

662.74
C 822
c.2



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería Mecánica



**“USO DE GAS DE CARBON VEGETAL EN
UN SISTEMA MOTOR-BOMBA”**

PROYECTO DE GRADO
Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentado por:
Geovanny Neptali Coronado Dominguez

Cuayaquil - Ecuador
1990

AGRADECIMIENTO

Al PHD. ALFREDO BARRIGA RIVERA,
Director del Típico de
Graduación, por su valiosa
colaboración para la
culminación de este proyecto.

Al INE, por su colaboración.

Al CETE, por las facilidades
prestadas para la elaboración
de este proyecto.



BIBLIOTECA

DEDICATORIA

A MIS PADRES, quienes en todo momento supieron apoyarme para poder culminar mi carrera profesional.

A MIS HERMANAS



BIBLIOTECA

DECLARACION EXPRESA

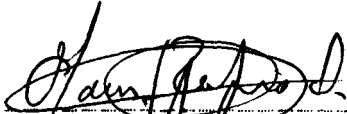


"La responsabilidad por los hechos ideas y doctrinas expuestas en este PROYECTO DE GRADO, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Tópico de Graduación).

a


.....
GEOVANNY CORONADO DOMINGUEZ



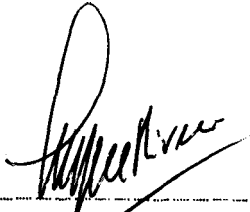
Ing. Marcos Tapia Q.

SUBDECANO DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA MECANICA



FHD. Alfredo Barriga R.

DIRECTOR
TOPICO DE GRADUACION



Ing. Jorge Duque

MIEMBRO PRINCIPAL
DEL TRIBUNAL



Ing. Mario Patifo

MIEMBRO PRINCIPAL
DEL TRIBUNAL



BIBLIOTECA

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo, es el de usar como combustible gas de carbón vegetal, en un motor monocilindrico de Ciclo de Otto y el de aprovechar la energía mecánica desarrollada en éste, mediante un sistema de transmisión de poleas y banda, en una bomba la que finalmente servirá para bombeo de agua. Se hacen recomendaciones para recuperar potencia del motor cuando opera con Gas Pobre en futuros trabajos.

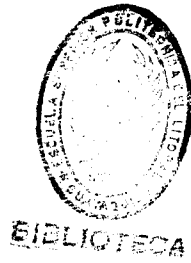
Uno de los primeros trabajos dentro de este proyecto fue el de analizar los elementos que componen el gas de carbón vegetal (Gas-Pobre), ya que con estos resultados podemos darnos cuenta si el gas está o no apto para que ingrese al motor y finalmente pueda ser combustionado.

Se realizaron pruebas experimentales de bombeo con gasolina y gas pobre, con la finalidad de obtener las curvas características del sistema motor-bomba para poder realizar ciertas comparaciones y evaluar que tan óptimo es el sistema.

Cabe destacar que en este trabajo, en lo que tiene que ver con el motor, no se realizó, cambió alguno a excepción de la admisión del combustible.

Se incluyen pruebas de banco, operando el motor con

gasolina de velocidad variable y constante, su procedimiento, guía de cálculos y resultados se presentan en el apéndice A.



INDICE GENERAL

Pag.

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

ABREVIATURAS

INTRODUCCION

CAPITULO I GENERALIDADES

1.1 Objetivos

1.2 Alcance del proyecto

1.3 Importancia del proyecto

CAPITULO II ASPECTOS TECNICOS

2.1 Conjunto gasificador

2.2 Motores de combustion interna

2.3 Bomba Centrífuga.

CAPITULO III GAS-POBRE COMO COMBUSTIBLE PARA MOTORES

3.1 Posibilidades de usar gas pobre en
motores.

3.2 Potencia desarrollada por un motor
usando gas-pobre.

CAPITULO V RESULTADOS

5.1 Resultados de bombeo, motor operando con gasolina.

5.2 Resultados de bombeo, operando el motor con gas-pobre.

5.3 Gráficos de bombeo, motor operando con gasolina.

5.4 Gráficos de bombeo, motor operando con gas pobre.

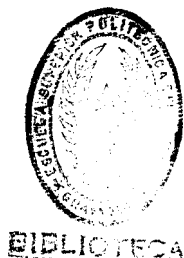
5.5 Gráficos de bombeo, motor operando con gasolina y gas-pobre.


5.6 Tabla de comparación de diferentes características, del motor y la bomba.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

APENDICES

BIBLIOGRAFIA





INDICE DE FIGURAS

Fig.	Pag.
2.1	Ciclo de admisión y compresión del motor
2.2	Ciclo de expansión y escape del motor
2.3	Bomba centrífuga, con aspiración simple y con un sólo rodete.
2.4	Corte de una bomba autocebante
2.5	Sistema de alimentación y control del gas-pobre.
2.6	Carburador de un motor monocilíndrico
2.7	Mezclador de gas-pobre/aire, con los acoples respectivos.
3.1	Influencia de la relación de compresión sobre la eficiencia térmica.
3.2	Requerimiento de octanaje para combustión sin perturbación para varias relaciones de compresión.
3.3	Decrecimiento del valor energético del gas-pobre en función del exceso o deficiencia de aire.
3.4	Incremento de potencia de un motor a gasolina con relación de compresión no modificado 1: 4.5 y de motor a gasolina

con relación de compresión modificada 1: 7.5 en función de La velocidad. Ambos casos usan gas pobre.

4.1 Equipo para analizar gases, aparato de Orsat.

4.2 Instrumentación utilizada para la prueba de bombeo.

4.3 Tanque para medicibn de caudal, tuberías hacia la sisterna y el tanque.

4.4 Vista de la planta de gasificación con instrumentación instalada.

4.5 Motor-bomba, tubería de succión y descarga, entrada de aire al motor.

4.6 Sistema de acoplamiento entre motor-bomba con polgas y banda.

5.1 Curva eficiencia volumétrica vs. caudal (gasolina).

5.2 Consumo de combustible vs. caudal (gasolina)

5.3 Consumo específico de combustible vs. caudal (gasolina).

5.4 Cabezal dinámico total vs. caudal (gasolina).

5.5 Potencia hidráulica vs. caudal (gasolina).

- 9.6 Presión de succión vs. caudal.
- 5.7 Cabezal dinámico total, consumo de combustible, eficiencia volumétrica vs. caudal (gas-pobre).
- 5.8 Consumo específico de combustible vs. caudal (gas-pobre).
- 5.9 Potencia hidráulica vs. caudal (gas-pobre).
- 5.10 Cabezal dinámico total vs. caudal; para gasolina y gas-pobre.
- 5.11 Potencia hidráulica vs. caudal; para gasolina gas-pobre.
- 5.12 Consumo de combustible vs. caudal; para gasolina y gas pobre.
-
- B.1 Figura para poder **medir** el consumo de aire.
- B.2 Figura para medir el consumo de combustible.



BIBLIOTECA

INDICE DE TABELAS

TABLA

Pag.

- 3.1 Valor energético y demanda estequiométrica de oxígeno de los componentes del gas-pobre.
- 3.2 Octanajes de los componentes del gas-pobre.
- 4.1 Elementos que componen el gas-pobre de carbon vegetal (gasificador concurrente).
- 4.2 Elementos que componen el gas en la desrarga luego de haberse combustionado el gas-pobre en el motor.
- 4.3 Propiedad de la gasolina y gas-pobre.
- 4.4 Datos de bombeo con gasolina, 3500 rpm.
- 4.5 Datos de bombeo con gasolina, para distintas velocidades.
- 4.6 Datos de bombeo con gas pobre.
- 5.1 Resultados de bombeo con gasolina a 3500 rpm.
- 5.2 Resultados de bombeo con gasolina, para distintas velocidades.



5.3 Resultados de bombeo con gas-pobre.

5.4 Comparación de diferentes características cuando el balancín regulador de velocidad del motor, se autoregula.

5.5 Comparación de diferentes características, cuando el motor opera aproximadamente la misma velocidad.

A.1 Datos de la prueba con gasolina a velocidad variable.

A.2 Resultados de la prueba con gasolina a velocidad variable.

A.3 Datos de la prueba con gasolina a velocidad constante.

A.4 Resultados de la prueba con gasolina a velocidad constante.



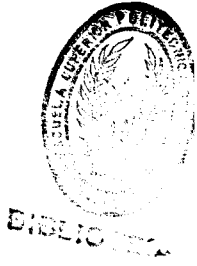
BIBLIOTECA

ABKEVIATUKAS



- ca..... Consumo de aire.
- cc.Consumo de combustible.
- cec.. .. Consumo específico de combustible.
- CH4.... Metano.
- CO..... Monóxido de carbono.
- d..... Diámetro del tanque de medicibn del caudal.
- D..... Diámetro del orificio de entrada de aire al tanque medición de aire del banco de pruebas.
- F..... Fuerza.
- g..... Aceleración de la gravedad.
- H2..... Hidrbgeno.
- hca.... Lectura del manómetro inclinado del tambor.
- hcc.. .. Lectura del rotámetro.
- Hg.. ... Contenido energético de la mezcla estequiométrica.
- ho..... Lectura del manómetro inclinado del tambor, banco de pruebas.
- Hw..... Cabezal dinámico total.
- l..... Brazo de torque.
- lf.,,.. Lectura del nivel final del agua en el tanque de medición.
- li..... Lectura del nivel inicial del agua en el tanque de medición.
- M.. Peso molecular.

ma/c... Relación aire/combustible.
N..... Número de moles.
Ns..... Velocidad específica.
Nt..... Eficiencia térmica.
Nvm.... Eficiencia volumétrica del motor.
Pa..... Presión atmosférica.
PCI.... Poder calorífico inferior.
Pd..... Presión de descarga al tanque de medición.
P'd.... Presión de descarga a la sisterna.
Ph..... Potencia hidráulica.
pmef... Potencia media efectiva al freno.
Pot.... Potencia.
Ps..... Presión de succión al tanque de medición.
P's.... Presión de succión a la sisterna.
Q..... Caudal, flujo de agua.
T..... Torque.
t..... Tiempo de llenado entre li-1f, en el tanque de
medición.
-1a.... Temperatura atmosférica.
v..... Volumen de combustible.
VCO.... Cantidad de volumen de monóxido de carbono en el
gas.
VH2.... Cantidad de volumen de hidrógeno en el gas.
VCH4... Cantidad de volumen de metano en el gas.
T..... Densidad.



INTRODUCCION

La primera investigación de la cual se tiene noticia sobre gasificadores, se realizó en Francia en 1785 por Lebon. Sin embargo la mayoría de los desarrollos iniciales con gasógenos portátiles se dieron en Inglaterra (3).

Los primeros motores de combustión interna se proyectaron y construyeron para quemar gas producido en gasificadores. El primer motor de combustión interna fue patentado por Lenoir en Bélgica en 1860. Usando gas de carbón como combustible Nickolas Otto construyó su primer motor de cuatro tiempos, en 1876, usando también gas de carbón como combustible básico.

*

En Europa, además de Suecia que no interrumpió sus investigaciones con gasógenos para vehículos, Francia ha presentado trabajos recientes sobre gasificadores para motores. USA ha realizado trabajos varios con diferentes universidades y firmas privadas (5). En nuestro País se vienen estudiando y experimentando algunos años con gasificadores siendo ésta la primera ocasión en la que se utilizó gas-pobre en motores de combustión interna.

Este trabajo se origina por un interés de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), a través del

Centro Experimental de Tecnología Energética (CETE), el Instituto Nacional de Energía (INE) y de interés personal. El mismo que servirá de complemento/apoyo para las investigaciones que se han realizado, como las que se seguirán realizando en el campo de la gasificación y aprovechamiento del gas, sea en motores ciclo Otto o diesel, turbinas a gas, moto-bombas, generación de energía eléctrica, etc.

NOTA: Este trabajo es parte de un proyecto, el mismo que tiene que ver con el análisis del gasificador, tren de limpieza y aplicación del gas obtenido.



CAFITULO I
GENERALIDADES



1.1 OBJETIVOS

Teniendo en cuenta que en los motores de combustión interna, en nuestro País el principal combustible que se utiliza son derivados del petróleo. Este recurso natural, que no es renovable y que se tiene proyecciones estadísticas en nuestro País para una duración de unos 10 años, de aquí se pasará de país exportador a importador de petróleo; trayendo consecuencias no muy fáciles de predecir, pero si se puede predecir a priori un alza de los precios de los combustibles derivados del petróleo.

En vista de esto se esta buscando nuevas fuentes de energía, una de ellas es usar combustibles, provenientes de recursos naturales renovables y de bajo costo, es así que se a planteado como objetivo principal: EL USO DE GAS DE CARBON VEGETAL EN UN MOTOR MONOCILINDRICO ENCENDIDO POR CHISPA DE CUATRO TIEMPOS.

Otro de los objetivos secundarios es el de aprovechar la energía mecánica desarrollada por el eje del motor, mediante poleas y banda, transmitiendo esta

energía a una bomba centrífuga autocebante, para bombear agua.



1.2 ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto consta de las siguientes etapas:

- Análisis de los componentes combustibles y no combustibles del gas-pobre de carbón vegetal.
- Obtención de las curvas características del sistema motor-bomba, operando con gasolina y gas pobre.

1.3 IMPORTANCIA DEL PROYECTO

Este proyecto es importante por:

- Se refiere al desarrollo tecnológico en la aplicación de gas-pobre en motores de combustión interna, que para nuestro caso se lo usa en un sistema motor-bomba, pero también puede ser aplicado en vehículos, tractores, generación de energía eléctrica como también en turbinas a gas, etc. La investigación dentro de este campo daría como resultados a construir equipos y/o partes del sistema total en serie, en talleres locales sin mucha dificultad.
- Otra de las razones es de tipo socio-económico. En nuestro país, como en muchos países de América Latina, se da el uso de la biomasa forestal como algo tradicional y se consume sobre todo en forma

de leña y de carbón, representando un alto porcentaje de energía.

Debe considerarse también que el uso de la leña para transformarse en carbón debe ser realizado bajo un programa de reforestación adecuado, para no perjudicar el medio ambiente, y siempre tener recursos con que contar a disposición y totalmente económicos.

- En nuestro país, este proyecto, actualmente puede ser aplicado en la región amazónica ya que los precios de los combustibles derivados del petróleo son muy elevados o en las regiones rurales donde se necesita irrigación, prestando un servicio eficaz y económico al pequeño y grande agricultor.



BIBLIOTECA

CAFITULO II

ASPECTOS TECNICOS

2.1 CONJUNTO GASIFICADOR

El conjunto gasificador es compuesto basicamente de:

- a) Generador de gas
- b) Ciclón
- c) Enfriador o refrigerador
- d) Sistema de purificación de los gases
- e) Condensador de vapor de aqua
- f) Sistema de alimentación y control

Un gasificador esta compuesto de las siguientes partes: •

- Entrada de aire y salida del gas generado
- Depósito, dande queda todo el combustible sólido a ser . alimentado al reactor durante el funcionamiento.
- Reactor, donde ocurren las transformaciones físico-químico y químicas.

El proceso de gasificación consiste en una transformación termoquímica de cualquier materia sólida de origen orgánico en gas. El mismo que se compone de gases combustibles taler; como: monóxido de

carbono (CO), hidrógeno (H₂), metano (CH₄), y gases no combustibles como: bióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O) y nitrógeno.

Estos gases se pueden obtener en gasificadores: alotérmicos, autotérmicos, de flujo concurrente, de flujo contracorriente, de flujo cruzado y lecho fijo.

Para el presente proyecto el gasificador utilizado es el de flujo concurrente, el mismo que se caracteriza, porque el combustible sólido (carbón vegetal) y los gases generados se mueven en la misma dirección y en general hacia abajo (downdraft).

La limpieza del gas producido en el gasificador antes de entrar en el motor, tiene que ser limpiado y enfriado, pues las impurezas contenidas en el gas causarán mucho daño en el cilindro del motor disminuyendo la vida útil del mismo. (3)

FUNCIONAMIENTO DEL GASIFICADUR. - Existen dos maneras de iniciar el proceso de generación de gas: (3)

a) A través de ventiladores, succionadores o cualquier equipo capaz de hacer circular aire en el lecho donde se procesa la generación de gas. Esto permite que el motor opere desde su partida sin el auxilio de otro combustible.

b) Haciendo uso de otro combustible auxiliar, de

manera que la propia succión del motor realice la circulación de aire en el lecho del gasificador, necesaria para la generacibn de gas.

El combustible auxiliar es utilizado hasta que se consiga una generacibn de gas, capaz de suplir la demanda solicitada por el motor. El tiempo empleado en este proceso puede variar normalmente de 3 a 7 minutos.

El gas proveniente del gasificador es el combustible y necesita de una posterior mezcla con un comburente, que es el aire atmosférico. Esta mezcla es hecha antes de que ésta llegue hasta el motor, la misma que es controlada por el operador, no necesitando para esto de gran habilidad.

Enseguida se coloca el motor en funcionamiento. De ahí en adelante, la generacibn del gas está en función de la demanda del motor, siendo ella tanto mayor cuanto mayor sea lo solicitado por el motor. La respuesta del gasógeno es casi instantanea en los aumentos de la demanda.

El funcionamiento de un motor movido a gas de carbón vegetal es estable, sin trepidaciones o fallas, esto sucede porque la perfecta carburación del gas es más fácil que la de los combustibles líquidos que necesitan de una vaporizacibn que ocurre en el

carburador y se completa en la entrada de la válvula de admisión e interior del cilindro, también caliente, mientras no exista este calentamiento podrán ocurrir fallas.

