la del estrangulador, a diferencia de otros tipos que tienen pequeños orificios de inducción de mezcla aire/gasolina, lo cual dificulta que trabajen con gas, debido a que el biogas está a bajas presiones y se necesita espacios mayores para una buena inducción de mezcla aire/biogas.

Estos carburadores al ser adaptados a biogas, es necesario como hablamos dicho anteriormente, adaptarlos antes de la toma de aire.

Al estar trabajando el motor con gasolina y si queremos cambiar a biogas, cerramos poco a poco la válvula de gasolina y abrimos la del biogas, la mariposa del estrangulador la dejamos completamente abierta, lógicamente que tenemos que notar que se consuma toda la gasolina existente en el carburador (reservorio donde se encuentra el flotador), y cuando esté a punto de

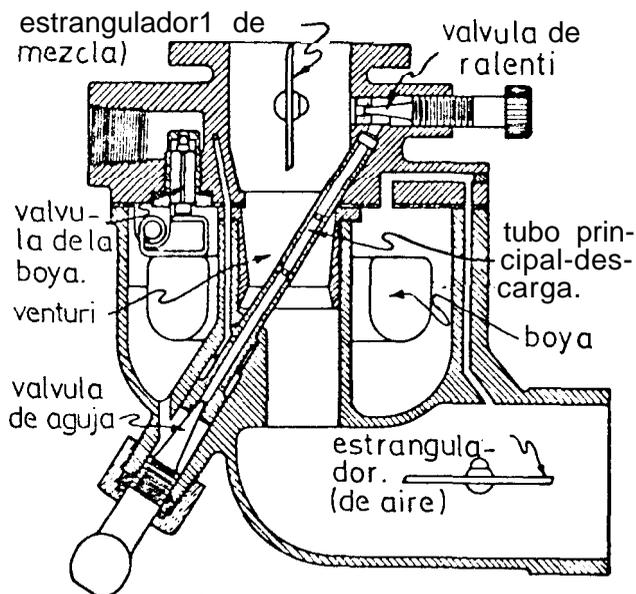


Fig. 7.2.- Carburador FLO-JET de doble cuerpo.

consumirse (se nota cierto cascabeleo del motor), se procede a abrir completamente la válvula de biogas.

Pasaremos seguidamente a describir el reglaje de los dos tipos de carburadores.

CARBURADOR FLO-JET, DE DOBLE CUERPO

REGLAJE DEL CARBURADOR.- Fig. 7.4. Arrancar el motor y calentarlo a 3000 RPM. Atornillar la válvula de aguja hasta que el motor empiece a fallar (mezcla pobre) y después girar en sentido

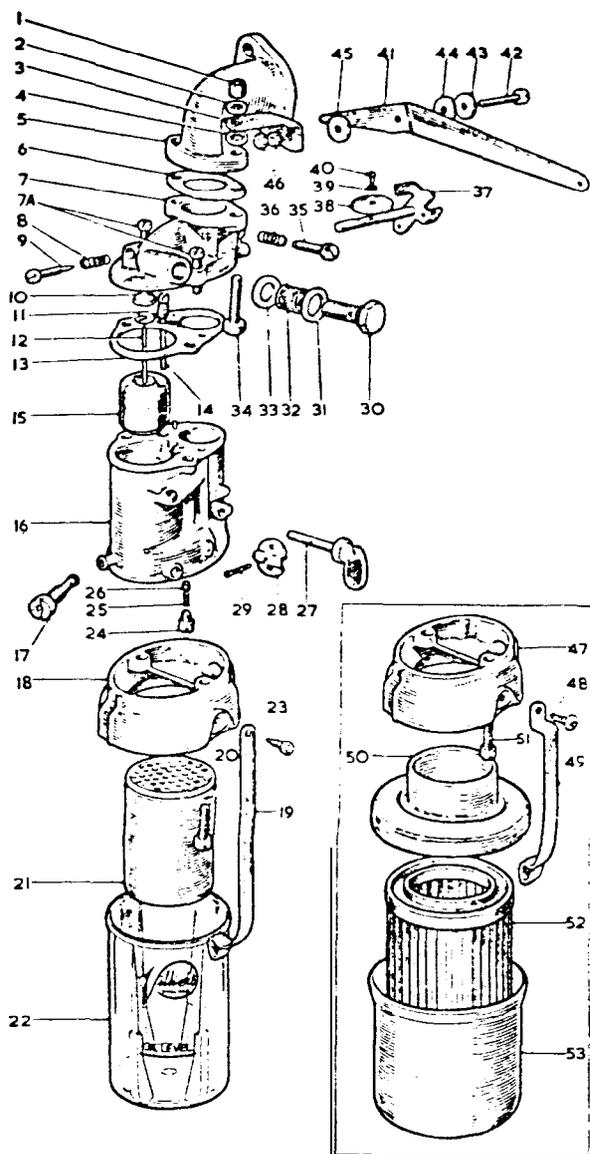


Fig. 7.3.- Carburador Villiers
tipo B.10/1/2.

contrario, sobrepasando el punto de funcionamiento más regular, hasta que la marcha del motor deje de ser uniforme (mezcla rica).

Llevar la válvula de aguja al punto medio del recorrido entre el correspondiente a mezcla pobre y rica. Colocar la válvula de mariposa en la posición de ralentí y ajustar el tornillo para conseguir 1750 RPM.

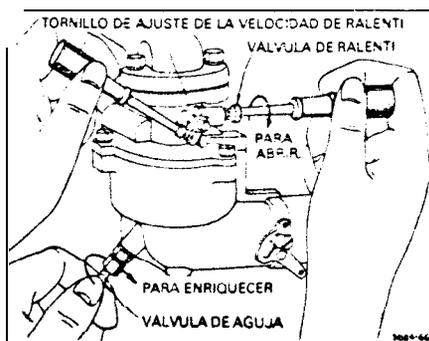


Fig. 7.4.- Reglaje del Carburador FLO-JET.