CUIDADOS A TENER EN CUENTA PARA UN BUEN FUNCIONAMIENTO DEL GASIFICADOR-MOTOR.- Los cuidados que se deben tomar muy en cuenta para poder obtener un buen rendimiento del gasificador, una buena calidad de gas, el mismo que hará que el motor funcione más establemente por un tiempo mayor, son:
(1)

- Usar carbón con una humedad inferior a un 7%
- Usar carbón excepto de impurezas (sílice, etc)
- Granulometría del carbón entre 5 y 25 mm.
- Usar carbón de buena calidad (carbonización completa).
- Mantener siempre limpio el gasificador, lecho, filtros, intercambiador de calor, ciclón, etc.
- Ajustar correctamente la mezcla de combustible y comburente (gas y aire).
- Verificar el cierre perfecto de las tapas del gasificador, tren de limpieza y purificación del gas.
- Cuando trabaje el motor, éste debe estar siempre en buenas condiciones de funcionamiento.

2.2 MOTORES DE COMBUSTION INTEKNA

Un motor de combustión interna (CI), consta esencialmente de un cilindro, un émbolo y una manivela. El combustible que se quema dentro del cilindro y al expandirse los productos gaseosos de la combustión se realiza trabajo, el movimiento rotatorio se consigue por medio de la manivela.

Estos motores endotérmicos son máquinas que tienen como objeto transformar la energía calorífica en energía mecánica directamente utilizable. La energía calorífica es obtenida de la combustión de combustible líquidos o más raramente gaseosos. Se puede decir, por tanto, que los motores endotérmicos transforman en energía mecánica, esto es, en trabajo útil la energía química del combustible.

Se llaman motores endotérmicos o de CI, ya que la combustión se verifica en el fluido operante (interno), el cual está inicialmente constituido por una mezcla de combustible y combut-ente (aire) que experimenta después una serie de transformaciones, a consecuencia de la reacción de la combustión. (22)

CICLOS MECANICOS

Ciclos es una serie de operaciones después de las cuales el aparato o substancias, vuelven

periódicamente a un determinado estado o configuración. En los MCI el ciclo mecánico puede completarse con una revolución (ciclo de dos tiempos), o en dos revoluciones (ciclo de cuatro tiempos). En los motores de ciclo Otto, el combustible y el aire se mezclan en el carburador y la mezcla se inflama mediante una chispa causado por la bujía; entre los motores de ciclo diesel, el combustible es inyectado mediante una bomba o por aire comprimido, y se inflama por el calor de compresión. Ninguno de ellos cumple completamente el ciclo termodinámico para el cual fueron proyectados, en realidad un MCI no trabaja según un ciclo termodinámico, porque el medio no vuelve al punto-estado original, sino que es evacuado a través del escape, una nueva carga de medio es introducido en el cilindro. (12)

FRINCIFIOS DEL MOTOR CON CICLO DE CUATRO TIEMFOS

El motor con ciclo de cuatro tiempos denominado también motor Otto en honor de su inventor, se llama así porque su émbolo o pistón efectúan cuatro carreras, dos ascendentes y dos descendentes en el interior del cilindro durante un ciclo de operación. Con el tiempo tal designación se ha abreviado a la de "motor de 4 tiempos", que es el término que se utilizará con mayor frecuencia, cada uno de los

cuatro recorridos efectuados por el pistbn en un ciclo de trabajo tiene una funci3n espec3fica y necesaria. Tales recorridos se llaman carreras de:

ADMISION (o aspiraci3n) (fig. 2.1 a). Carrera descendente durante la cual la mezcla de aire y combustible del carburador entre al cilindro pasando por la v3lvula de admisi3n abierta.

COMPRESION (fig. 2.1 b). Carrera ascendente durante la cual la v3lvula de admisi3n y la de escape permanecen cerrados y el cilindro perfectamente cerrado. la mezcla de aire y combustible se comprime fuertemente hasta que alcanza un peque1o volumen en la parte superior del cilindro. La chispa se produce inmediatamente antes de que el pistbn llegue al punto muerto superior (PMS) de la carrera de compresi3n.

•

POTENCIA (o combusti3n y expansi3n) (fig. 2.2 a). La chispa el3ctrica hace que se encienda la mezcla de aire y combustible y se queme muy r3pidamente (proceso de combusti3n, no de explosi3n). La repentina expansi3n de los gases calientes impulsa al 3mbolo hacia abajo con rapidez haciendo girar al cig1ue1al mediante la biela. Ambas v3lvulas cerradas durante esta carrera de fuerza o potencia.

ESCAPE (o expuls3n) (fig. 2.2 b). Carrera ascendente durante la cual los gases de la combusti3n

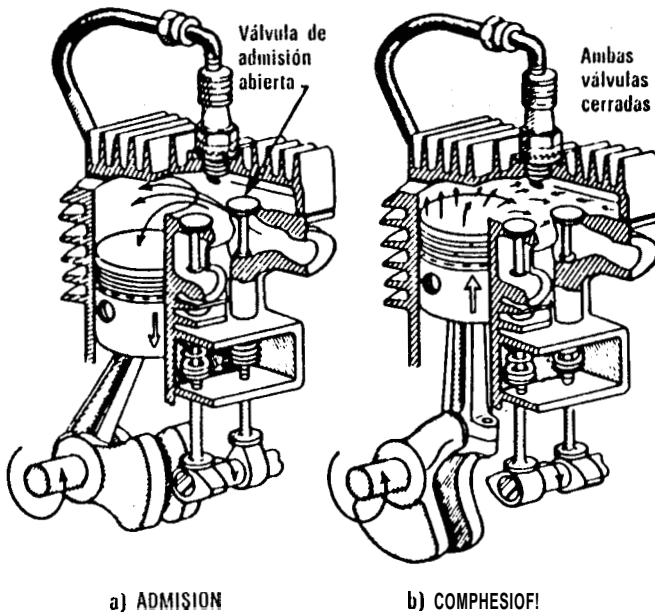


Fig. 2.1 Ciclos de admisión y compresión

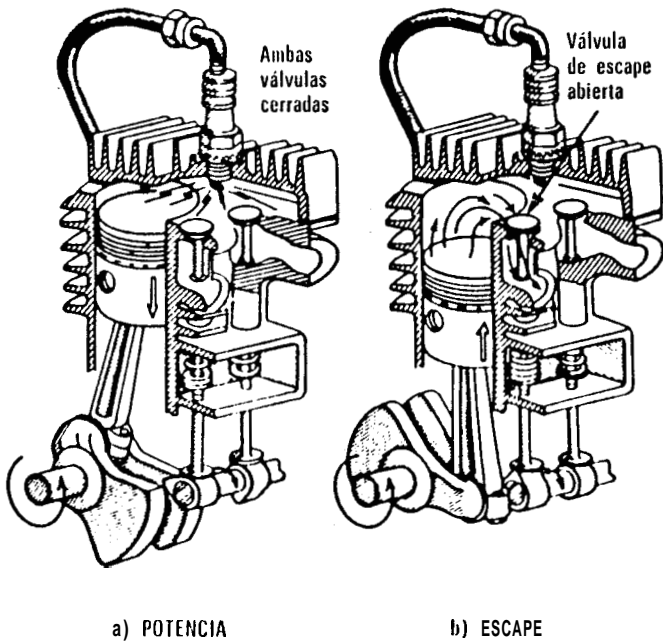


Fig. 2.2 Ciclos de expansión y escape



escapan o se expulsan del cilindro a través de la válvula de escape abierta.

DESPLAZAMIENTO VOLUMETRIC0 (o cilindrada). Es el volumen de aire desalojado por el pistón cuando se mueve desde el punto muerto inferior (PMI) hasta el punto muerto superior (PMS). El desplazamiento se expresa en centímetros cúbicos. El tamaño relativo y la potencia de un motor se pueden estimar por el desplazamiento volumétrico.

El desplazamiento se puede calcular si se conocen el diámetro del cilindro y la carrera del pistón. El volumen descrito por la sección transversal del pistón al recorrer la longitud de la carrera da la cilindrada la fórmula es:

$$\text{Desplazamiento} = \frac{(\text{Diámetro})^2}{4} * \pi * \text{carrera}$$

expresión en la que "Diámetro" es del interior del cilindro. (9)

RELACION DE COMPRESION Se relaciona con la eficiencia del motor. Describe el grado en que se comprime la mezcla de aire y combustible previamente a la combustión cuanto mayor sea la relación de compresión tanto más eficiente será el motor.

La relación de compresión es la que existe entre el

volumen interior del cilindro cuando el pistón está en el punto muerto inferior (PMI) y el volumen cuando el émbolo llega al límite superior de su carrera (PMS).

PRESION MEDIA EFECTIVA AL FRENO (PMEF). Se determina a partir de la potencia al freno. La PME es la presión ficticia que si actuara sobre el émbolo durante la carrera de impulso, produciría el trabajo neto del ciclo de operación (el total menos las pérdidas por fricción).

EFICIENCIA MECANICA. Las relaciones entre los valores de la potencia efectiva y los correspondientes a la potencia indicada representan los valores de la eficiencia o rendimiento mecánico.

CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE. Es el valor de consumo de combustible de un motor en relación a la potencia que produce.

EFICIENCIA TERMICA. Índice de la fracción de la energía total en un combustible, que se convierte en energía mecánica en el eje principal de una máquina térmica.

EFICIENCIA VOLUMETRICA. Es la relación del volumen ocupado por la mezcla en el cilindro de un motor durante el funcionamiento de éste, al volumen total del cilindro. A medida que aumenta la velocidad del

motor queda menos tiempo para que se llene la cámara de combustión. Lo anterior-, más las pérdidas por fricción, temperatura e inercia, hacen que el cilindro no se llene a toda su capacidad.

DIFERENTES OPERACIONES DE UN MOTOR

Un motor puede considerarse como un conjunto de sistemas cada uno de los cuales contribuye al funcionamiento total. Si se analizan por separado las diferentes operaciones de un motor será más fácil explicar y entender su funcionamiento.

- Sistema **MECANICO** comprende las partes móviles que controlan el movimiento del pistón, los flujos de aire y de combustible y la potencia de salida.
- Sistema **DE LUBRICACION** reduce la fricción entre las partes móviles y ayuda al enfriamiento del motor.
- Sistema de **ENFRIAMIENTO** elimina el calor de la cabeza y el cuerpo u bloque del cilindro y mantiene a la temperatura de trabajo dentro de los límites de seguridad.
- Sistema de **IGNICION O ENCENDIDO** proporciona energía eléctrica en el momento apropiado y en la cantidad suficiente para producir la chispa que encienda la mezcla comprimida de aire y combustible.
- Sistema de **COMBUSTIBLE** proporciona la mezcla correcta de aire y gasolina en la cantidad adecuada a las demandas de velocidad variable y carga del

motor.

- El sistema de ARRANQUE proporciona la potencia necesaria para arrancar el motor y hacer que alcance su velocidad mínima de operación.
- Sistema de ESCAPE es un medio para descargar o expulsar los gases de combustión y reducir el ruido causado por la combustión.

(Ref. 9)

2.3 BOMBA CENTRIFUGA

Estas máquinas para el trasiego de líquidos se basan en los mismos principios que los ventiladores centrífugos utilizados para mover masas de aire y otros gases y su funcionamiento sigue las mismas leyes generales. Las bombas centrífugas son máquinas de velocidad relativamente elevada y generalmente van acopladas directamente a una turbina de vapor o a un motor eléctrico; también pueden ser accionadas por correas trapeciales, o por motores de explosión. El agua entra al impulsor (fig. 2.3) por su centro (alrededor del eje), fluye radialmente hacia afuera y abandona la periferia del impulsor a una velocidad que es la resultante de la velocidad periférica del álabe del impulsor y de la velocidad relativa del líquido. (12)



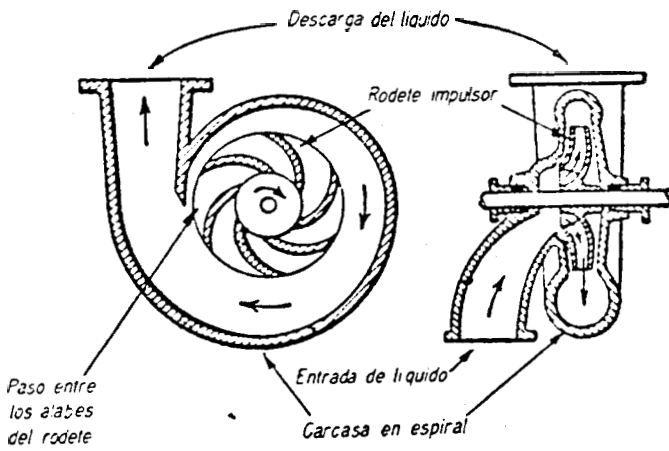


Fig. 2.3 Bomba centrifuga, con aspiración simple y con un sólo rodete.



BIBLIOTECA

BOMBA CENTRIFUGA AUTOCEBANTE

Dentro de los muchos tipos de bombas centrífugas que existen, hay una de diseño especial, que se llama autocebante porque tiene la propiedad de cebarse automáticamente por sí misma.

Las bombas autocebantes pueden extraer el aire de la tubería de succión y de la carcaza, evitando así tener que instalar válvula de pie o de retención en el extremo del tubo de succión, y evitando también tener que llenar de líquido la tubería de succión. Sin embargo, para que la bomba pueda cebarse es necesario colocar al principio suficiente líquido en la carcaza de la bomba y ponerla en funcionamiento por 30 o 40 segundos, para que pueda expulsar el aire e inicie la operación de bombeo.

•

En la fig. 2.4 aparece el corte de una bomba autocebante, observese que la voluta "V" rodea el rotor y además se extiende desde el disco de fricción "D" hasta el empaque voluta/carcaza colocada interiormente al lado de la succión formando una cámara comunicada con la carcaza únicamente por las ventanas superior e inferior de la misma voluta.

Cuando se pone agua en la carcaza, éste se llena hasta la parte inferior de la succión y entra también por la ventana inferior de la voluta hasta el centro

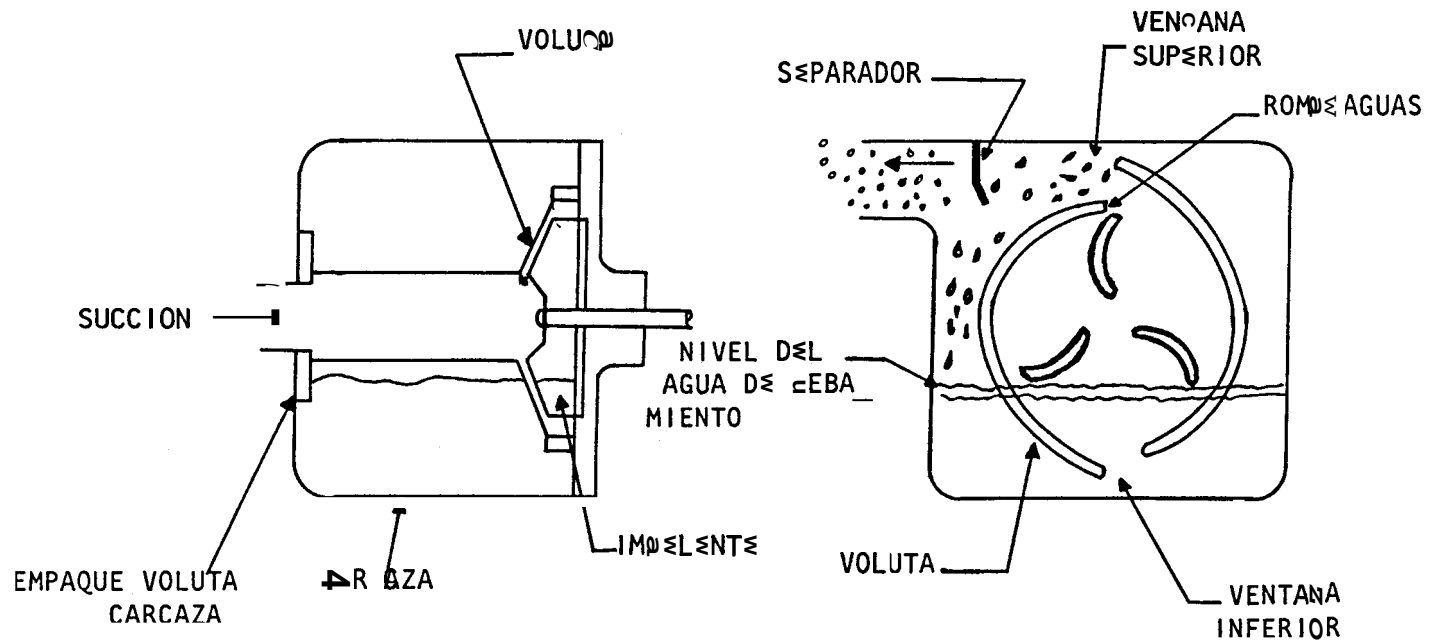


Fig 2.4 Corte de una Bomba Autocebante



del impelente (impulsor) aproximadamente.

Es importante tener en cuenta que el impelente pasa muy cerca del extremo de la vena de la voluta que forma la ventana superior. Esta lengua de la parte superior de la voluta se llama rompeaguas. No sucede lo mismo con la una que forma la ventana inferior de la voluta, pues en este punto el impelente pasa a una distancia mayor, dejando un espacio equivalente al ancho del impelente aproximadamente.

Para que el proceso de cebamiento pueda cumplirse con eficiencia, el diámetro del impelente de la bomba y la velocidad de giro deberán ser suficientes para que el vacío que se va produciendo en la succión de la bomba no pueda absorber el agua de cebamiento; además, es indispensable que el diámetro exterior del rotor pase muy cerca del rompeaguas de la voluta para que el rompeaguas corte la mezcla de aire y agua que se encuentra cerca al diámetro exterior del impelente y la descarga por la ventana superior de la voluta. Si el impelente de una bomba autocebante se torneará y por lo tanto su diámetro exterior quedará separado del rompeaguas, la mezcla de agua y aire no sería desprendida y lanzada hacia el exterior, sino que continuará girando dentro de la voluta, siendo imposible el cebamiento de la bomba.

Para obtener un vacío en la chimenea de la voluta y

en la succión del impelente es necesario que el empaque voluta/carcaza y el sello mecánico no dejen entrar aire en la cámara de la voluta, que las uniones de la tubería de succión estén herméticas, y que los ajustes de la bomba estén dentro de las tolerancias de fabricación. (13)

FUNCIONAMIENTO DE LAS BOMBAS

La capacidad de una bomba se expresa generalmente por la cantidad de líquido descargado por ella, medida en litros/min o m³/hora. En las bombas centrífugas el caudal es directamente proporcional a su velocidad de rotación.

ALTURA PIEZOMETRICA TOTAL de una bomba es igual a la suma de la variación de presión dinámica del agua en la bomba, y de la diferencia entre el nivel de aspiración y descarga.

$$H_t = H_d - H_s + \frac{V_d^2 - V_s^2}{2g}$$

H_t = altura piezométrica total, m de agua.

H_d = altura de descarga, m de agua.

H_s = altura de aspiración, m de agua.

V_d, V_s = velocidad del agua en la tubería de descarga y succión respectivamente, m/Seg.

g = aceleración debida a la gravedad, 9.81 m/Seg².

POTENCIA HIDRAULICA de una bomba es la potencia cedida realmente al agua, calculada por una de las dos fórmulas.

$$WHP = \frac{mw * Ht}{4560} \quad ; \quad WHP = \frac{1000 * Pt * Q}{456}$$

mw = cantidad de agua descargada por la bomba, kg/min.

Ht = altura piezométrica total, m agua

Pt = presión relativa total. kg/cm²

Q = caudal de agua, m³/min.

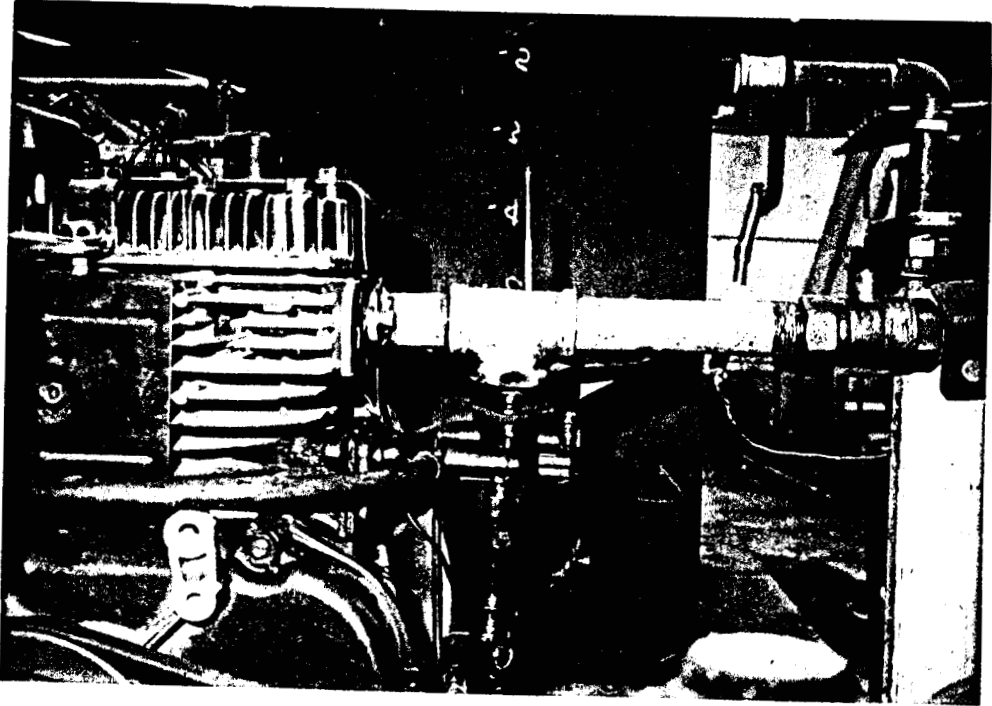
RENDIMIENTO MECANICO de una bomba es la relación entre la energía convertida en el trabajo útil y la absorbida por la bomba, es decir

$$\eta = \frac{WHP}{HP \text{ al freno}}$$

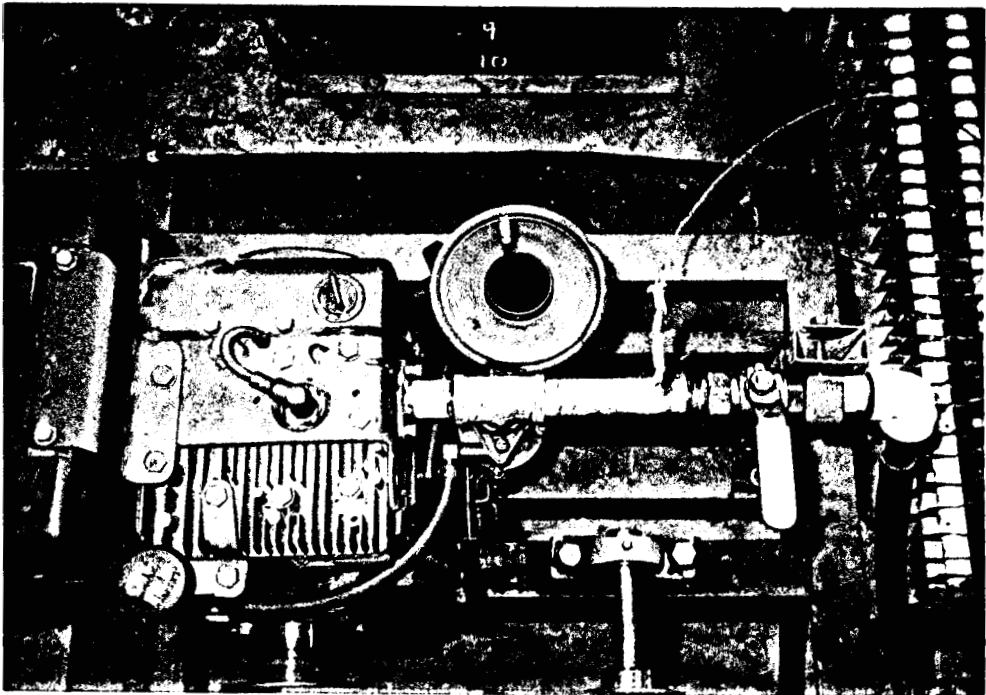
La potencia al freno (o al eje de la bomba) es la potencia suministrada al eje de la bomba por el motor, turbina o polea.

Las curvas características de las bombas centrifugas esta en función del caudal de agua, este es directamente proporcional a la velocidad; presión, al cuadrado de la velocidad, y la potencia absorbida, al cubo de la velocidad.

(Ref. 12)



Vista Frontal



Vista Superior

Fig. 2.5 Sistema de alimentación y control del Gas-Pobre



BIBLIOTECA

CONTROL GAS

0

El mezclador de gas pobre/aire utilizado en este proyecto, es que se muestra en la fig. 2.7, el mismo que servirá para la alimentación de la mezcla gas pobre-aire. Aunque el diseño sea sencillo es bastante efectivo y permite un buen control del rendimiento.

La entrada de aire que tiene el carburador gasolina-aire, es aprovechada cuando el motor opera unicamente con gas pobre. En la salida de la mezcla gasolina-aire, se ha instalado un acople por donde fluirá aire para suplir la demanda del motor para la mezcla gas pobre-aire.

En la fig. 2.7 se muestra los acoples respectivos, tanto para la admisión del motor como para el carburador al motor. La entrada de aire es controlada mediante la válvula (mariposa) del carburador, mientras que el flujo de gas es controlado por la válvula de bola; tanto la mariposa como la válvula son controladas de forma manual.

Al pasar el gas por la válvula se crea una mayor turbulencia la misma que es aprovechada para obtener una mezcla con el aire que es succionado

desde el carburador, garantizando luego una buena combustión dentro del cilindro consiguiendo con esto una potencia de salida en el eje del motor aproximadamente estable.

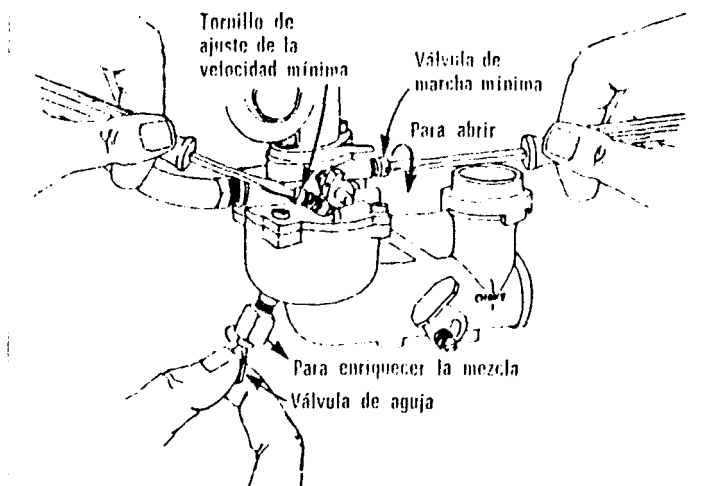


Fig. 2.6 Carburador de un motor Monocilíndrico.



BIBLIOTECA

NOTA: El acople que se muestra en la figura 2.7 fue diseñado y probado anteriormente en otro proyecto a cargo del Sr. Franklin Rodríguez.

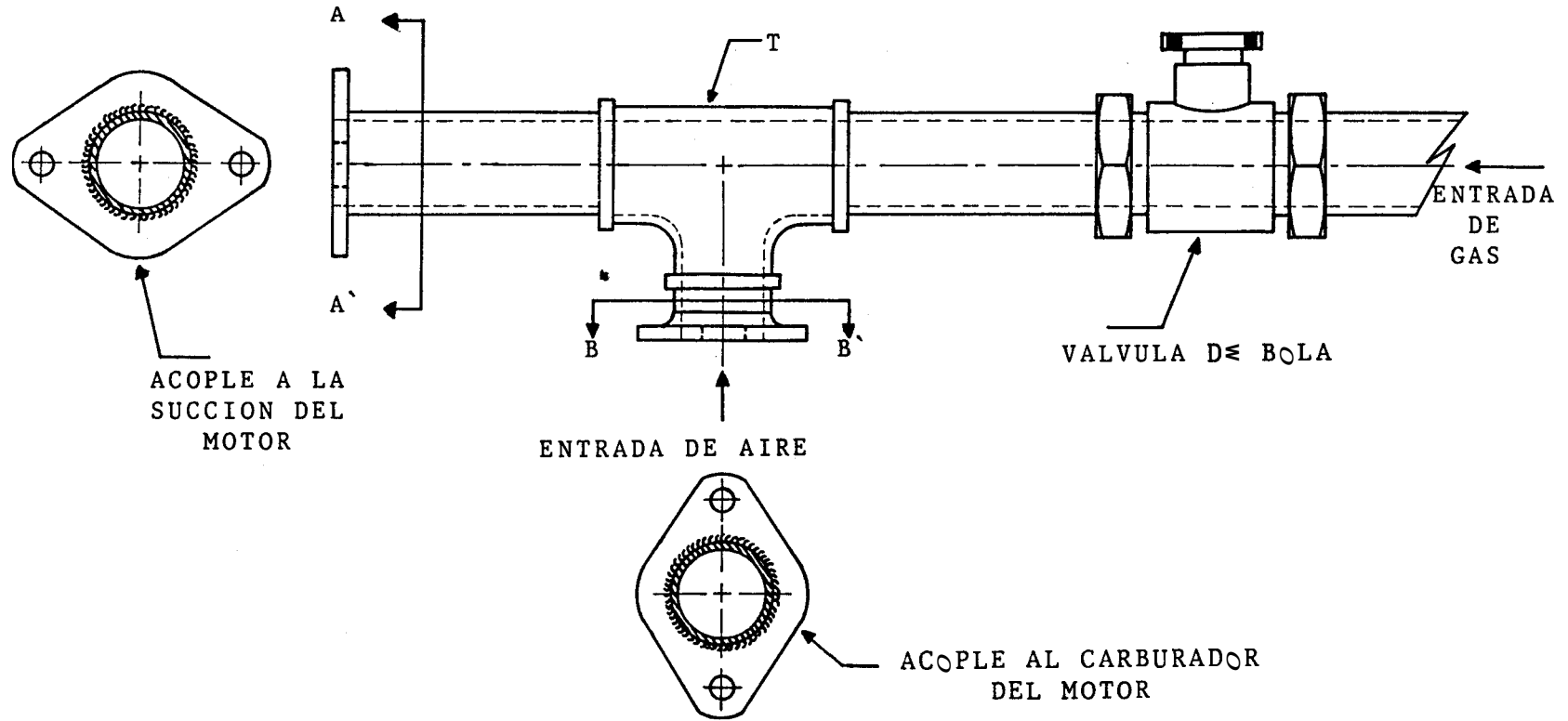


Fig. 2.7 Mezclador de Gas-Pobre/Aire; con los acoples respectivos

CAPITULO III

GAS POBRE COMO COMBUSTIBLE PARA MOTORES

El gas pobre generado de madera, carbón vegetal, éste es gasificado con aire; consiste de un 40% de combustible gaseoso, principalmente de monóxido de carbono hidrógeno y algo de metano. El restante son gases no combustibles consistente de nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua.

Una de las aplicaciones más atractivas del gas pobre es su utilización en los motores de combustión interna. Especialmente si se trata de aprovechar en el Area rural, aquí tiene un gran significado, el que se pueda producir fuerza motriz a partir de combustibles lignocelulbsicos, que se producen en esta hrea.

El gas producido en el gasógeno, dependiendo específicamente del tipo de gasificador y materia prima para gasificar; puede contener alquitrán condensable ácidos y ceniza. Estas impurezas pueden conducir a tener problemas y un anormal funcionamiento del motor. El principal problema. de los sistemas de gasificadores es diseñar para que estos generen gas con altas praporciones de combustible y con mínimo componente de impurezas.

Las peculiaridades del gas pobre para motores será

discutida desde el punto de vista teórico y operacional.

3.1 POSIBILIDADES DE USAR GAS POBRE EN MOTORES

Un hecho no tan conocido es sobre la habilidad de los motores para operar con combustibles, que no sean aquellos para los cuales fueron diseñados y con muy pocas modificaciones. Sin embargo existen muchas cuestiones que tienen que examinarse antes de intentar operar un motor de combustión interna con otro combustible altero como es el gas pobre.

El motor convencional Ciclo OTTO, alimentado por un gasificador a carbón vegetal, produce apenas 50-60% de su potencia original. Para que se consiga un mayor rendimiento del motor es necesario que se construya o se modifique su estructura básica.

Esta pérdida es principalmente ya que el gas ocupa el 50% del volumen de la mezcla, mientras que la gasolina ocupa el 2%; los productos de combustión gas-aire ocupan un volumen menor del 8% que los reactantes de una mezcla gasolina-aire, teniendo un incremento del 7% en el volumen. Esta variación volumétrica es directamente proporcional a la potencia desarrollada por el cilindro del motor. (7)

Otra pérdida adicional tiene que considerarse al convertir la energía del gas frío en energía mecánica a través de un motor de combustión interna (MCI). El

rendimiento de los MCI generalmente se expresa en términos de sus eficiencias volumétricas, térmica indicada y mecánica.

3.2 POTENCIA DESARROLLADA POR UN MOTOR USANDO GAS-POBRE

La potencia desarrollada por un motor operando con gas pobre, puede ser determinado por los mismos factores como para el caso de un motor se encuentre operando con combustibles líquidos, normalmente:

- La energía química de la mezcla aire/combustible que entra al cilindro del motor durante la carrera de succión.
- Cantidad de mezcla de combustible que ingresa al cilindro en la carrera de succión.
- Eficiencia con que el motor convierte la energía química de la mezcla de combustible en energía mecánica.
- El número de revoluciones que genera en un tiempo dado (rpm).

Convirtiendo un motor a gas pobre, gas pobre-diesel, gas pobre-gasolina (Dual - fuel), generalmente en esta operación la capacidad de potencia con la carga se reduce.

VALOR ENERGETICO DE LA MEZCLA

El valor energético del gas pobre depende en las cantidades relativas de los diferentes combustibles



BIBLIOTECA

que lo componen: monóxido de carbono, hidrógeno y metano.

El valor energético de estos tres gases esta dado en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Valor energético y demanda estequiométrica de oxígeno de los componentes del gas pobre.

Gas	Valor Energético		Demanda estequiométrica de oxígeno m ³ /m ³
	kJ/mol	h _j /m ³	
CO	283 660	12 655	0.5
H ₂	241 300	10 770	0.5
CH ₄	801 505	35 825	2.0

* El volumen del gas esta dado normalmente en m³

Tomado desde: Wood Gas as Engine Fuel

FAO Forestry Paper 72, Rome 1986 pag. 11

La cantidad de oxígeno necesario para la combustión completa (combustión estequiométrica), de cada uno de los elementos que componen el gas pobre se presenta en la Tabla 3.1.

El valor energético para la mezcla estequiométrica

puede ser calculado por la siguiente fórmula.

$$\text{Hig} = \frac{12\ 680\ \text{VCO} + 10\ 800\ \text{VH}_2 + 35\ 900\ \text{VCH}_4}{1 + 2.38\ \text{VCO} + 2.38\ \text{VH}_2 + 9.52\ \text{VCH}_4}$$

Donde:

Hig Es el valor energético de la mezcla estequiométrica del gas pobre y el aire en $\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$.

VCO Cantidad de volumen de Monóxido de carbono en el gas.

VH₂ Cantidad de volumen de Hidrógeno en el gas

VCH₄ Cantidad de volumen de Metano en el gas

Estas cantidades VCO, VH₂, VCH₄, son antes de mezclarse con el aire.

El valor energético del gas pobre al mezclarse con el aire es alrededor de $\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$ 2500. Cuando este valor es comparado con el valor energético de la mezcla estequiométrica gasolina-aire (alrededor de $\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$ 3800), esta diferencia tiene mucha influencia en la potencia que desarrollará el motor. Una baja de potencia de alrededor del 35% puede ser esperado como resultado del bajo valor energético de la mezcla gas pobre/aire.