CARBURADOR TIPO B.10/1/2

REGLAJE DEL CARBURADOR.- Gírese el perno de ajuste del piloto (9) (Fig. 7.3), y dele aproximadamente dos vueltas completas, en sentido contrario a las manecillas del reloj. Abrase el paso de la gasolina (la entrada es en la dirección del tornillo - 110 30), préndase el motor y déjelo calentar.

Con el tornillo de ajuste del piloto en la posición dada anteriormente, el motor deberá trabajar en forma

regular, tanto con y sin carga. Si el motor empieza a fallar cuando está sin carga, gírese el tornillo de ajuste del piloto, hasta que se suavice la marcha. El tornillo deberá girarse solo 1/4 de vuelta cada vez, y debe dársele carga al motor en cada prueba.

Si es que hubiera una tendencia del motor a quedarse, cuando se aplica carga súbita, gírese el tornillo de ajuste en sentido de las manecillas del reloj, para enriquecer ligeramente la mezcla.

3 SELECCION DEL MOTOR MAS APROPIADO PARA TRABAJAR CON BIOGAS, EN DIVERSAS APLICACIONES

En el presente trabajo se ha utilizado un motor a gasolina para la adaptación al uso de biogas, por lo tanto describiremos brevemente sus características.

Los motores a gasolina o encendido por chispa se clasifican en motores de dos tiempos y motores de cuatro tiempos, siendo necesario analizar los dos tipos de motores y luego elegir el más conveniente.

Los motores de 2 tiempos y de 4 tiempos toman estos nombres debido al número de vueltas que da el cigüeñal,

para realizar un ciclo de trabajo.

El motor de dos tiempos es el que necesita que su cigueñal, dé una vuelta completa para realizar un ciclo.

En el motor de 4 tiempos, el cigueñal da dos vueltas para completar un ciclo.

En cuanto al motor de dos tiempos, éste presenta una seria desventaja para la aplicación a biogas, en comparación con el de 4 tiempos.

En este tipo de motor, el cárter está seco; el aceite se mezcla con la gasolina y es introducido, por tanto, en el cárter durante la aspiración. Como los gases entran con velocidad y son frenados de golpe al llenarse el reducido espacio del cárter, las partículas de aceite, más pesadas, son precipitadas a las paredes y fondo, a la vez que el calor de la precompresión (ésta es de 1.3 a 1.4 atmósferas) tiende a vaporizar la gasolina, más volátil que el aceite; éste se deposita en las superficies interiores, desde donde va a lubricar los cojinetes y órganos en movimiento. Al cilindro, pasa en la mezcla, la parte necesaria para el engrase de su pared superior.

El uso del biogas como combustible, presenta el inconveniente de premezclarlo con el aceite, antes de que entre al cárter del motor, debido a que los dos se encuentran en diferentes estados.

Comparando desde un punto de vista más general, el motor de dos tiempos presenta otras desventajas, frente al motor de cuatro tiempos.

- Menor rendimiento termodinámico debido a la dilución del gas fresco, a la pérdida de gas fresco por el escape, a la pérdida de trabajo por bombeo y al incompleto aprovechamiento de la expansión. En conclusión: baja presión media efectiva.
- Mayor dificultad de refrigeración y mayores sollicitaciones de los órganos en movimiento; el pistón del motor de dos tiempos, a igualdad de número de revoluciones, está sujeto a la temperatura y a la presión de combustión un número doble de veces que el motor de cuatro tiempos.
- Mayores consumos específicos de combustible, especialmente en el caso de la limitación por carbura -- ción.

- Funcionamiento irregular a los bajos regímenes.
- Mayores solicitaciones térmicas y eléctricas de la bujía porque a igualdad de revoluciones con uno de cuatro tiempos, es doble al número de encendidos.

En base a todo ésto se seleccionó un motor de encendido por chispa de cuatro tiempos. En la Fig. 7.5, se esquematiza el funcionamiento de este tipo de motor, luego se definen sus ciclos.

- 1) CARRERA DE ADMISION.- Sirve para introducir una mezcla de aire combustible hacia el interior del cilindro del motor. Se abre la válvula de admisión y penetra la mezcla; la válvula de escape permanece cerrada durante la mayor parte de la carrera.
- 2) CARRERA DE COMPRESION.- Sirve para elevar la temperatura de la mezcla. Ambas válvulas están cerradas, la mezcla se comprime al subir el émbolo y la chispa enciende la mezcla cerca del final de la carrera (PMS).
- 3) CARRERA DE POTENCIA O DE TRABAJO.- Cerca del final

de la carrera de compresión, salta la chispa y se enciende la mezcla, liberando energía que aumenta la temperatura y la presión de los gases, esta gran expansión de los gases de combustión empujan al émbolo hacia abajo, ambas válvulas están cerradas.

Cuando el émbolo está por finalizar su carrera, cerca del (PMI) se abre la válvula de escape.

- 4) CARRERA DE ESCAPE.- Estando abierta la válvula de escape, el pistón por inercia moviéndose hacia arriba, permite el barrido de los gases.

Para las pruebas definitivas, se utilizó el motor de marca POWERLITE, de 5 HP (2 Kw), cuyas curvas características de: Potencia, Consumo Específico de Combustible, etc., están incluidas en el presente trabajo, tanto para gasolina, biogas y gas licuado de petróleo (LPG).

El tipo de carburador usado es B.10/1/2, marca VILLIERS.