CANTIDAD DE LA MEZCLA DE COMBUSTIBLE QUE INGRESA AL CILINDRO

La cantidad de mezcla de combustible que ingresa realmente al cilindro de un motor, esta determinada por el volumen del cilindro y por la presión del gas en el cilindro en el momento de la admisión y cierre de la válvula.

El volumen del cilindro es una constante que viene para cada motor. La presión real de la mezcla de combustible, para empezar la carrera de compresión depende sin embargo del motor. Características (especialmente de diseño en la entrada de la succión y el regulador o mariposa de entrada de aire), la velocidad del motor (altas velocidades acompañan como resultado presiones bajas). Estos factores involucran a lo que llamaremos "Eficiencia volumétrica" del motor y se define como la relación entre la presión real del cilindro y la presión normal (1 atm). Normalmente los motores trabajan para velocidades que presentan una eficiencia volumétrica variable entre 0.7 y 0.9.

La presión del gas y el aire en la entrada de la succión depende de la caída de presión total del sistema de gasificación: gasificador, intercambiadores de calor, filtros, ciclón y carburador o mezclador gas/aire.

EFICIENCIA DEL MOTOR

La eficiencia con que un motor puede convertir la energía térmica de un combustible en potencia mecánica depende en primer lugar de la relación de compresión del motor. Se debe diferenciar claramente entre la eficiencia y el rendimiento. La eficiencia real del motor a gasolina se verá afectada sólo ligeramente o hasta puede ser mejor con la operación a gas pobre. Por lo tanto, tiene sentido anticipar la baja esperada de potencia en una nueva instalación y escoger un motor más grande para satisfacer los requerimientos de potencia y extender la vida útil del motor.

La fig. 3.1 muestra la influencia de la relación de compresión del motor sobre la potencia máxima desarrollada por el motor.

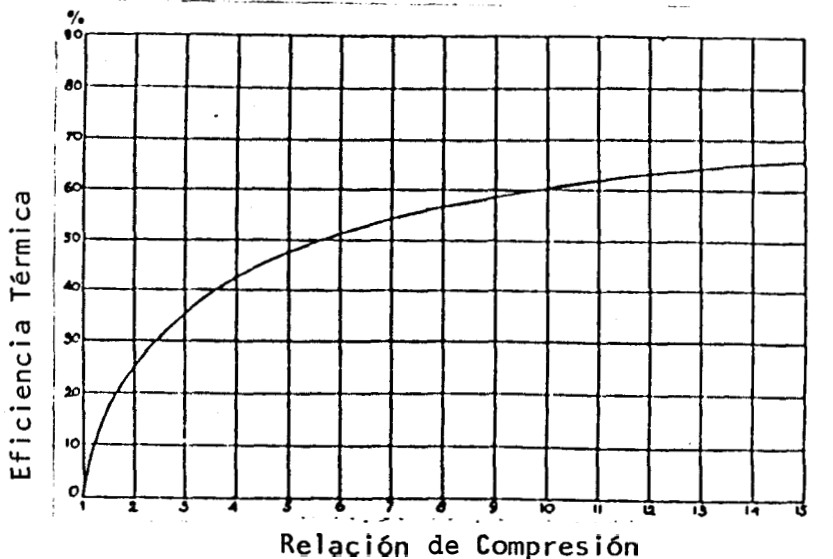


Fig. 3.1 Influencia de la relación de compresión sobre la eficiencia térmica. (15)

En el caso que el motor opere con gas pobre como combustible, la relación de compresión de un motor a gasolina normalmente limitado por el peligro del golpeteo, se puede aumentar considerablemente debido al mayor octanaje del gas pobre. Los octanajes de los gases que componen el gas pobre lo indica la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Octanajes de los componentes del gas pobre

Gas	Octanaje
CO	105
H ₂	60-66
CH ₄	105

Otra fuente (14) informa sobre la relación de compresión crítica y el octanaje requerido para los motores a gasolina o a gas pobre, tal como se puede observar en la fig. 5.2.

Es posible esperar un octanaje de 100-105 para una amplia gama de composiciones de gas pobre. Es especialmente por esta razón que las relaciones de compresión son altas (arriba de 1:11) cuando se emplea gas pobre, resultando una mejor eficiencia térmica del motor y un relativo incremento en la

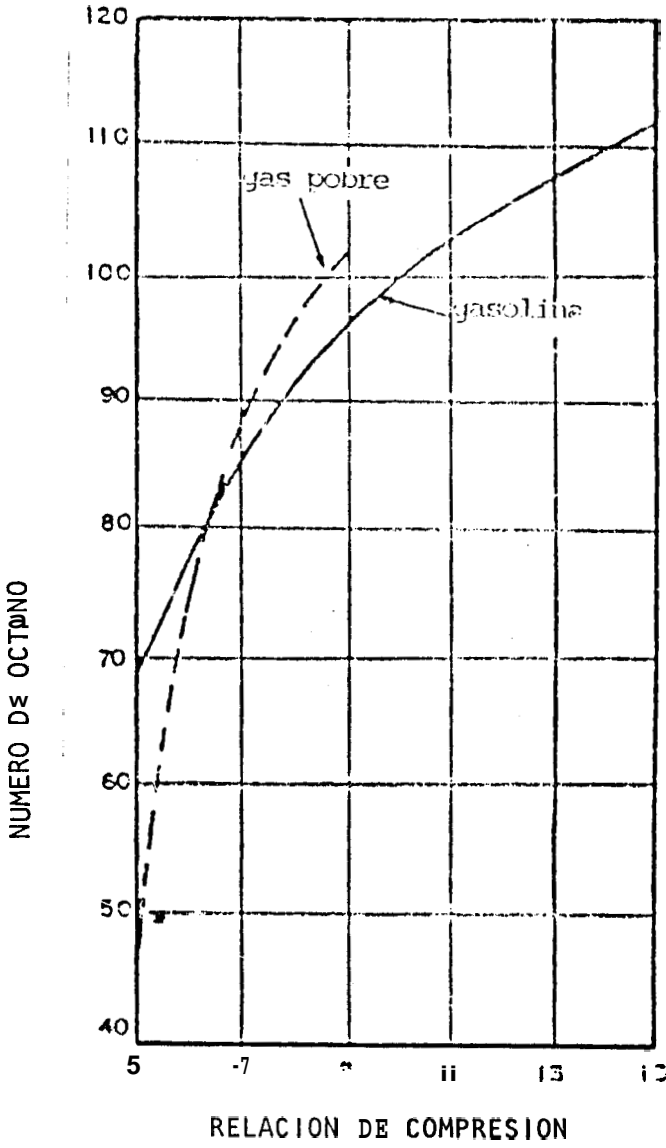


Fig. 3.2 Requerimientos de octanaje para combustión sin perturbaciones para varias relaciones de compresión (14).

potencia desarrollada por el eje del motor.

VELOCIDAD DEL MOTOR

Debido a que la potencia desarrollada por el motor esta definido por unidad de tiempo, esta potencia depende de la velocidad del motor, en los motores a gasolina la potencia no es lineal al número de revoluciones, como en el caso de los motores diesel a causa de diferentes cambios en las eficiencias.

La máxima velocidad del motor operando con gas pobre esta limitado por la velocidad de combustión del combustible representado por la mezcla de gas y aire. Debido a que la velocidad es baja en comparación con la mezcla de combustible gasolina y aire, la eficiencia del motor puede caer dramáticamente si la velocidad de combustión de la mezcla y la velocidad promedio del pistón adquieren un semejante orden de magnitud.

En los diferentes tipos de motores que hay actualmente trabajando con gas pobre, puede expectarse que las velocidades son alrededor de 2500-2700 rpm pudiendo esperarse velocidades más bajas.

(Ref. 10)



BIBLIOTECA

3.3 MAXIMIZACION DE LA POTENCIA DESARROLLADA POR EL MOTOR OPERANDO CON GAS POBRE

La posibilidad de maximización de la potencia desarrollada por un motor operando con Gas Pobre, está relatada de una forma teórica. Las causas de la disminución de potencia será discutida en esta sección.

VALOR ENERGETICO DE LA MEZCLA

Es evidente que un valor energético máximo de la mezcla de combustible se obtenga siempre y cuando el gas pobre sea más puro. El valor energético depende del diseño del gasificador y de las características del combustible (carbón, leña, etc.) que se provea al gasificador. Minimización de las pérdidas de calor desde el gasificador, es importante en cierto modo para poder obtener un alto valor energético del gas. El contenido de la humedad y el tamaño de distribución son los factores más importantes de las características del combustible.

La mezcla gas/pobre aire para la combustión es otra de las razones de la pérdida de potencia, debido a los cambios en la composición del gas, causado por las variaciones de caída de presión en el lecho y gasificador instalado; resultando muy difícil mantener continuamente una mezcla estequiométrica del

gas pobre/aire.

Debido al exceso o deficiencia del aire, causa una disminución del valor energético de la mezcla (por unidad de volumen). En ambos casos, causa una disminución en la potencia, como lo ilustra la fig. 3.3.

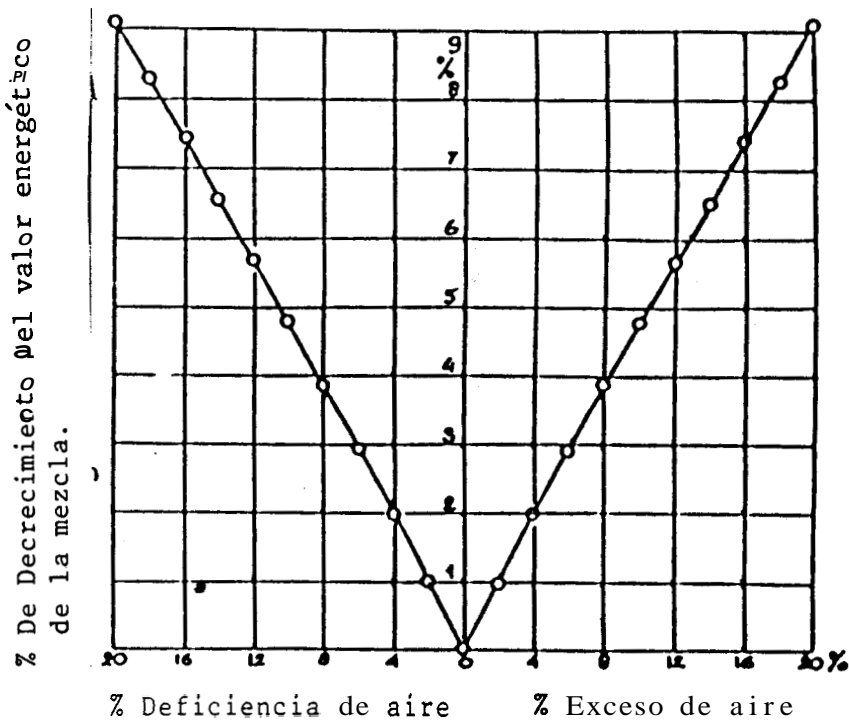


Fig. 3.3 Decrecimiento del valor energético del Gas-Pobre, en función del exceso o deficiencia de aire (15)



Para poder obtener una mezcla que se vaya a combustionar estequiométricamente, únicamente puede ser factible instalando una válvula en la entrada de aire, la misma que deberá ser operada

manualmente con el fin de obtener una buena combustión. Esta operación puede ser factible cuando se requiera la máxima potencia del motor.

CANTIDAD DE LA MEZCLA DEL COMBUSTIBLE

A parte de minimizar las caídas de presión a través del gasificador, sistema de enfriamiento-limpieza y carburador, cada cierto tiempo deberá darse un mantenimiento adecuado del mezclador gas pobre/aire. La cantidad de mezcla de combustible para la carrera de combustión del motor puede ser maximizada por dos caminos:

- Incrementando la eficiencia volumetrica del motor, como también el tamaño en la entrada de la succión del motor, resultando una disminución en la resistencia del flujo y bajando las caídas de presión. Esta influencia en el diseño de la entrada de aire en la succión del motor es solamente estimaciones. Resultados experimentales por Finkbeiner (16) muestra que los diseños para la entrada de aire en el distribuidor puede incrementarse la potencia del motor hasta un 25%.
- Sobrealimentación o turboalimentación del motor. Esto hace que se incremente completamente la presión de la mezcla en la succión del motor, y por ende la potencia desarrollada. El desarrollo de la

turboalimentación impulsa los gases hacia la succión, haciendo esta opción más atractiva.

Al sobrealimentar el sistema en su conjunto, éste estará bajo presión en lugar de estar bajo succión y eso podría originar algunos problemas relacionados con la seguridad y salud del operador.

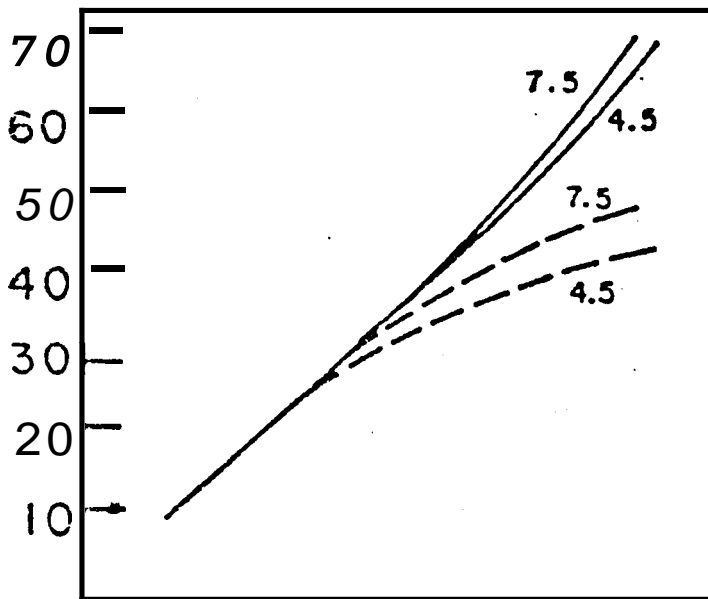


Fig. 3.4

Incremento de potencia de un motor a gasolina con relación de compresión no modificada 1:4.5 y de un motor a gasolina con relación de compresión modificada 1:7.5 en función de la velocidad. Ambos casos usan gas-pobre (5).

————— SOBREALIMENTADO

- - - - - NO SOBREALIMENTADO

El turboalimentador en otro orden provee explosiones en la mezcla del combustible.

En resumen, la sobrealimentación del motor o del gasógeno es una manera de recuperar todo o parte de la potencia perdida sin alterar el motor de combustión interno como lo muestra la fig. 3.4.

EFICIEWCIA DEL MOTOR

El incremento de la eficiencia del motor puede lograrse con el incremento de la relación de compresión de los motores a gasolina (por ejemplo 1:10 o 1:11).

La influencia de corregir la mezcla aire/gas está descrito en Finkbeiner (16), también han realizado estudios Tiedema y Van der Weide (17). La instalación de un adecuado dispositivo que mezcle gas/aire es de mucha importancia para poder obtener una mayor eficiencia del motor.

VELOCIDAD DEL MOTOR Y ADELANTO DE LA IGNICION

Debido a que la velocidad de combustión es lenta para la mezcla gas/aire, el tiempo para la ignición cuando opere completamente con gas pobre el motor a gasolina, este tiempo debe ser generalmente cambiado.

El tiempo óptimo para la ignición de un motor a gasolina depende tanto de la carga como de velocidad,

Lo mismo sucede para el caso que el motor opere con gas pobre. Experimentos realizados por Middleton y Bruce (18), indican que por lo general el tiempo de ignición de 10-15°, puede ser adelantado de 35 a 40" antes del punto muerto superior.

RESULTADOS DE LA POTENCIA DESARROLLADA

Asumiendo que se han realizado todas las modificaciones anteriormente discutidas e implementadas correctamente, disminuirá en un mínimo la potencia desarrollada por el motor a gasolina, cuando este opere con gas pobre. Cuando un motor no se encuentra turboalimentado o sobrealimentado, la potencia desarrollada se perderá en un 30%. Cuando llegue a funcionar con el turboalimentador de gas pobre, el motor puede llegar a desarrollar potencias iguales que cuando se encuentra operando con gasolina.

(Ref. 10)

3.4 CALIDAD DEL GAS REQUERIDO PARA OPERAR LIBREMENTE SIN PERTUBACIONES

Cuando el sistema del gasificador es usado en conjunto con un motor de combustión interna es importante ciertos requerimientos del gas que ingresa al motor para que pueda operar libre de

perturbaciones, desde ceniza, alquitrán y ácidos en cierta cantidad tolerable son permitidos, dependiendo del tipo de motor. Tiedema y Van der Weide (17), dan valores promedios tolerables para un flujo aprovechable en el motor, estos valores son los siguientes:

Ceniza:	reducir hasta preferible	50 mg/m ³ gas 5 mg/m ³ gas
Alquitrán:	reducir hasta	500 mg/m ³ gas
Acidos:	reducir hasta	50 mg/m ³ gas (medidas como ácido acético)

FALLAS Y SOLUCIONES EN MOTOR-GASIFICADOR

A.- Al arrancar el motor:

Si el motor funciona normalmente con combustible líquido, pero no con gas pobre, las posibles causas pueden ser:

- 1.- La entrada del aire del gasógeno debe estar cerrada, se puede solucionar abriéndola.
- 2.- Que exista fuego lento, se soluciona acelerando el motor con combustible líquido o manteniendo el ventilador por unos dos minutos más, pruebe nuevamente con gas.
- 3.- El combustible del gasificador, colocado sobre la cámara de combustión forme un arco y





obstruya el paso del gas, ~~solucione~~
retirando y aplastando el combustible con
una barra de hierro.