A continuación se dan las características de este motor:

- Potencia 5 HP 3600 RPM
- Diámetro interior del cilindro 2 9/16 pulgadas
- Carrera del pistón 2 7/16 pulgadas
- Volumen de la cámara 12.57 pulg³
- Enfriamiento por aire

.4 RECOMENDACIONES GENERALES DE OPERACION PARA MOTORES QUE FUNCIONAN CON BIOGAS

La utilización del biogas como combustible para motores, en forma permanente, requiere la purificación de éste antes de que entre al motor. Esta purificación comprende: la reducción del sulfuro de hidrógeno contenido en el biogas a menos de 0.25 por ciento, para prevenir la corrosión en las superficies metálicas, también la extracción del bióxido de carbono a los efectos de incrementar el poder calorífico del biogas resultante.

Para un funcionamiento estable del motor con biogas, es necesario acoger ciertas recomendaciones generales de operación que garanticen en lo posterior un buen funcionamiento del motor. En forma general estas recomendaciones son las siguientes:

- Es conveniente dar marcha al motor con gasolina, y después de haberse calentado se puede pasar a alimentarlo con biogas, abriendo lentamente la válvula de la tubería de biogas y al mismo tiempo cerrando el paso de la gasolina.

- La presión del gas deberá ser regulada a través de algún dispositivo regulador de presión, se puede realizar ésto, utilizando una campana con sello de agua, que a la vez sirve como depósito intermediario.

- El biogas produce más calor en el cilindro, debido a ésto el sistema de refrigeración del motor debe estar en perfectas condiciones.

- Una preignición de la mezcla (aire/biogas) puede ocurrir, si la cantidad de biogas en relación a la del aire fuera excesiva, lo que provoca un descenso de temperatura de la mezcla (aire/biogas), quedando abajo de la temperatura de compresión. La preignición provoca sacudidas en el motor lo que es inconveniente para su buen funcionamiento.

- Inspeccione con frecuencia la válvula de entrada del biogas y las respectivas tuberías, juntas, etc., pa-

ra que no haya accidentes por fuga del biogas.

- Manipule la válvula del biogas con delicadeza, sin abrirla o cerrarla bruscamente, evitando de esta manera un funcionamiento anormal, causado por la variación rápida de las cantidades de biogas admitidas por el motor.

- El motor debe ser mantenido en la misma carga siempre que sea posible, para evitar regulaciones frecuentes de la válvula de entrada del biogas, lo que interfiere con el funcionamiento del motor y baja su rendimiento.

REFLEXIONES Y D A C I O N E S

Las pruebas efectuadas en el motor utilizado en el presente trabajo son de dos tipos:

Pruebas de velocidad variable y pruebas de velocidad constante.

En las pruebas de velocidad variable, se abre al máximo la abertura del acelerador, ésto se logra aplicando carga al motor. Una vez que el motor está con el acelerador completamente abierto y a una determinada carga se procede a introducir más carga utilizando el regulador de campo, de tal forma que la velocidad del motor vaya disminuyendo, luego se van tomando mediciones de los parámetros para cada velocidad previamente establecida.

Para las pruebas a velocidad constante, se abre completamente la abertura del acelerador en base a la aplicación de carga al motor, se establece de antemano una velocidad fija para las pruebas. Luego se procede a disminuir la carga utilizando el regulador de campo, automáticamente aumentará la velocidad del motor, entonces se procede a

cerrar ligeramente la abertura del acelerador, hasta que el motor alcance la velocidad anteriormente establecida, procediéndose a la toma de datos, ésto se repite hasta que el motor alcance su velocidad mínima que está alrededor de 1800 RPM.

Como conclusión general en cuanto a las curvas obtenidas, podemos mencionar que si bien es cierto que los parámetros tales como potencia, cec, A/C. etc. encontrados tanto para la gasolina como el LPG, son mejores que los obtenidos con biogas, también es cierto que los dos primeros tienen mejores características en cuanto a su composición.

El biogas tiene aproximadamente 60% de CH_4 , que es el único combustible utilizable como tal en los motores. El CO_2 que ocupa el segundo lugar en la composición del biogas en volumen, diluye al CH_4 , disminuyendo su poder calorífico, lo cual no es ventajoso cuando se quiere utilizar el biogas en motores.

Desde este punto de vista los resultados de este trabajo son aceptables. Aún más, si de antemano sabemos que el motor utilizado en el presente trabajo no es muy eficiente debido a su tamaño (5 HP).

Para la alimentación del gas se utilizó un dispositivo que permite el paso de éste a través de un orificio que posee un diámetro determinado, y de acuerdo a la carga aplicada al motor, poder cambiar el diámetro, de tal forma que permita más o menos entrada de gas. El aire se lo regula por medio de una válvula de paso, y que luego trabaja en una posición fija, independientemente de la carga.

La utilización de una válvula reguladora de gas que funcione automáticamente, es necesaria. Una alternativa se da en este trabajo, que como vimos, consiste en una válvula mezcladora que funciona de acuerdo con la depresión que crea en la succión el motor, permitiendo más o menos entrada de gas hacia el cilindro de acuerdo a la posición de la mariposa la cual está gobernada por el control automático de velocidad que posee el motor.

La utilización del LPG se justifica en el presente trabajo debido a que el cec para biogas resultaba alto en comparación con datos de consumo referenciales. Al encontrar el cec para el LPG en forma experimental utilizando el mismo motor de pruebas para biogas, se encontró que el cec era lo normal 0.331 Kg/cvhr. Lo cual permitió concluir que el alto cec para el biogas radicaba en la composición del mismo.

Si bien es cierto que el biogas no presenta comodidades para la aplicación a motores, debido a su alto cec, hay que recordar también, que se lo puede tratar para reducir el contenido de CO; y así mejorar sus características y además en el lugar donde se lo produce se lo puede almacenar en grandes cantidades, comprimiéndolo, y así poder abastecer el consumo diario, y lo más importante de todo esto, es que el biogas está disponible sin costo alguno, exceptuando la construcción del digestor.