- 4.- Ceniza y escoria formen una masa dura en la cámara de combustión o en la parrilla, ~~solucione~~ limpiándolo; el combustible no quemado puede ser aprovechado, siempre que sea nuevamente cernido.
- 5.- El combustible esté muy húmedo o que esté muy grande, ~~solucione~~ limpiando el gasógeno y colocando combustible adecuado.
- 6.- El aire no es suficiente en el mezclador de gas pobre-aire, ~~solucionr~~ regulando la entrada de aire.
- 7.- Los filtros están tapados, ~~solucione~~ limpiándolos con alcohol o cámbielos.
- 8.- Los [•]tubos del sistema de refrigeración están tapados, ~~solucione~~, limpiándolos con alcohol.
- 9.- Hay escape o entrada de aire falso, ~~solucione~~, localizándolos y ciérrelos.

B.- Pérdida de fuerza del motor

Si el motor funciona con gas, pero pierde fuerza después de cierto tiempo.

- 1.- Si pierde fuerza después de varios días de funcionamiento, es posible que los filtros estén tapados o la cámara de combustión,

parrilla estén obstruidos, solucione, limpiando con alcohol y utilizando el combustible adecuado.

2.- Si la pérdida de fuerza es rápida, puede ser debido a que **hay** poco combustible en el gasificador, recárguelo con el combustible adecuado.

3.- Si la pérdida de fuerza es lenta, puede ser debido a:

a) Combustible muy pequeño con mucha ceniza, use combustible adecuado y limpie el gasógeno con más frecuencia.

b) Escape o entrada falsa de aire, arregle los **escapes**; la tapa del gasógeno y la de los filtros son las principales **causantes** de los escapes.

c) Fallas de ignición, revise la bujía, limpie y regule.

4.- Mal funcionamiento después de recargar el gasógeno, puede ser debido a: infiltraciones de aire o combustible inadecuado, localice y arregle estas entradas falsas, limpie el gasógeno y use combustible adecuado.

5.- Funcionamiento irregular o pérdida de fuerza intermitente, su causa probable **puede** ser debido a que el combustible es muy grande y produce obstrucción en la cámara de

combustión, cámbielo por combustible de tamaño adecuado.

6.- Explosión antes de la admisión del gas al motor, sus causas pueden ser:

a) bujías muy calientes, cámbielos por bujías más frías.

b) Válvula de admisión no funciona bien, arréglaela.

c) Punto de ignición descalibrado, calibre.

7.- El motor sólo funciona en forma regular con el cierre de la entrada de aire del mezclador, se debe a: los filtros están tapados los cuales deben ser limpiados, combustible muy grande o de mala calidad, limpie el gasógeno y cambie por combustible adecuado.

8.- La parte superior del gasógeno está muy caliente puede ser debido a fuga de aire o combustible insuficiente, revise y arregle las fugas, cargue de nuevo el gasógeno.

9.- El motor no para aún cuando la ignición es desconectada, se debe a que la bujía está muy caliente, debiendo cambiar por una fría.

(Ref. 3)

CAPITULO IV

TRABAJO EXPERIMENTAL

4.1 ANALISIS DE LOS COMPONENTES DEL GAS POBRE

El gas producido en el gasificador de tipo concurrente, ya discutido en el capítulo II, alimentado con carbón vegetal; fue analizado en el equipo de Orsat (fig. 4.1), incluyendo mediciones de hidrógeno y metano, mediante el método de la combustión lenta (20).

Las muestras de los gases a analizar se tomaron durante la operación del sistema motor-bomba en un total 6 muestras, antes de mezclarse con el aire, y 5 muestras luego de haberse combustionado la mezcla de combustible, gas/aire; los resultados se muestra en las tablas 4.1 y 4.2.



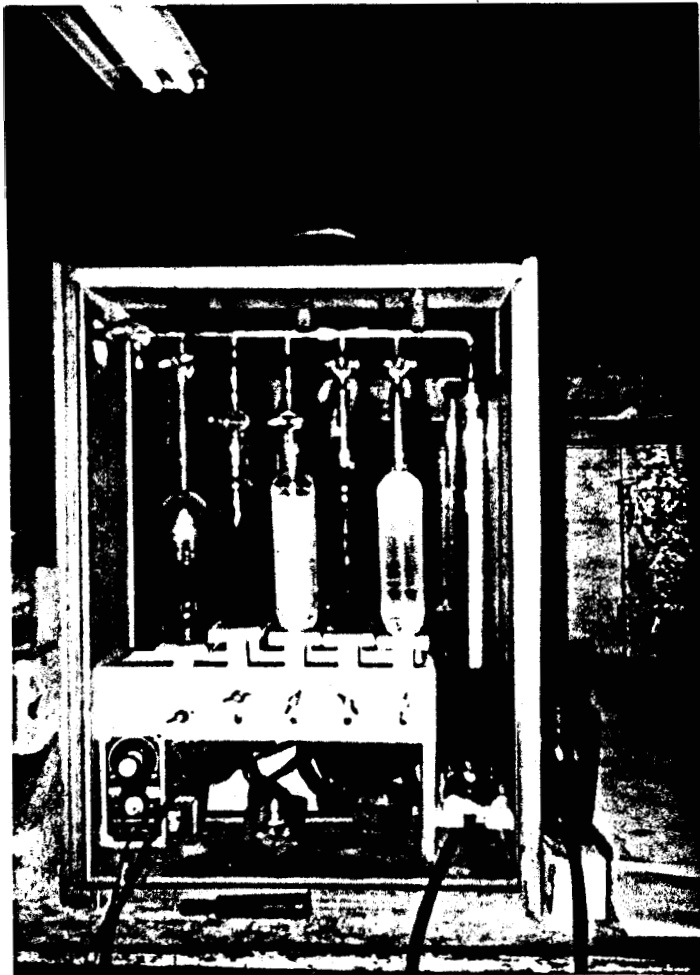


Fig. 4.1 Equipo para analizar Gases
APARATO DE ORSAT.



Tabla 4.1 Elementos que componen el gas pobre de carbón vegetal. *

Muestra	CO	H2	CH4	CO2	O2	N2
1	23.4	4.7	2.6	5.2	1.8	62.3
2	23.8	4.8	2.4	4.0	1.6	63.4
3	23.6	4.7	2.6	5.0	1.4	62.7
4	24.2	4.4	2.8	4.6	1.6	62.4
5	22.6	3.5	3.0	3.2	2.0	65.7
6	22.8	2.0	4.4	4.0	1.6	65.2

Tabla 4.2 Elementos que componen el gas en la descarga, luego de haberse combustionado el gas pobre en el motor. *

Muestra	CO2	O2	CO
1	12.2	7.2	1.4
2	11.4	8.2	1.6
3	11.8	7.8	1.4
4	13.0	4.4	1.0
5	12.0	6.0	0.6

* Valores medidos en volumen

La tabla 4.1 nos muestra una variedad de composiciones para el gas pobre cuando se encuentra operando el motor con este gas, esto fue ya discutido en el capítulo anterior, teniendo que ver mucho su

influencia especialmente on la potencia que desarrolla el motor.

Para efectos de cálculos trabajaremos con valores promedios, ya **que** con estos calcularemos: el poder calorífico del gas pobre, valor energético de la mezcla estequiométrica gas/aire y densidad, para luego comparar con los de la gasolina, los valores promedios del gas combustible son:

$$\text{CO} = 23.4\%; \quad \text{H}_2 = 4.0; \quad \text{CH}_4 = 3.0$$



4.2 PROPIEDADES DEL GAS POBRE

El poder calorífico del gas pobre puede ser calculado por la siguiente fórmula:

$$\text{PCI} = 126.4 \text{ CO} + 108.0 \text{ H}_2 + 359.0 \text{ CH}_4 \text{ [kJ/kg]} \quad (4.1)$$

Reemplazando los valores promedios de los elementos que componen el gas combustible.

$$\text{PCI} = 126.4 * 23.4 + 108.0 * 4 + 354.0 * 3$$

Tendremos que:

$$\text{PCI} = \underline{4467 \text{ kJ/kg}}$$

La densidad se calcula aplicando la fórmula:

$$\Gamma = 1.250 \% \text{ CO} + 0.090 \% \text{ H}_2 + 1.977\% \text{ CO}_2 + 1.429 \% \text{ O}_2 + 1.251 \% \text{ N}_2 \text{ [kg/Nm}^3 \text{]} \quad (4.2)$$

Reemplazando valores promedios de los elementos que

componen el gas pobre.

$$\Gamma = 1.250 * 0.234 + 0.090 * 0.04 + 1.977 * 0.043 + 1.429 * 0.0167 + 1.251 * 0.636$$

tendremos que:

$$\Gamma = 1.20 \text{ kg/Nm}^3$$

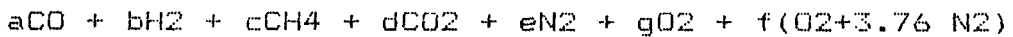
Contenido energético de la mezcla estequiométrica se calcula con la fórmula presentada en la sección 3.2.1, reemplazando los valores respectivos:

$$Hig = \frac{12680 * 0.234 + 10800 * 0.04 + 35900 * 0.03}{1 + 2.38 * 0.234 + 2.38 * 0.04 + 9.52 * 0.03}$$

Tendremos:

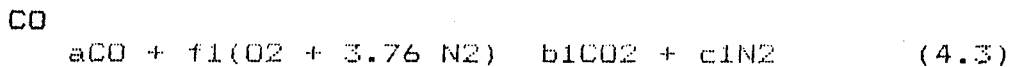
$$Hig = 2310 \text{ kJ/m}^3$$

Relación aire/combustible, para calcular este valor nos valdremos de la ecuación de combustión del gas pobre.



.....

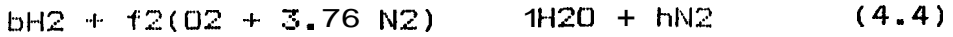
Las reacciones que se producen en la combustión son:



balanceando la ecuación $b_1 = a$; $f_1 = a/2$;

$$c_1 = 1.8 H_2$$

H2



balanceando la ecuación $1 = b$; $f_2 = b/2$;

$$h = 1.8 \text{ CH}_4$$

CH4



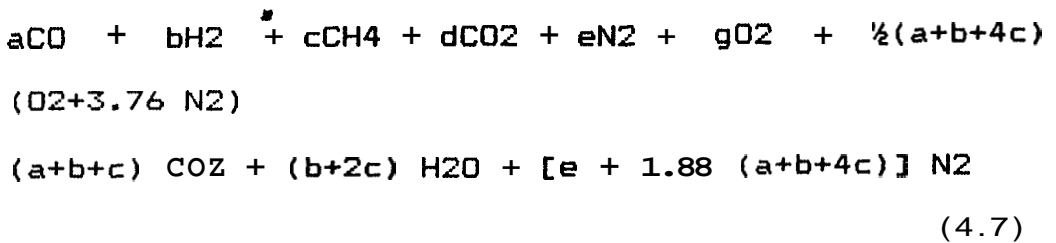
balanceando la ecuación $c=c$; $f_3=2c$; $j=2c$;

$$r = 7.526$$

Por lo tanto el aire estequiométrico necesario para la combustión será:

$$f = f_1+f_2+f_3 = a/2+b/2+2c = \frac{1}{2}(a+b+4c) \quad (4.6)$$

El CO2 y N2 no se combustiona, por lo que la ecuación de combustión estequiométrica quedaría:



$$[m \text{ a/c}] \text{ gas pobre} = \frac{(N * M) \text{ aire}}{\text{esteq.} \quad (N * M) \text{ combustible}} \quad (4.8)$$

Donde:

N = número de moles

M = peso molecular

$$[\text{m a/c}] \text{ gas pobre esteq.} = \frac{(a+b+4c-g)*16+(a+b+4c)*52.64}{28a+2b+16c+44d+28e} \quad (4.9)$$

Reemplazando los valores promedios del gas pobre tendremos que:

$$(\text{m a/c}) \text{ gas pobre esteq.} = 1.0 \text{ Nm}^3 \text{ air/Nm}^3 \text{ gas pobre}$$

De manera semejante se puede calcular las mismas propiedades para la gasolina. Los resultados se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Propiedades de la gasolina y gas pobre

Propiedades	Gasolina	Gas Pobre
Poder Calorífico PCI (kj/kg)	44191	4467
Densidad (kg/Nm ³)	735	1.20
Relación m a/c (Nm ³ aire/Nm ³ comb.)	15:1	1:1
Contenido Energético de la mezcla esteq. (kj/Nm ³)	3779	2310

La propiedad que nos servirá para **saber** cuanto de potencia pierde el motor a gasolina cuando se encuentra operando con **gas** pobre, es el contenido o **valor** energético de la mezcla estequiométrica de los dos combustibles.

El porcentaje de potencia desarrollada será la relación entre el contenido energético de la mezcla estequiométrica del gas pobre y de la gasolina.

$$\% \text{ Pot.} = \frac{2310}{3779} = 0.6113 \approx 0.61$$

De esto se deduce que existe un 39% de pérdidas con respecto a la gasolina, pudiéndose recuperar parcialmente o en su totalidad como se indica en la sección 3.3.

4.3 PRUEBAS DE BOMBEO

Las pruebas de bombeo que se realizaron, operando el motor con gasolina y gas pobre se las ejecutó con una serie de adecuaciones, en lo que refiere con la instrumentación, ya que no se cuenta con un banco adecuado para este tipo de pruebas.

4.3.1 EQUIFO E INSTRUMENTACION A UTILIZARSE

Las figs. 4.2 y 4.3 muestran la instrumentación que se utilizó en estas pruebas. Las figs. 4.4 y 4.5 muestran el sistema total con la instrumentación adecuada.

Esta instrumentación es la siguiente:

- Equipo para medición de flujo de aire (tambor con manómetro inclinado)



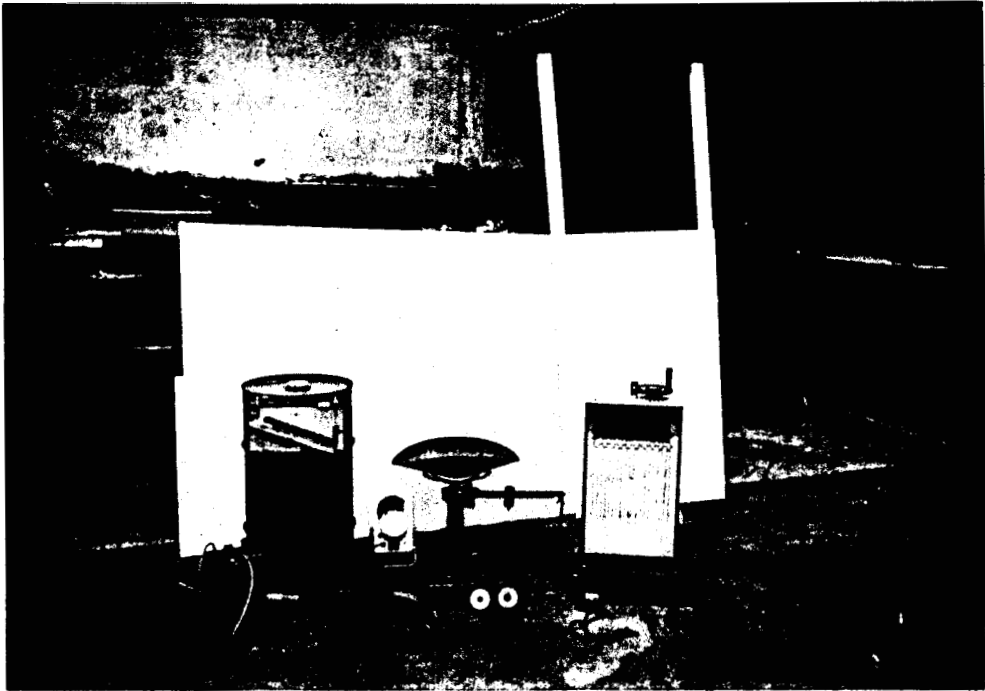


Fig. 4.2 Instrumentación utilizada para las pruebas de bombeo.



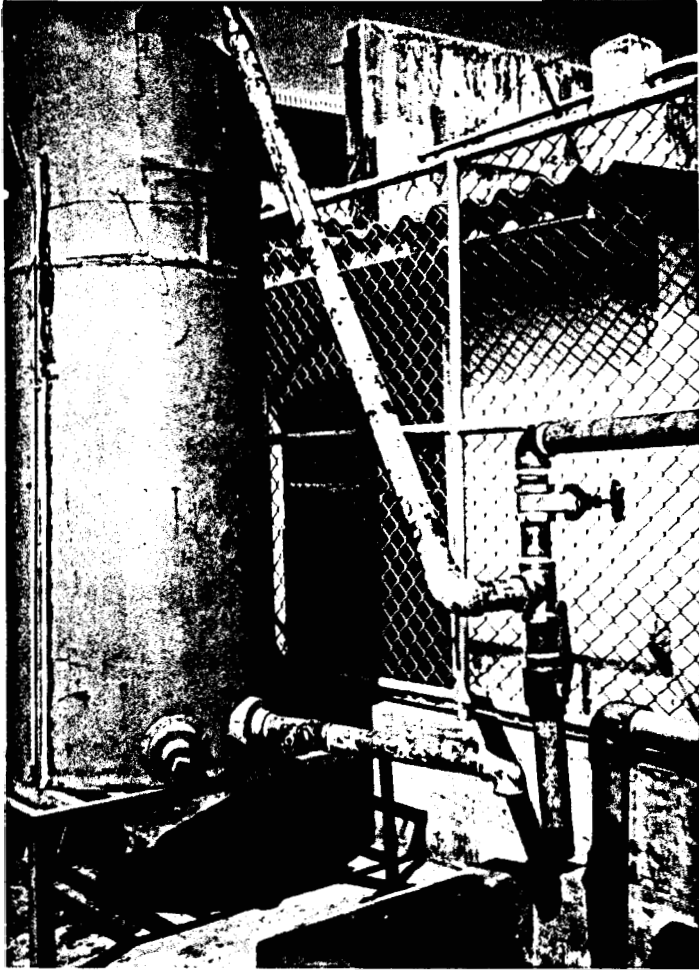


Fig. 4.3 Tanque para medición de caudal tuberías hacia la sisterna y el tanque.