A continuación se resumen las contribuciones específicas del presente trabajo:

- En primer lugar, se ha demostrado que es factible la adaptación de un motor a gasolina, al uso de biogas con los inconvenientes propios encontrados a través del desarrollo de la presentetesis. Lo más importante consiste en que se ha mantenido la integridad del motor, en cuanto a la no alteración de sus mecanismos, tal como hubiese sido el caso de la adaptación de un carburador especial para biogas. Lo que se ha hecho aquí es utilizar un carburador normal para gasolina, y sin alteración alguna poder hacerlo trabajar con biogas.
- Debido a que el biogas contiene aproximadamente 60% de

Metano, presenta ciertas desventajas de operación con respecto a la gasolina, la cual es un combustible con mejores características que el biogas.

Esto se comprueba en el funcionamiento del motor. El motor al trabajar con biogas no soporta demasiada carga, tiende a operar con dificultades. La solución sería suministrarle mayor cantidad de biogas, pero esto no se lo puede realizar debido a que existe un volumen constante de aire-combustible dentro del cilindro del motor, y al introducirle más biogas lo que se hace es alterar dentro de grandes rangos la relación de mezcla, como consecuencia el motor se apaga. La cantidad de biogas necesaria para que el motor trabaje normalmente y a una determinada carga, es solicitada automáticamente por la depresión creada en la succión, ya que el motor dispone de uncontrol de velocidad constante. En el Capítulo VII, apartado 7.4, se recomienda que en lo posible el motor trabaje a una carga constante para que no se presenten estos inconvenientes.

El rendimiento de operación con el uso de biogas, corresponde a 13.3% (a velocidad variable). Para la gasolina el valor es de 16.6% (a velocidad variable).

La Tabla B.4 presenta un cálculo estimado con respecto al

consumo típico de energía, para diversos artefactos domésticos.

A P E N D I C E S

APENDICE AUTILIZACION DEL LPG EN EL MOTOR DE PRUEBAS(POWERLITE)

Los ensayos preliminares realizados en el banco PLINT, utilizando como combustible el biogas, daban como resultado que el motor tenla un excesivo cec, con respecto a datos de consumo dado por ciertos autores en libros y folletos sobre aplicación de biogas a motores de CI (ver manual de biogas; de la OLADE), que da un cec para motores alrededor de 0.41 a 0.51 m³/cvhr. En nuestro caso se obtuvo un cec alrededor de 0.7 a 0.8 m³/cvhr; lógicamente mucho mayor que el dato referencial.

Al haberse analizado la composición del biogas y deducirse que tiene aproximadamente un 60% de Metano en volumen, y siendo éste el único combustible utilizable como tal en el biogas, se pensó que podía ser una de las razones que estaba provocando un alto cec. A partir de esta presunción, seprocedió a alimentar el motor con LPG y obtener las curvas características. El sistema de alimentación de combustible fue similar al que se utilizó para el biogas.

La única variante consistió en que se utilizó una válvula

reguladora de presión entre la botella de LPG y la campana con sello de agua, la presión inicial en la botella era de 107 PSI.

Se realizaron las experiencias y se obtuvieron las curvas deseadas en función de los datos experimentales, las cuales se agregan a continuación. Los cálculos no varían mucho en relación a la forma de obtener los parámetros del motor. La única variante existente es en cuanto a la densidad del LPG, que debe ser con respecto al aire y que está en relación a la composición del mismo.

Estando el LPG compuesto básicamente de PROPANO y BUTANO, y según los valores de la gravedad específica para estos compuestos (Ver Tabla B.7), tomamos como dato para nuestros cálculos el siguiente valor

$$P_{lpg} = 1.6 P_{aire} \quad (A.1)$$

Realizaremos a continuación un ejemplo de cómo se obtienen los resultados en función de datos experimentales, pero antes hallaremos el valor para la masa de LPG, consumida en cada toma de datos.

Siendo la masa igual a:

$$m = v \cdot \rho \text{ lpg} \quad (\text{A.2})$$

Y conociendo de antemano que

$$v = 12.31 \text{ lt}$$

Ya que todas las mediciones son tomadas cada 0.5 dm. de altura de la campana (Ver Pág. 97).

La densidad del LPG, (tomando como composición 50-50% de propano-butano) será de 1.6 veces la densidad del aire en condiciones normales y viene dada por la relación

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{p}{p_0} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right) \quad (\text{A.3})$$

$$\rho = (1.6) (1.3) \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \left(\frac{1030 + 6}{1030} \right) \frac{\text{cm H}_2\text{O}}{\text{cm H}_2\text{O}} \left(\frac{273}{273 + 27} \right) \frac{^\circ\text{K}}{^\circ\text{K}}$$

$$\rho = 1.903 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Tomando a:

$$\left(\frac{p}{p_0} \right) \left(\frac{T_0}{T} \right) : \text{constante (factor de corrección para la densidad).}$$

Finalmentetendremos que:

$$m = (12.31 \times 10^{-3}) \text{ m}^3 \times 1.903 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = 23,425 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

Este es el dato diferente con respecto a los cálculos para otros diámetros, lo demás es similar

DATOS

Velocidad	3570 RPM
Carga al Freno	21 Newton
Tiempo	60.07 seg
Altura de campana	0.5 dm
Voltaje	212 v
Amperaje	6.9 A
Presión de Vacío (aire)	24 mm H ₂ O

RESULTADOS

CONSUMO DE COMBUSTIBLE.- Viene dado por:

$$\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} = \frac{84.33}{t}$$

Por lo tanto:

$$\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} = \frac{84.33}{60.07} = 1.40$$