- Manguera de aire
- Equipo para medición de combustible (con rotámetro)
- Boquillas medidora de flujo de 0.500 y 0.750 plg.
- Balanza
- Lámpara Estroboscópica.
- Cronómetro digital
- Equipo para medición de caudal
- Manómetro
- Vacuómetro
- Manómetro múltiple



La bomba que se utilizó en esta prueba tiene las siguientes características:

Marca	IHM
Modelo	Sello mecánico 11Me-50
RPM	Variable
Rotor orig. #	Gas: 2184049 D=121.0mm ELE: 2184061
Diámetro máx. partículas	20.0 mm
Conexión	Succ. 2" desc. 2"

El motor utilizado tiene las siguientes características:

- Marca	BRIGSS & STRATTON
- Modelo	171432

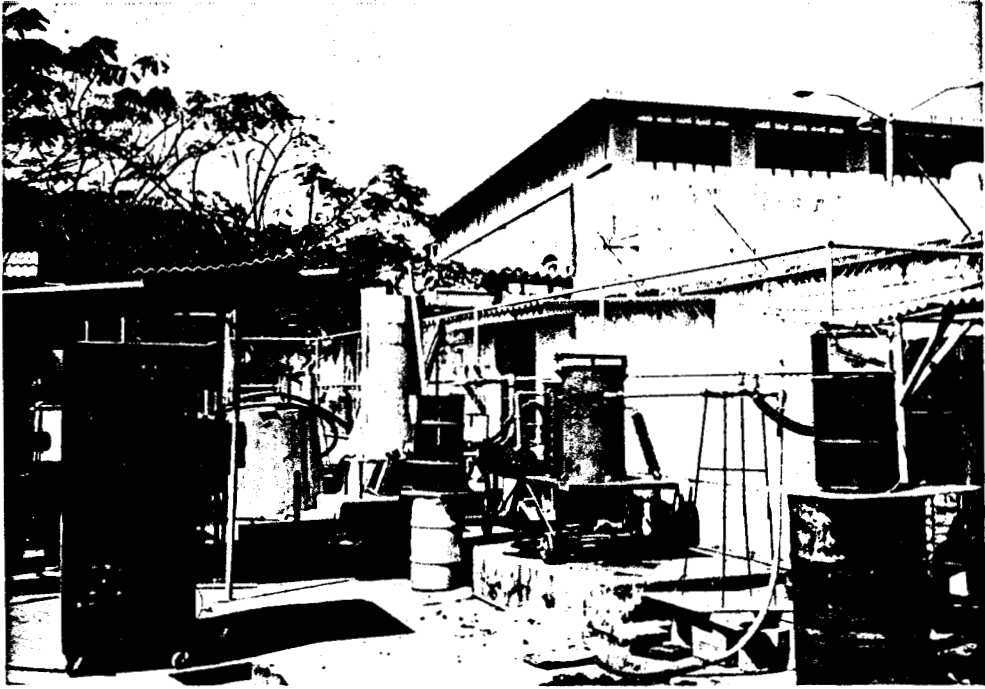


Fig. 4.4 Vista de la planta de gasificación con instrumentación instalada.

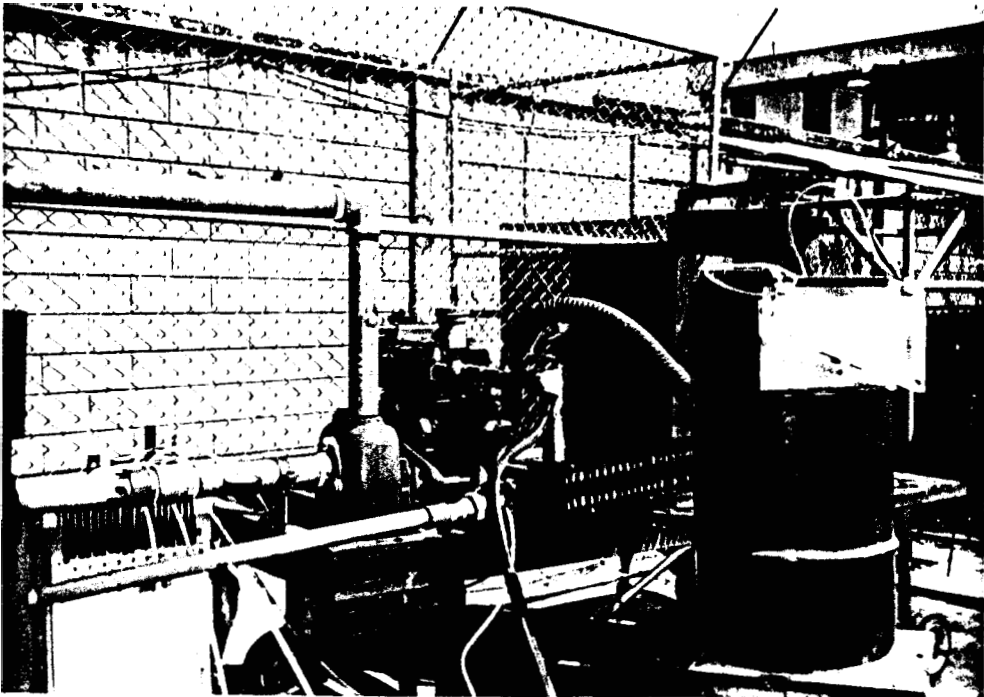


Fig. 4.5 Motor-Bomba, tubería de succión y descarga, entrada de aire al motor.



BIBLIOTECA

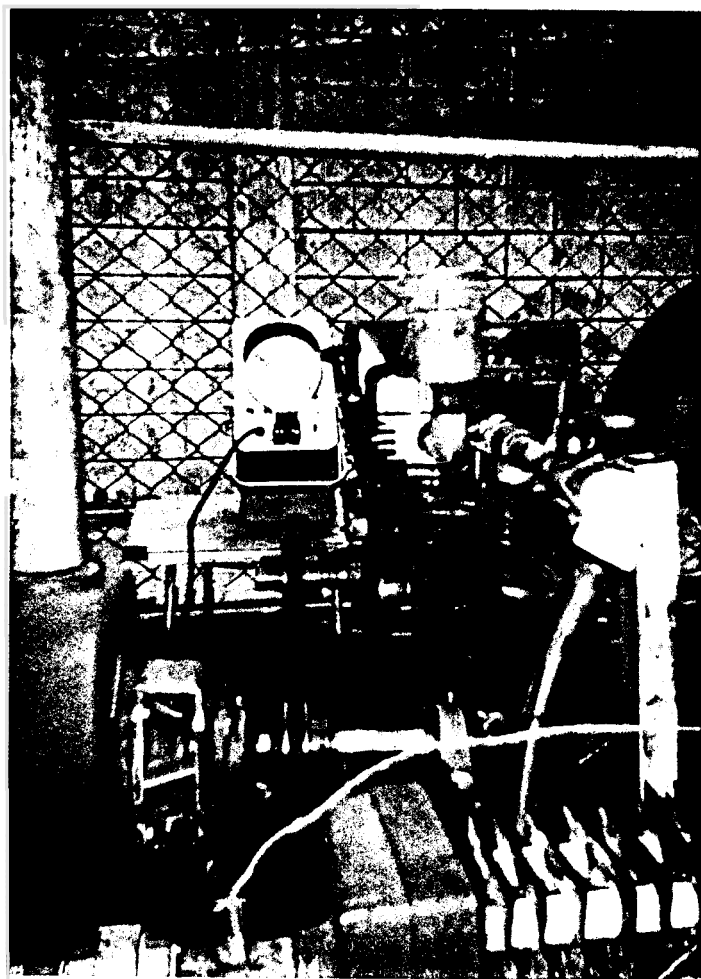


Fig. 4.6 Sistema de acoplamiento entre motor-bomba con poleas y banda.



- Tipo	Enfriado por aire, cuatro tiempos, cigueñal horizontal, monocilindrico.
- Diámetro interior	76.2 mm
- Carrera	60.3 mm.
- Cilindrada	276 cc.
- Relación de compresión	6.2: 1
- Caballaje máx. (Hp/RPM)	7.0/3600
- Capacidad continua (Hp)	6.0/3600
- Torsión máx. (ft-lbs)	11.0/2700
- Combustible	gasolina

4.3.2 FORMULAS Y CONSTANTES A EMPLEARSE EN LOS CALCULOS

- Diámetro promedio del tanque para la medición caudal, d	705 mm.
- Densidad del agua, P	996.6 kg/m ³
- Aceleración de la gravedad, g	9.81 m/S ² eg
- 1 m H O	2.894112 plg Hg
- 1 m H O	1.41781242 Psi

Flujo de agua.- Se mide en un tanque, donde se marca la altura inicial y final, tomando el tiempo de llenado entre estas dos alturas, la fórmula a utilizar es:

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 (l_f - l_i) / t$$



(4.1)

$$Q = 14.05305 (l_f - l_i) / t \quad [m^3 / hr] \quad (4.1.a)$$

$l_f; l_i$ (cm)

t (Seg)

Cabezal.- Es la diferencia entre la presión de descarga y succión expresado en metros de agua.

$$H_w = P_d - P_s \quad [mH] \quad (4.2)$$

Potencia hidráulica.- La fórmula para calcular la potencia hidráulica es:

$$P_h = \rho g Q H_w \quad (4.3)$$

$$P_h = 9.776646 * 10^{-6} Q H_w \quad [Kw] \quad (4.3.a)$$

Q (m³ / hr)

H_w (m)

Consumo de aire.- El consumo de aire fue medido en el equipo para tal, con la lectura en el manómetro inclinado, vamos hacia la fig. B.1 del apéndice B y obtenemos el consumo del aire.

Consumo de combustible.- Para el caso de la gasolina utilizamos el equipo de medición de combustible, con la lectura del rotámetro nos trasladamos a la fig. B.2 del apéndice B y obtenemos el consumo de combustible.

Para el caso del consumo de combustible, cuando el motor esté operando con gas pobre, la cantidad

de aire que ingresa al gasificador, tomaremos como la misma cantidad de flujo de gas que se dirige al motor, por lo tanto haremos uso de la fig. B.1.

Consumo específico de combustible.- No es otra cosa que el consumo de combustible que es necesario para desarrollar una determinada potencia hidráulica de la bomba.

$$cec = cc/ph \quad (4.4)$$

cc (kg/hr)

ph (kw)

Eficiencia volumetrica del motor.- La eficiencia volumétrica se calcula haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$Nvm = \frac{2729660 Ca (kg/hr)}{\text{desplazamiento (cc)*N(rpm)}} \quad [\%] \quad (4.5)$$

Velocidad específica.- La fórmula para su cálculo es:

$$Ns = \frac{N\sqrt{Q}}{[g Hw]^{3/4}} \quad (4.6)$$

$$N = 1/T \quad (1/Seg)$$

$$Q = 1/T \quad (m^3 /Seg)$$

$$Hw = L \quad (m)$$

Corrección de caudal.- Es necesario realizar una corrección en la medición del caudal, ya que al efectuar esta medición el flujo de agua tiene que pasar por una serie de uniones, llaves de control de flujo, uniones, reducciones, etc; diferencia de altura y la misma tubería, tal como lo indica la fig. 4.3, lo que implica pérdidas.

Para medir el flujo, éste primeramente se dirige al reservorio de agua o sisterna donde se obtendrá una presión de descarga y succión, F_d y F_s , respectivamente. En el momento de tomar el tiempo de llenado del tanque, el flujo deja de fluir hacia la sisterna y se dirige al tanque de medición, obteniendo lecturas en el manómetro y vacuómetro, $F'd$ y $F's$ respectivamente. Estos últimos son diferentes a los anteriores debido a la mayor resistencia que presenta el flujo en su trayectoria. Por lo que es necesario realizar la respectiva corrección, la fórmula a utilizar en esta corrección es:

$$\left(\frac{Q'}{Q}\right)^2 = \frac{H_w}{H'w} \quad (4.7)$$

4.3.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE BOMBEO OPERANDO EL MOTOR CON GASOLINA

El procedimiento experimental es el siguiente:

- 1.- Realice un acople entre motor y bomba, con poleas y banda, según lo indica la fig. 4.6
- 2.- Instale la instrumentación necesaria para esta prueba: Equipo para medición de flujo de aire (tambor), manguera de aire. La misma que se conecta entre el tambor y entrada de aire del carburador, equipo de medición de combustible (rotámetro), boquilla de 0.500 plg, estroboscopio, tanque para medir el caudal, cronómetro digital, manómetro y vacuómetro.
- 3.- Llene la carcasa de la bomba con agua (rebamamiento de la bomba).
- 4.- Arranque el motor, cierre la válvula de control de flujo hasta que marque unos 20 psi en el manómetro; luego abra totalmente obteniendo un flujo máximo.
- 5.- Tome lecturas de: presión de descarga F_d , presión de succión, F_s cabezal de aire en el motor, consumo de combustible, número de revoluciones de la bomba, tiempo de llenado en el tanque desde 1 l a 1 f.

Las lecturas de presiones se realizaron tanto, cuando el flujo se dirige a la sisterna y al tanque de medición.

- 6.- Cambie las condiciones de flujo (vaya cerrando la válvula), y tome los datos que indican en el 5.
- 7.- Tabule los datos y repita el paso 6 hasta cerrar la válvula por completo.
- 8.- Cambie la velocidad del motor, cerrando un poco el balancín, regulador de velocidad y repita los pasos 5, 6, 7.
- Y.- Calcule y grafique: cabezal, caudal, potencia hidráulica, consumo específico de combustible, eficiencia volumétrica del motor y analice resultados.

NOTA: Cuando se cambia el flujo existe una pequeña variación en la velocidad, la misma que en lo posible debe ser regulada a la velocidad que se encuentra operando.

4.3.4 GUIA DE CALCULOS

Con los datos experimentales que obtuve procedí a realizar los cálculos respectivos de: cantidad de agua que se bombea, cabezal para un determinado flujo, potencia hidráulica, consumo de aire por parte del motor, consumo de combustible, eficiencia volumétrica del motor-, velocidad específica y la corrección de caudal. Las fórmulas

a emplearse en estos cálculos son aquellos que se indican en la sección 4.3.1.

Estos cálculos se los realiza como una guía para los demás datos, y servirán para obtener los resultados, cuando se opere el motor con gasolina y gas pobre. Los datos que servirán de guía son:

Presión de succión (flujo a la sisterna)	22.5 plg H2O
Presión de succión (flujo al tanque de medicón)	21.5 plg H2O
Presión de descarga (flujo a la sisterna)	20 Psi
Presión de descarga (flujo al tanque de medicón)	22.5 Psi
Lectura inicial del tanque	40 y 30 cm
Lectura final del tanque	100 cm
Tiempo de llenado	42.67 y 49.43 Seg
Lectura del rotámetro	8.7
Lectura del manómetro	2.80 plg H2O
Velocidad promedio de la bomba	3500 rpm

Presión de Succión

$$P_s = 21.5 \text{ plg H}_2\text{O} * \frac{1 \text{ mH}_2\text{O}}{2.894112 \text{ plg H}_2\text{O}} = 7.4288765 \text{ mH}_2\text{O} \text{ (vacío)}$$

$$P'_s = 22.5 \text{ plg H}_2\text{O} * \frac{1 \text{ mH}_2\text{O}}{2.894112 \text{ plg H}_2\text{O}} = 7.7744054 \text{ mH}_2\text{O} \text{ (vacío)}$$

Presión de Descarga

$$P_d = 22.5 \text{ Psi} * \frac{1 \text{ mH}_2\text{O}}{1.41781242 \text{ Psi}} = 15.8695182 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$P'_d = 20.0 \text{ Psi} * \frac{1 \text{ mH}_2\text{O}}{1.41781242 \text{ Psi}} = 14.1062384 \text{ mH}_2\text{O}$$

Cabzal.- se calcula mediante la diferencia de presiones.

$$H_w = P_d - P_s = [15.87 - (-7.43)] \text{ mH}_2\text{O} = 23.30 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$H'_w = P'_d - P'_s = [14.11 - (-7.77)] \text{ mH}_2\text{O} = 21.88 \text{ mH}_2\text{O}$$

Flujo de Agua.- viene dado por la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 (l_f - l_i) / t$$

$$Q_1 = \frac{\pi}{4} (70.5 \text{ cm})^2 * (100 - 40) \text{ cm} / 42.67 \text{ Seg}$$

$$Q_1 = 5489.04 \text{ cm}^3 / \text{Seg}$$

$$Q_2 = \frac{\pi}{4} (70.5 \text{ cm})^2 * (100 - 30) \text{ cm} / 49.43 \text{ Seg}$$

$$Q_2 = 5528.09 \text{ cm}^3 / \text{Seg}$$



$$Q = (Q_1 + Q_2) / 2 = (5489.04 + 5528.09) / 2 = 5508.56 \text{ cm}^3/\text{Seg}$$

$$Q = 5508.56 \frac{\text{cc}}{\text{Seg}} * \frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ cc}} * \frac{60 \text{ Seg}}{1 \text{ mit}}$$

$$Q = 330.51 \text{ lpm} \equiv 19.83 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Corrección del Flujo.- Se calcula mediante la siguiente ley:

$$\left(\frac{Q'}{Q}\right)^2 = \frac{H_w}{H'w}$$



BIBLIOTECA

$$Q' = \sqrt{\frac{H_w}{H'w}} * Q = Q \sqrt{\frac{H_w}{H'w}} = 330.51 * \sqrt{\frac{23.30}{21.88}} \text{ lpm}$$

$$Q' = 341.05 \text{ lpm} \equiv 20.46 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Potencia hidráulica.- Se calcula por la fórmula:

$$Ph = \rho g Q' H'w$$

$$Ph = 996.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{Seg}^2} * 20.46 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ Seg}}$$

$$21.88 \text{ m} * \frac{1 \text{ kw}}{1000 \text{ watts}}$$

$$Ph = 1.212 \text{ kw}$$

Consumo de Combustible.- con la lectura del rothmetro nos dirigimos a la fig. B.2 del apéndice

B tomando en cuenta que la Bola del rotámetro es de zafiro rojo de 1/8 plg didmetro y tendremos que:

$$cc = 1.27 \text{ kg/hr.}$$

Consumo de Aire.- Con la lectura del cabetal del manómetro y tomando en consideración que la boquilla es de 0.500 plg de didmetro nos dirigimos a la fig. B.1 del apéndice B y tenemos que:

$$ca = 18.14 \text{ kg/hr}$$

Relación Aire-Combustible

$$ma/c = 18.14/1.27$$

$$ma/c = 14.28 \frac{\text{kg/hr aire}}{\text{kg/hr combustible}}$$

Consumo Específico de combustible.- el ccc está en función del consumo de combustible del motor y la potencia hidráulica de la bomba.

$$cec = cc/ph = \frac{1.27 \text{ kg/hr}}{1.212}$$

$$cec = 1.04 \text{ kg/kw-hr}$$

Eficiencia Volumétrica del motor.- Se calcula mediante la fórmula:

$$Nvm = \frac{2729660 Ca \text{ (kg/hr)}}{\text{Desplazamiento (cc) * N (rpm)}}$$

$$N_{vm} = \frac{2729660 * 18.14}{276 * 3500} = 51.2588$$

$$N_{vm} = 51.26\%$$

Velocidad Especifica.- se calcula aplicando la fórmula:

$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{[g \text{ Hw}]^{3/4}}$$

$$N = 3500 \frac{\text{rev}}{\text{mit}} * \frac{2\pi \text{ Rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ mit}}{60 \text{ Seg}} = 366.5191 \text{ Seg}^{-1}$$

$$Q = 20.46 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ Seg}} = 0.0056833 \text{ m}^3/\text{Seg}$$

$$H_w = 21.88 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ m}/\text{Seg}^2$$

$$N_s = \frac{366.5191 * \sqrt{0.0056833}}{[9.81 * 21.88]^{3/4}} = 0.49273$$

$$N_s = 0.493$$

4.3.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE BOMBEO OPERANDO CON GAS-POBRE

Antes de encender el gasificador, debe tenerse presente lo siguiente:

- Verificar si existe la cantidad suficiente de

combustible sólido.