POTENCIA.- Se la expresa por:

$$CV = \frac{N \times RPM}{36040} \times 1.36$$

$$CV = \frac{21 \times 3570}{36040} \times 1.36$$

$$CV = 2.82$$

CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE

$$cec = \frac{1.40 \text{ Kg/hr}}{2.82 \text{ cv}}$$

$$cec = 0.49 \frac{\text{Kg}}{\text{cvhr}}$$

POTENCIA ELECTRICA DISIPADA.-

$$Kw = V \times A / 1000$$

$$Kw = \frac{212 \times 6.9}{1000}$$

$$Kw = 1.46$$

TORQUE.-

$$T = N \times 0.265 \text{ (newton-metro)}$$

$$T = 21 \times 0.265$$

$$T = 5.56 \text{ newton-metro}$$

EFICIENCIA TERMICA.-

$$\eta_t = \frac{3.6 \times 10^6}{\text{cec} \times H1} \times 100(\%)$$

$$\eta_t = \frac{3.6 \times 10^6}{0.67 \times 45.84 \times 10^6} \times 100$$

$$\eta_t = 11.6\%$$

cec está en (Kg/kwhr)

TABLA A.1DATOS DE LA PRUEBA CON LPGVELOCIDAD VARIABLE

RPM	TORQUE (newt)	TIEMPO (seg)	H (dm)	VOLTAJE (v)	AMPERAJE (a)	AIRE mmH ₂ O
3570	21	60.07	0.5	212	6.9	24
3400	21	60.05	0.5	210	6.9	22
3300	21.5	60.09	0.5	211	6.8	21
3080	21	60.14	0.5	200	6.5	19
2780	20.7	60.16	0.5	192	6.2	15.5
2560	21.5	60.19	0.5	191	6.1	14
2330	23	60.27	0.5	188	6.1	12
2110	23.5	60.30	0.5	183	5.9	10.5

TABLA A.1-1RESULTADOS DE LA PRUEBA CON LPGVELOCIDAD VARIABLE

cc Kg/hr	Pot. CV	cec Kg/cvhr	*Pot. Kw	T n-m	fa Kg/hr	ηt %	A/C
1.402	2.82	0.497	1.46	5.5	12.9	11.6	9.2
1.403	2.69	0.521	1.44	5.5	12.3	11.0	8.8
1.402	2.67	0.525	1.43	5.6	12.1	10.9	8.6
1.401	2.44	0.574	1.30	5.5	11.5	10.0	8.2
1.400	2.17	0.645	1.19	5.4	10.3	8.9	7.4
1.400	2.07	0.676	1.16	5.6	9.8	8.5	7.0
1.398	2.02	0.692	1.14	6.0	9.1	8.3	6.5
1.397	1.87	0.747	1.07	6.2	8.5	7.7	6.1