- El tipo y tamaño adecuado del carbón.
- Comprobar si la parrilla del gasificador, el sistema de filtros y el intercambiador de calor están limpios.

Cuando el gasificador está encendido debe comprobarse si la tapa del tanque del combustible sólido está bien cerrado, que no permita la entrada de **aire** en el gasógeno y **en la línea de gas**.

Los motores de combustión interna de 4 tiempos son los adecuados para ser utilizados en gasógenos. En el primer tiempo, aspiración, el pistón baja en el cilindro, con la válvula de admisión abierta, aspirando **aire** o la mezcla **aire/combustible** hacia dentro del cilindro. Iniciando la toma de **aire** por el gasificador, ese **aire** pasará por su interior, entrando en contacto con el combustible (carbón) que una vez inflamado, reaccionará con el oxígeno del **aire** generando **gas** pobre.

Una segunda entrada de **aire** en este circuito, entre el gasificador y el motor, debidamente calibrado producirá una mezcla **aire/gas** pobre inflamable, que servirá de combustible gaseoso al motor.

El motor en primera instancia, su operación es con un combustible líquido, luego se regula el

mezclador aire-gas pobre, a fin de formar un vacío en la entrada de aire del gasógeno.

En el caso de utilizar un ventilador para ayudar en el encendido del gasógeno, debe tenerse mucho cuidado con el gas generado, toda vez que siendo rico en monóxido de carbono, es extremadamente letal para el operador que se encuentra cerca. Se recomienda mantener un mechero encendido próximo a la salida del quemador, por donde comienza a fluir el gas producido para quemar todo el gas producido, reduciendo así el riesgo de envenenamiento por causas del monóxido de carbono. Debe también evitarse el arrancar el gasógeno en ambientes cerrados o mal ventilados.

Operación de encendido gasificador-motor

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito el procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1.- Colocar carbón entre la parrilla del gasificador y el anillo que sirve de soporte de la garganta refractoria (crisol), el tamaño del carbón será entre 25-50 mm.
- 2.- Coloque la garganta refractoria debidamente centrada y llene de carbón como también a su alrededor.
- 3.- Proceda a encender el carbón haciendo uso de cera, kerex o diesel, una vez que comience a

encenderse, inyecte aire por la tobera, mediante un ventilador o fuelle debidamente acoplado a la entrada de aire del gasificador, deje que funcione hasta que esté encendido en su mayoría el carbón colocado en la garganta refractoria. Este paso debe realizarse con la válvula abierta del quemador de gas pobre y la válvula cerrada de la línea que conduce gas hacia el mezclador.

4.- Apague el ventilador y remueva el carbón encendido que se encuentra dentro de la garganta refractoria, procediendo luego a cargar por completo el gasificador de combustible sólido (carbón).

5.- Cierre el gasificador y encienda el ventilador, con la finalidad de que ingrese aire al gasificador y llegue hasta la garganta refractoria, mediante la tobera, la misma que debe estar concéntrica con respecto a la garganta refractoria, comenzando la producción de gas pobre.

6.- Con el gasificador previamente cargado de combustible sólido y bien cerrado, observamos si fluye gas por el quemador de gas, de ser positivo procedemos a quemar este gas en el quemador hasta que la llama sea lo más estable posible y de tonalidad azulado-rojiza, caso

negativo remueva el carbón con la ayuda de una barilla.

Cuando se proceda a remover o cargar nuevamente el gasificador es necesario apagar el ventilador y tener cerca una mecha encendida, para que en el momento que se abra la tapa del gasificador, instantaneamente se acerque la mecha y se quemé los gases remanentes que se quedaron atrapados en la parte superior del gasificador, ya que al apagar el ventilador los gases asciende.

Una vez que la llama sea estable en el quemador, estamos listo para realizar las operaciones, para que el motor trabaje con gas-pobre.

*

- 7.- Arranque el motor haciendo uso de combustible auxiliar, en nuestro caso gasolina.
- 8.- Cierre la válvula del quemador, apagando éste y abra la válvula de la línea que conduce el **gas** al mezclador.
- 9.- Desconecte el ventilador. Abra lentamente la entrada de **gas** en el mezclador hasta **que** el motor esté a punto de apagarse, momento en que abre un poco más la entrada del aire del mezclador hasta que el motor aumente la



rotación. Si el motor no responde, se vuelve a cerrar hasta el punto donde se encontraba, abriendo un poco más la entrada del gas pobre.

Cuando el motor aumente la rotación, únicamente con la entrada del aire y el gas pobre, se cierra lentamente la entrada de combustible líquido, disminuyendo la rotación del motor, luego se abren más las entradas del gas y el aire hasta que el motor nuevamente aumente la rotación. Procédase, así sucesivamente hasta cerrar por completo la entrada del combustible líquido.

10.- Cuando el motor se encuentre funcionando bien con el gas regule la entrada del mismo en el punto de mejor rendimiento.

Operación de Bombeo

Cuando se va a bombear con el motor operando con gas pobre, es necesario que comience este proceso desde cuando el motor opera con el combustible auxiliar, esto es desde el paso 7 descrito arriba.

Además se necesita contar y haber instalado adecuadamente la instrumentación descrita en la sección 4.3.

El procedimiento a seguir es el siguiente:



- a.- Antes de proceder arrancar el motor ^{con} gasolina, realice el acople entre motor-bomba, para la transmisión de energía mecánica respectiva.
- b.- Instale los siguientes instrumentos: Equipo para medición de flujo de aire tanto para el motor y gasificador con boquillas de 0.750 y 0.500 plg. respectivamente, estroboscopio, tanque de medición de caudal, cronómetro digital, manómetro, vacubmetro y manómetro múltiple para medir las caídas de presión en el tren de limpieza del gasificador-motor.
- c.- Cierre la válvula para el medidor del flujo de aire del gasificador y abra la válvula de entrada de aire que viene del ventilador.
- *
- d.- Llene la carcasa de la bomba con agua (cebe la bomba).
- e.- Arranque el motor con gasolina y proceda a bombear agua.
- f.- Siga los pasos 8, 9, 10 anteriormente descritos.
- g.- Una vez conseguido que el motor opere con gas pobre y se encuentre bombeando con caudal máximo, proceda a tomar los siguientes datos.

Presiones de descarga (sistema, tanque), presiones de descarga (sistema, tanque), número de revoluciones de la bomba, cabezal de aire en el motor y gasificador, tiempo de llenado entre $l_i - l_f$ y caídas de presión en el tren de limpieza gasificador-motor.

h.- Varie lentamente las condiciones de flujo (cierre la válvula de control de flujo), tome los datos que indican en g y tabule.

i.- Repita h hasta cerrar completamente la válvula.

j.- Calcule y grafique: cabezal total, caudal, potencia hidráulica, consumo específico de combustible, consumo de aire del motor, consumo de gas, relación aire/combustible, eficiencia volumétrica del motor, analice sus resultados y compare con los resultados cuando el motor opera con gasolina.

Los cálculos.- Se los realiza de manera semejante a los ya hecho anteriormente (bombeo con gasolina).

El consumo de gas pobre se toma igual a la entrada de aire al gasificador.

TABLA 4.4

DATOS DE BOMBEO CON GASOLINA

RPM Bomba	Presion de Succion		Presion de descarga		li - lf		Tiempo (Seg)	cc hcc	ca hca
	Ps (plg.H2O)	Ps'	Pd (Psi)	Pd'	(cm)				
3480	25.0	25.0	8.0	0	16	97	50.33	Y.6	2.74
					23	80	34.42		
3500	25.0	25.0	10.0	3.0	24	90	41.35	9.5	2.76
					28	90	39.55		
3500	24.0	25.0	15.0	10.0	30	90	313.66	9.2	2.80
					30	90	38.25		
3480	23.0	24.0	19.0	15.0	30	90	51.33	Y.0	2.80
					50	100	33.32		
3480	21.5	22.5	22.5	20.0	40	100	42.67	8.7	2.74
					30	100	52.61		
3500	20.0	20.5	26.5	25.0	30	100	53.31	8.7	2.54
					30	100	53.31		
3500	16.5	16.5	31.0	31.5	30	100	62. P4	8.4	2.38
					30	100	61.86		
3520	12.0	12.0	37.0	37.5	30	100	Y0.86	8.3	2.38
3520	9.0	3.0	41.0	41.0	30	100	184.67	8.2	2.30
3520	8.0	8.0	42.5	42.5	---	---	---	8.0	2.20



TABLA 4.5

DATOS DE BOMBEO CON GASOLINA

RPM Bomba	F'resion de Succion		F'resion de descarga		li - lf		Tiempo (Seg)	cc hcc	ca hca
	Ps	Ps'	Fd	Fd'	(cm)				
	(plg.H2O)		(Psi)						
2970	24.0	24.5	7.5	2.0	35	100	49.52	8.7	1.38
2980	23.0	24.5	8.0	2.0	40	100	40.82	8.Y	1.38
2980	22.75	24.0	10.0	5.0	40	100	42.92	8.6	1.36
2970	21.5	23.3	11.5	7.5	35	100	51.56	Y.2	1.42
2980	20.5	22.0	13.5	10.0	40	100	45.18	8.5	1.34
2980	20.5	21.5	14.5	12.0	40	100	49.42	9.3	1.42
2980	19.0	20.0	16.0	13.5	40	100	50.32	8.3	1.32
2970	16.5	17.5	17.5	17.0	40	100	55.80	7.9	1.24
2980	16.0	17.5	19.5	18.5	40	100	57.68	7.7	1.22
2970	14.5	14.5	21.5	21.5	40	100	63.22	7.3	1.18
2980	12.5	12.5	23.0	23.0	40	100	76.28	7.2	1.12
2980	10.5	10.5	25.5	25.5	40	100	106.50	7.2	1.20
2990	a. 5	8.5	29.0	29.0	20	50	160.80	7.1	1.20
2990	7.5	7.5	31.0	31.0	--	--	---	7.1	1.20
2700	21.5	23.75	7.5	2.5	40	100	42. a4	6.9	0.98
2700	21.25	23.75	7.5	2.5	40	100	40.60	6.8	0.98
2700	20.0	22.0	9.75	5.5	40	100	43.62	6.6	0.96
2700	19.0	21.0	10.5	7.5	40	100	46.00	6.5	0.96
2700	17.5	18.75	12.75	11.0	40	100	4Y.60	6.3	0.94
2700	16.5	18.0	13.5	11.5	40	100	51.74	5.8	0.08
2700	14.5	15.0	17.0	15.5	40	100	58.30	6.2	0.94
2700	12.25	12.5	17.5	17.5	40	100	71.00	5.1	0.82
2700	10.5	10.5	20.0	20.0	30	100	104.92	5.1	0.80
2700	8.5	8.5	21.0	21.0	30	100	166.84	5.0	0.78
2700	6.0	6.0	25.0	25.0	--	--	---	5.0	0.78
2520	19.5	22.5	5.5	2.0	40	100	50.77	5.0	0.74
2500	19.0	22.5	5.5	2.0	40	100	47.38	5.2	0.74
2500	17.0	19.5	8.0	5.0	40	100	52.66	5.1	0.72
2500	16.5	17.0	10.0	8.0	40	100	58.29	5.3	0.76
2500	15.5	17.5	10.0	8.0	40	100	57.24	5.1	0.74
2500	14.5	16.0	11.0	10.0	40	100	62.02	5.0	0.72
2500	12.5	13.0	13.0	12.5	40	100	72.50	5.1	0.74
2500	11.5	11.5	14.0	14.0	40	100	89.44	5.1	0.72
2500	11.0	11.0	15.5	15.5	40	100	92.72	5.0	0.72
2500	9.5	9.5	17.0	17.0	40	100	134.90	4.9	0.70
2500	7.5	7.5	19.0	19.0	--	--	---	4.8	0.70

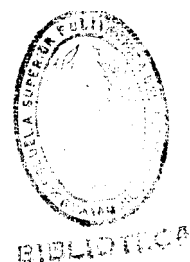


BIBLIOTECA

TABLA 4.6

DATOS DE BOMBEO CON GAS-POBRE

RPM Bomba	Presion de Succion		Presion de descarga		li - lf		Tiempo (Seg)	hca motor Cam	hca gasif Caq
	Ps (plg.H2O)	Ps'	Fd (Psi)	Fd'	(cm)				
2640	18.0	20.0	5.0	2.0	30	100	56.96	0.33	0.30
2700	19.5	21.0	6.0	2.0	30	100	54.76	0.30	0.46
2600	17.5	19.0	7.5	5.0	30	100	61.27	0.26	0.58
2580	15.5	17.5	9.0	7.5	30	100	64.55	0.26	0.56
2560	14.0	15.0	11.0	10.0	30	100	68.51	0.26	0.60
2550	11.5	12.5	13.0	12.5	30	100	00.56	0.26	0.58
2550	11.0	11.0	15.0	15.0	30	100	102.90	0.26	0.56
2550	10.0	10.0	16.5	16.5	30	100	155.77	0.26	0.56
2550	9.0	9.0	17.0	17.0	30	70	193.85	0.26	0.57
2550	8.0	8.0	18.0	18.0	--	---	---	0.26	0.57
2600	18.5	20.0	6.0	2.0	30	100	56.88	0.28	0.50
2580	17.5	18.0	8.0	5.0	30	100	58.74	0.28	0.52
2550	16.0	16.5	10.0	7.5	30	100	59.73	0.31	0.52
2550	15.0	15.5	15.0	15.5	30	100	62.61	0.32	0.54
2550	13.0	13.5	13.5	13.0	30	100	69.82	0.32	0.54
2560	12.0	12.0	14.5	14.5	30	100	96.31	0.32	0.54
2560	10.5	10.5	16.0	16.0	30	100	140.53	0.32	0.53
2550	9.0	9.0	17.5	17.5	30	70	133.84	0.32	0.54
2560	5.5	5.5	20.0	20.0	--	---	---	0.32	0.54



CAPITULO V

RESULTADOS

*



TABLA 5.1

RESULTADOS DE BOMBEO CON GASOLINA 3500 RPM

Cabeza1 Total H'w (mH2O)	Caudal Q' (lpm)	Pot. Hid. Ph (kw)	Consumo aire ca (kg/hr)	Consumo Gmb. cc (kg/hr)	ma/c	Nvm (%)	cec kg/kw-hr
8.64	490.73	0.691	17.72	1.44	12.44	50.63	2.08
10.75	447.54	0.784	17.96	1.43	12.56	50.75	1.82
15.69	400.79	1.025	18.14	1.36	13.34	51.26	1.33
18.87	374.60	1.152	18.14	1.33	13.64	51.26	1.30
21.88	341.05	1.216	18.14	1.27	14.28	51.26	1.04
24.72	314.00	1.26	17.15	1.25	13.72	48.46	1.05
27.92	261.10	1.187	17.42	1.27	14.11	50.63	1.00
30.60	179.40	0.894	16.92	1.19	14.22	47.81	1.33
32.03	88.78	0.463	16.56	1.17	14.15	46.77	12.53
32.74	---	---	16.00	1.13	14.16	45.21	---