CURVAS CARACTERISTICAS PARA EL PROPANO

VELOCIDAD VARIABLE

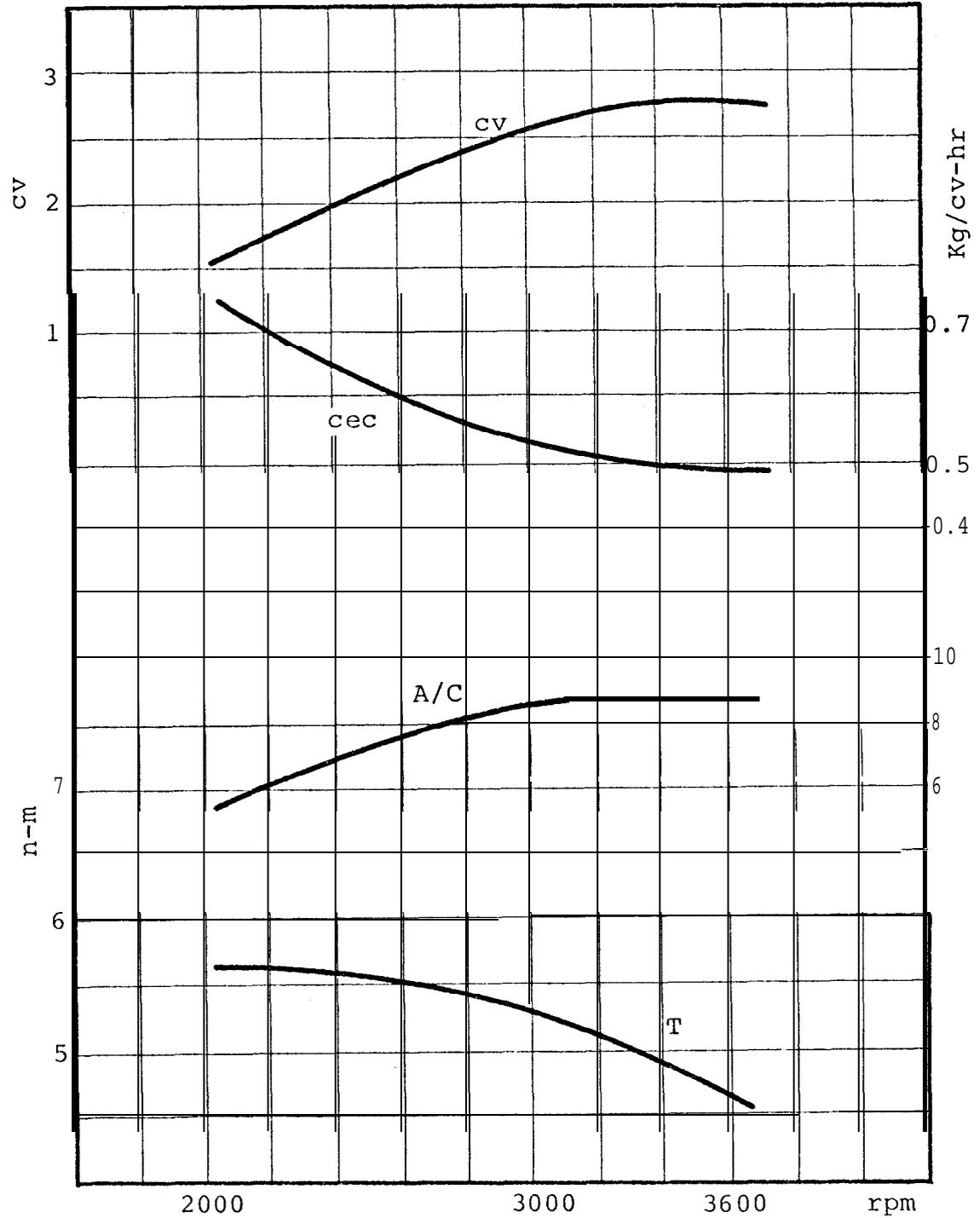


TABLA A.2

DATOS DE LA PRUEBA CON LPG

VELOCIDAD CONSTANTE

RPM	TORQUE (newt)	TIEMPO (seg)	H (dm)	VOLTAJE (v)	AMPERAJE (a)	AIRE mm H ₂ O
2500	24.3	120	0.5	225	5.3	16.3
	22.5	120.03	0.5	218	5.1	14.8
	20.3	120.07	0.5	211	4.9	12.4
	17.2	120.17	0.5	204	4.5	10.3
	15.2	120.24	0.5	191	4.2	8.2
	12	120.39	0.5	164	3.6	6.3
	9.5	120.25	0.5	145	3.2	5

TABLA A.2-2

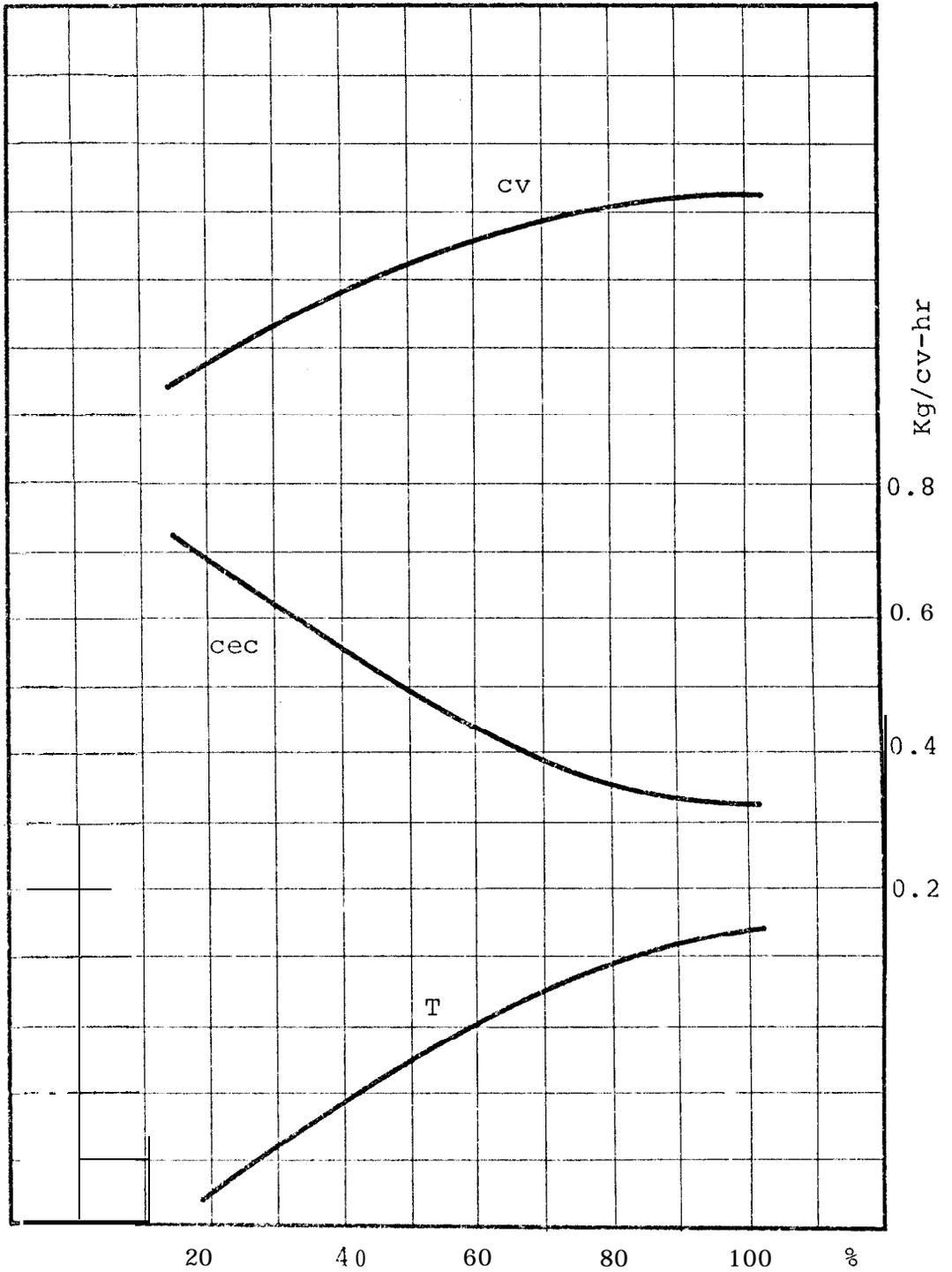
RESULTADOS DE LA PRUEBA CON LPG

VELOCIDAD CONSTANTE

cc Kg/hr	Pot. cv	cec Kg/cvhr	*Pot. Kw	T n-m	fa Kg/hr	nt %	A/C
0.702	2.29	0.306	1.19	6.4	10.6	18.8	15.1
0.702	2.12	0.331	1.11	5.9	10.1	17.4	14.4
0.701	1.91	0.432	1.03	5.3	9.2	13.3	13.2
0.701	1.62	0.432	0.91	4.5	8.4	13.3	12.0
0.700	1.43	0.489	0.80	4.0	7.5	11.8	10.8
0.699	1.13	0.618	0.59	3.1	6.6	9.3	9.4
0.700	0.89	0.781	0.46	2.5	5.9	7.3	8.4

CURVAS CARACTERISTICAS PARA EL PROPANO

VELOCIDAD CONSTANTE



APENDICE BCARTAS Y TABLAS ADICIONALES

TABLA B.1

PODER CALORIFICO DEL BIOGAS
Y DE OTROS COMBUSTIBLES NO GASEOSOS

COMBUSTIBLE	Kcal/Kg	EFICIENCIA	Kcal/Kg efectivos
Biogas	6920-7980	60 %	4150-4800
Coque	5852-6400	28 %	1640-1800
Carbón de piedra	6650-7450	28 %	1860-2090
Leña	3750-4550	17.3 %	650-785
Kerosene	10400	48 %	5000
Diesel	10100		-

FUENTE: Manual de Biogas: OLADE, Guatemala 1981

TABLA B.2

PODER CALORIFICO DEL BIOGAS
Y OTROS GASES COMBUSTIBLES

<u>Gas Combustible</u>	<u>(Kcal/m³)</u>
Biogas	4650-6000
Metano	8000-9150
Gas Natural	9000-19000
Propano	19000-22500
Butano	25000-29000

FUENTE: Manual de Biogas: OLADE, Guatemala 1981

TABLA B.3CAPACIDAD DE UNA INSTALACION DE BIOGAS

Volumen de Biogas producido diariamente m ³	Ganado requerido NQ
2	2-3
3	3-4
4	4-6
6	6-10
8	12-15
10	16-20
15	25-30
20	35-40
25	40-45
35	45-55
45	60-70
60	85-100
85	110-140
140	400-450

FUENTE: Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 1977

TABLA B.4

CONSUMO TIPICO DE POTENCIA
PARA DIVERSOS ARTEFACTOS DOMESTICOS

A R T E F A C T O	**Tiempo útil/día Hr	*Potencia consumida Watt	Kwhr/día
Refrigerador 12'	6	241	1.44
Radio	4	110	0.44
Máquina de coser	2	75	0.15
Televisión BN	4	287	1.14
Calentador de agua (zona fría)	1	1000	1
Bomba de agua	1	460	0.92
Plancha	1	1080	1.08
TOTAL		3.26 Kw	6.17

FUENTE: Energy Electric Power and Man, Timothy J. Healy, Boyd & Fraser, 1974.

** Estimación hecha por el autor de la presente tesis.

TABLA B.5

CARACTERISTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

GASEOSOS

Combustible	Peso específico a 15° y presión de 760 mm Hg	Poder calorífico inferior		Aire teórico de combustión		Tonalidad térmica a 0°	N.º de octano (Res-zarch)
	kg/m³	Ca/m³	Cs/kg	m³/m³ de gas	kg/kg de gas	Ca/l de mezcla	N. O.
Metano al 97 %	0,740	8300	11200	9,5	17,4	0,820	~ 125
Propano	1,81	19500	11000	24	13,8	0,509	~ 12,5
Butano	2,38	25000	10900	31	16,3	0,870	~ 93
Propano } Butano }	2,06	22600	10950	27,5	16,1	—	~ 100
Gas de alumbrado (Berlín 1940)	0,660	3600	10950	5,1	8	0,800	~ 50
Gas de gasógeno	1,0+1,2	1000+1400	650+1250	10,0+1,2	0,95+1,4	0,500+0,600	~ 90
Gas de coque ...	0,425 (*)	4200	—	—	—	—	~ 90

(*) Comprimido en fase gaseosa a 200 kg/cm³.

FUENTE: Motores Endotérmicos. Dante Giacosa,
Barcelona 1970.

CARACTERISTICAS DE LOS COMBUSTIBLES LIQUIDOS

Combustible	Poder antidetonante	Temperatura de destilación a 760 mm Hg	Tensión de vapor a °C	Calor de vaporiza- ción	Poder calorífico inferior		Aire teórico por comb.	Tonali- dad térmica a °C	Peso específico a 15° C
	N.O.	° C	mm Hg	Cal/kg	Cal/kg	Cal/l	kg/kg	Cal/l	kg/dm ³
Carburante de aviación	80÷115 (M. M.)	75÷200	0,55 (Reid)	~ 75	10400	7650	15,5	~ 0,890	0,760÷0,765
Combustibles para turbomo- tores	—	150÷300	—	—	10300	8100	—	—	0,739÷0,825
Carburantes de automóvil:									
{ Normal (CUNA NC 620-01)	83 min (R. M.)	30÷205	0,70 (ver.) 0,55 (inv.) (Reid)	~ 75	10400	7650	15,5	~ 0,890	0,765÷0,770
{ Supercarburante (CUNA NC 623-01)	92 min (R. M.)								
Benzol puro	~ 100	50	28	95	9600	8400	13	0,923	0,875
Alcohol etílico 100 %	~ 100	78,3	12,7	230	6550	5200	9	0,919	0,795
Alcohol metílico 100 %	> 100	64,7	29	278	4500	3600	6,5	0,932	0,795
Petróleos para la agricultura (CUNA NC 627-01)	32 min (M. M.)	150÷300	—	—	10300	8200	14	0,920	0,790÷0,835
Gasoil (CUNA NC 630-01)	N. C. 47 min	200÷370	—	—	10200	8500	14	0,930	0,840÷0,890
Petróleos pesados	—	—	—	—	9000	8700	14	0,930	0,890

FUENTE: Motores Endotérmicos. Dante Giacosa, Barcelona 1970.

CONSTANTES FISICAS DE LOS HIDROCARBUROS

HIDROCARBURO	METANO	ETANO	PROPANO	BUTANO	PENTANO	HEXANO	HEPTANO	OCTANO
FORMULA	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₇ H ₁₆	C ₈ H ₁₈
PESO MOLECULAR	16.043	30.070	44.097	58.124	72.151	86.178	100.205	114.232
GRAVEDAD ESPECIFICA (como líquido)	0.3	0.3564	0.5077	0.5844	0.6310	0.6640	0.6882	0.7068
GRAVEDAD ESPECIFICA (como gas), aire = 1*	0.5539	1.0382	1.5225	2.0068	2.4911	2.9753	3.4596	3.9439

FUENTE: Engineering Data Book, 9th Edition, 1972
 (The Properties of Petroleum Fluids, Mc Cain, Willian D, 1973)

TABLA B.8

RELACIONES DE UNIDADES

	Btu	pie-lb	hp-hr	Joules	Kcal	Kw-hr
Kg	8.521 $\times 10^{13}$	6.629 $\times 10^{16}$	3.348 $\times 10^{10}$	8.987 $\times 10^{16}$	2.147 $\times 10^{13}$	2.497 $\times 10^{10}$
cv-hr	2509.55	1.952 $\times 10^6$	0.986	2.647 $\times 10^6$	6.324 $\times 10^2$	0.735

*2544	Btu/hp-hr	3412.2	Btu/Kw-hr
42.4	Btu/hp-min	860	Kcal/Kw-hr
10.4	Kcal/cv-min	632.5	Kcal/cv-hr
33000	$\frac{\text{pie-lb}}{\text{hp-min}}$	737.562	$\frac{\text{pie-lb}}{\text{Kw-seg}}$
550	$\frac{\text{pie-lb}}{\text{hp-seg}}$	102	$\frac{\text{Kgm}}{\text{Kw-seg}}$
3600	KJ/Kw-hr	1	Joule/w-seg

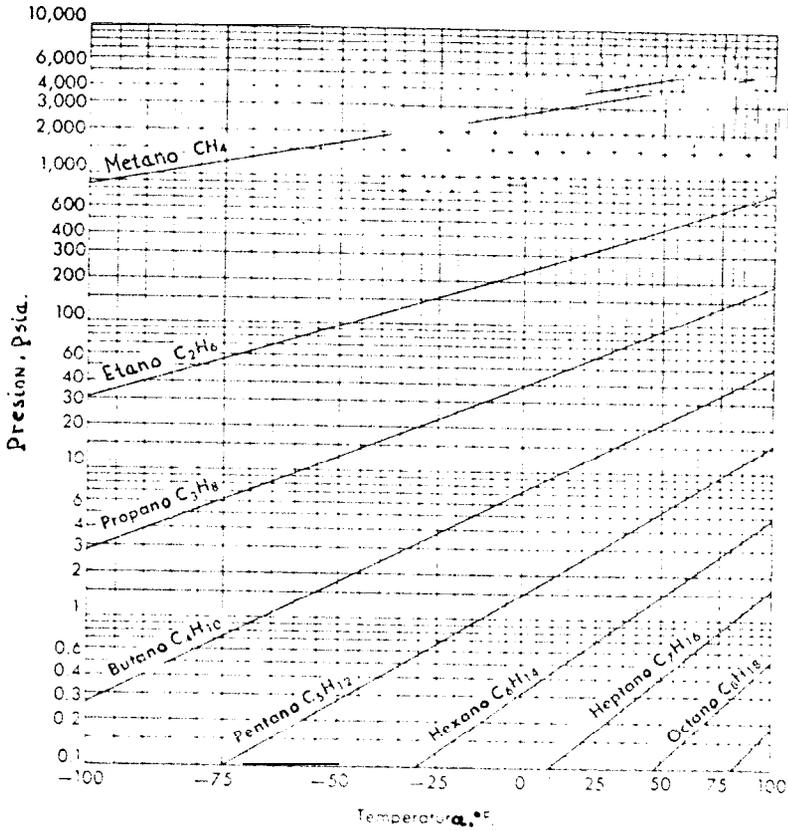
*1 hp-hr = 2544 Btu

FUENTE: Termodinámica. V. Faires, UTHEA, 1973

Física, Resnick, Halliday, CECSA, 1973.

GRAFICO B.1

PRESION NORMAL DE VAPOR, DE VARIOS COMPUESTOS



Fuente: The Properties of Petroleum Fluids
Willian D., McCain, Jr. 1973.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ARIAS, PAZ. Manual de Automóviles, Madrid, Dossat S.A., 1980-81.
- 2.- CASTRO, VICENTE MIGUEL DE. Carburadores, Barcelona, CEAC S.A., 1971.
- 3.- ENCICLOPEDIA CEAC DEL MOTOR Y AUTOMOVIL. Teoría y Técnica del Automóvil, Barcelona 3a. Ed., 1972.
- 4.- ENCICLOPEDIA CEAC DEL MOTOR Y AUTOMOVIL. El motor de gasolina, Barcelona, 3a. Ed. 1972.
- 5.- FRY, L. JOHN. Methane Digester for Fuel Gas and Fertilizer, L. John Fry, California, 1973.
- 6.- GIACOSA, DANTE, Motores endotérmicos, Barcelona, Científica Médica, 3a. Ed., 1970.
- 7.- KIRK-OTHMER. Enciclopedia de Tecnología Química, Tomo 2 México D.F., UTHEA, 1961.
- 8.- McCAIN, WILLIAN D. The Properties of Petroleum Fluids, Pennwell Publishing Company, 1973.
- 9.- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes, Washington, D.C. 1977.
- 10.- OBERT, EDWARD F., Motores de Combustión Interna, Continental S.A., México D.F. 1979.

- 11.- OLADE. Manual de Biogas, OLADE, Guatemala, 1981.
- 12.- PERRY, JOHN. Manual del Ing. Químico, Tomo 2, UTHEA, México D.F., 1959.
- 13.- TODT,FRITZ. Corrosion y Protección, Aguilar, Madrid, 1959.
- 14.- TAYLOR,CHARLES FAYETTE. The Internal Combustion Engine International Texbook Co., Scrawton, 1961.