BIBLIOTECA

TABLA 5.2

RESULTADOS DE BOMBEO CON GASOLINA

Cabezal Total H'w (mH2O)	Caudal Q' (lpm)	Pot. Hid. Ph (kw)	Consumo aire ca (kg/hr)	Consumo Comb. cc (kg/hr)	ma/c	Nvm (%)	cec kg/kw-hr
9.88	360.51	0.5130	12.61	1.26	10.0	41.85	2.17
9.88	403.84	0.650	12.61	1.30	9.7	41.85	2.00
11.82	367.80	0.708	12.70	1.25	10.16	42.15	1.76
13.32	318.89	0.692	12.43	1.36	9.14	41.25	1.96
14.65	331.10	0.790	12.34	1.33	9.28	40.95	1.68
15.89	296.77	0.768	12.70	1.38	9.2	42.15	1.80
16.43	291.07	0.773	12.16	1.19	10.22	40.36	1.53
18.04	251.89	0.740	11.79	1.12	10.53	39.13	1.51
19.09	244.40	0.760	11.66	1.07	10.90	38.70	1.41
20.17	215.47	0.708	11.70	1.00	11.70	38.83	1.41
20.54	184.23	0.617	11.56	0.98	11.79	38.36	1.54
21.61	131.95	0.465	11.50	0.98	11.73	38.17	2.11
23.39	43.68	0.166	11.50	0.96	11.98	35.17	5.78
24.45	----	----	11.50	0.96	11.98	38.17	----
9.97	370.51	0.602	10.34	0.92	11.24	37.88	1.53
9.97	389.05	0.632	10.34	0.89	11.62	37.88	1.41
11.48	353.05	0.660	10.14	0.86	11.79	37.14	1.30
12.55	322.38	0.659	10.27	0.84	12.23	37.62	1.27
14.24	291.20	0.675	1.16	0.79	12.86	37.22	1.17
14.33	279.94	0.654	9.80	0.70	14.00	35.90	1.07
16.12	247.58	0.650	10.16	0.78	13.03	37.22	1.20
16.66	197.30	0.536	9.39	0.57	16.47	34.39	1.06
17.73	156.26	0.451	9.27	0.57	16.26	33.96	1.26
17.75	98.27	0.284	9.17	0.55	16.67	33.59	1.91
19.7	----	----	9.17	0.55	16.67	33.59	----
9.18	299.29	0.443	8.94	0.55	16.25	35.37	1.24
9.18	316.28	0.473	8.94	0.59	15.15	35.37	1.25
10.26	282.67	0.473	8.80	0.57	15.44	34.81	1.21
11.86	249.99	0.483	8.80	0.60	14.67	34.81	1.24
11.69	252.95	0.482	9.07	0.57	15.91	35.88	1.18
12.58	228.27	0.468	8.8	0.55	16.00	34.81	1.17
13.31	195.14	0.423	8.94	0.57	15.68	35.37	1.35
13.85	157.12	0.355	8.53	0.57	14.36	33.74	1.60
14.73	151.56	0.364	8.80	0.55	16.00	34.81	1.51
15.27	112.85	0.281	8.62	0.52	16.58	34.10	1.85
15.99	----	----	8.62	0.51	16.90	34.10	----



TABLA 5.3

RESULTADOS DE BOMBEO CON GAS POBRE

Cabezal Total H'w (mH2O)	Caudal Q' (lpm)	Pot. Hid. Ph (kw)	Consumo aire ca (kg/hr)	Consumo Gas cg (kg/hr)	ma/g	Nvm (%)	cec kg/kw-hr
8.32	311.56	0.422	12.25	4.99	2.45	45.88	11.82
8.67	336.166	0.475	11.61	6.67	1.74	42.53	14.04
10.09	283.62	0.466	10.09	7.80	1.29	38.38	16.74
11.34	258.07	0.476	10.09	7.60	1.33	38.68	15.96
12.24	242.80	0.484	10.09	7.89	1.28	38.98	16.31
13.13	203.57	0.436	10.09	7.80	1.29	39.14	17.89
14.38	159.33	0.573	10.09	7.80	1.29	39.14	20.92
15.09	105.25	0.259	10.09	7.60	1.33	39.14	29.34
15.10	48.33	0.119	10.09	7.60	1.33	39.14	63.85
15.45	---	---	10.09	7.70	1.31	39.14	---
8.32	325.69	0.422	11.02	7.08	1.56	41.53	16.01
9.75	305.68	0.485	11.02	7.26	1.52	42.25	14.56
10.99	296.16	0.530	11.97	7.26	1.65	46.44	13.69
12.41	271.04	0.548	12.32	7.42	1.66	47.80	13.53
13.83	236.34	0.533	12.32	7.42	1.66	47.80	13.91
14.37	170.23	0.399	12.32	7.42	1.66	47.61	10.59
1.4.91	116.67	0.248	12.32	7.34	1.68	47.61	25.83
15.45	70.00	0.176	12.32	7.42	1.66	47.80	42.14
16.01	---	---	12.32	7.42	1.66	47.130	---

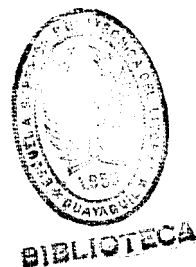


TABLA 5.4

COMPARACION DE DIFERENTES CARACTERISTICAS, CUANDO EL BALANCIN REGULADOR DE VELOCIDAD DEL MOTOR, SE AUTOREGULA

CARACTERISTICAS	GASOLINA	GAS - POBRE
RPM	3500	2560
Nv (%)	55 - 42	38 - 48
Consumo de Combustible (Kg/hr)	1.13 - 1.44	7.1 - 7.8
Consumo Especifico de Combustible (kg/kw-hr)	2.1 - 1.0	16.0 - 13.5
Consumo de Aire (Kg/hr) motor	16 - 18	10 - 12
Relacion m a/c	12.4 - 14.2	1.3 - 1.6
Cabecal min. (mts.)	8.6	8.3
Cabecal max. (mts.)	32.7	16.0
Caudal max. (lpm)	491	326
Potencia Hidraulica Q max (Watts)	691	422
Potencia Hidraulica maxima (Watts)	1216	548



TABLA 5.5

COMPARACION DE DIFERENTES CARACTERISTICAS, CUANDO EL MOTOR OPERA APROXIMADAMENTE A LA MISMA VELOCIDAD

CARACTERISTICAS	GASOLINA	GAS - POBRE
RPM	2500	2560
Nv (%)	33 - 35	38 - 48
Consumo de Combustible (Kg/hr)	0.51 - 0.60	7.1 - 7.8
Consumo Especifico de Combustible (kg/kw-hr)	1.24 - 1.17	16.0 - 13.5
Consumo de Aire (Kg/hr)motor	8.5 - 8.9	10 - 12
Relacion m a/c	14.7 - 16.9	1.3 - 1.6
Cabzal min. (mts.)	9.2	8.3
Cabzal max. (mts.)	16.0	16.0
Caudal max. (lpm)	300	326
Potencia Hidraulica Q max (Watts)	443	422
Potencia Hidraulica maxima (Watts)	483	548



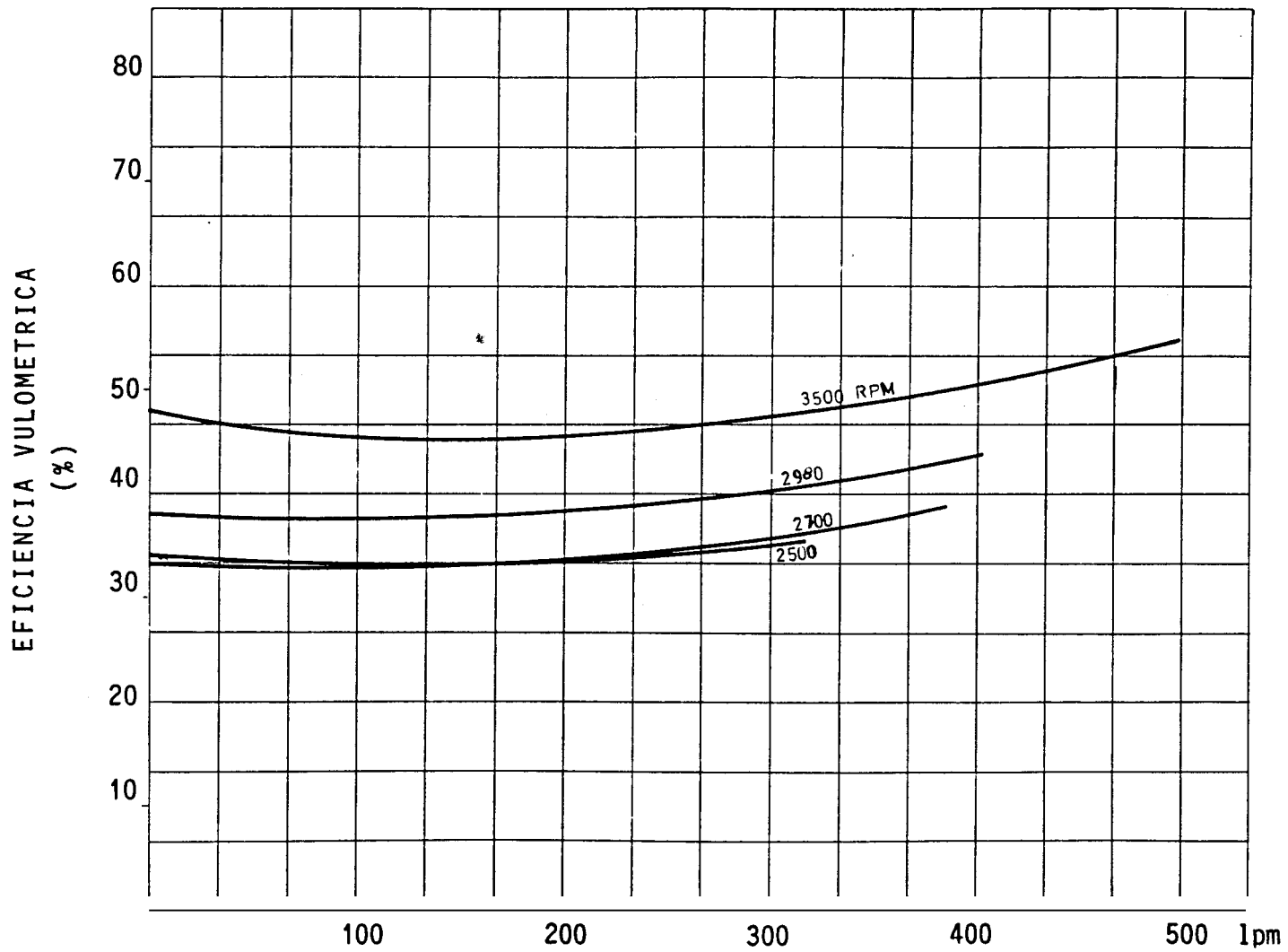


Fig. 5.1 Curva eficiencia volumétrica vs. caudal (gasolina)

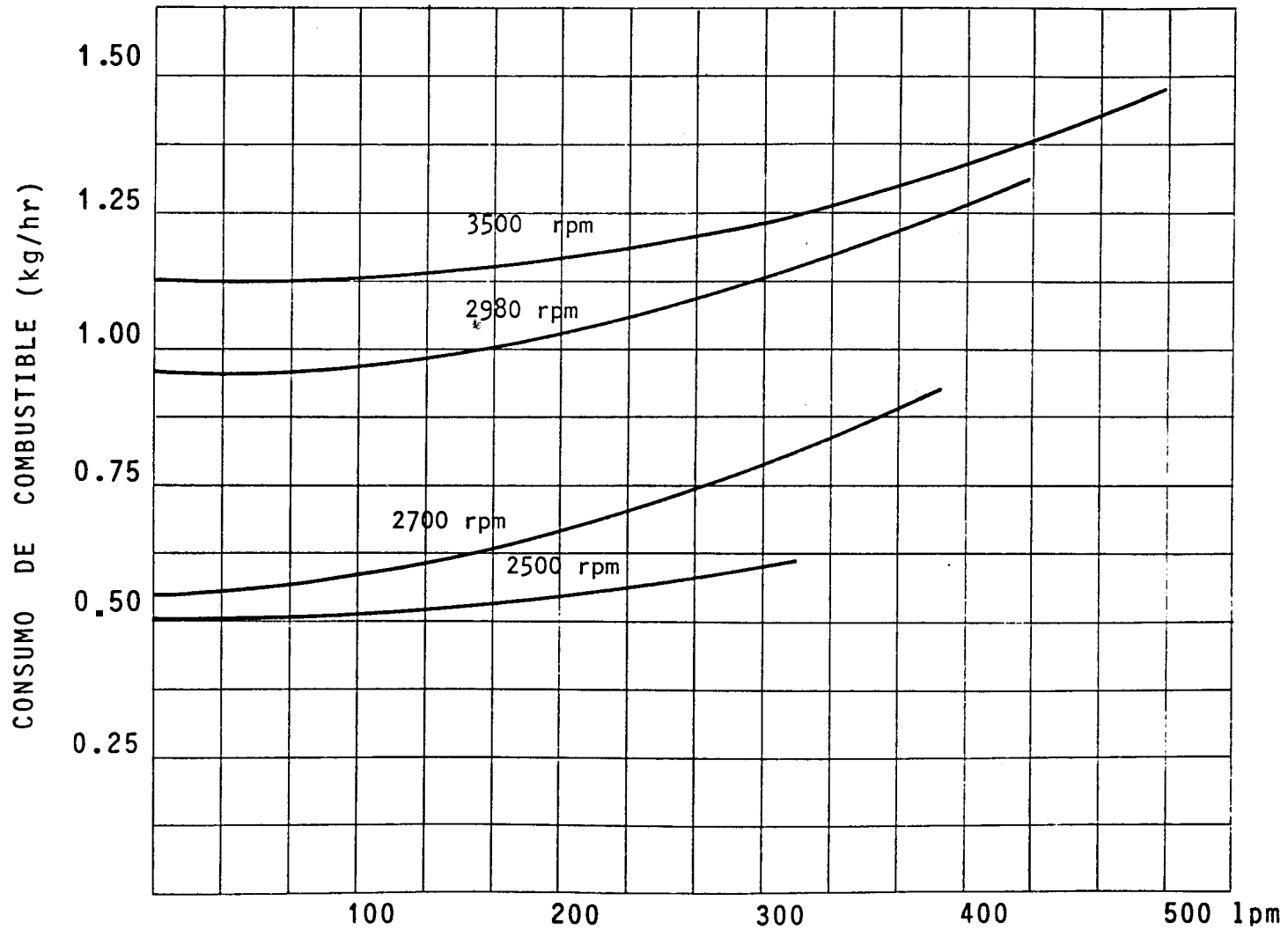


Fig. 5.2 Consumo de combustible vs. caudal (gasolina)

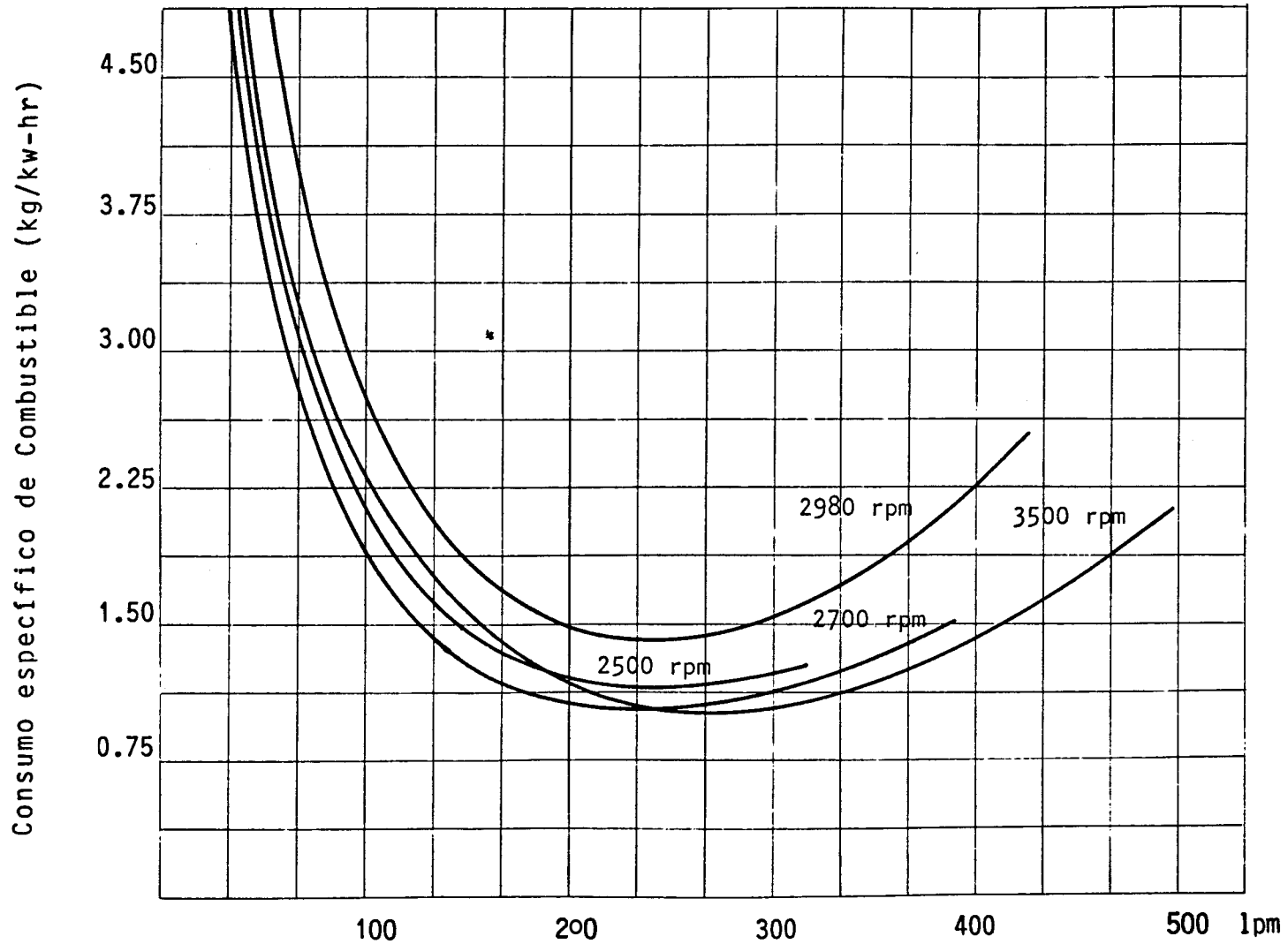


Fig. 5.3 Consumo específico de combustible vs. caudal (gasolina)

BIBLIOTECA



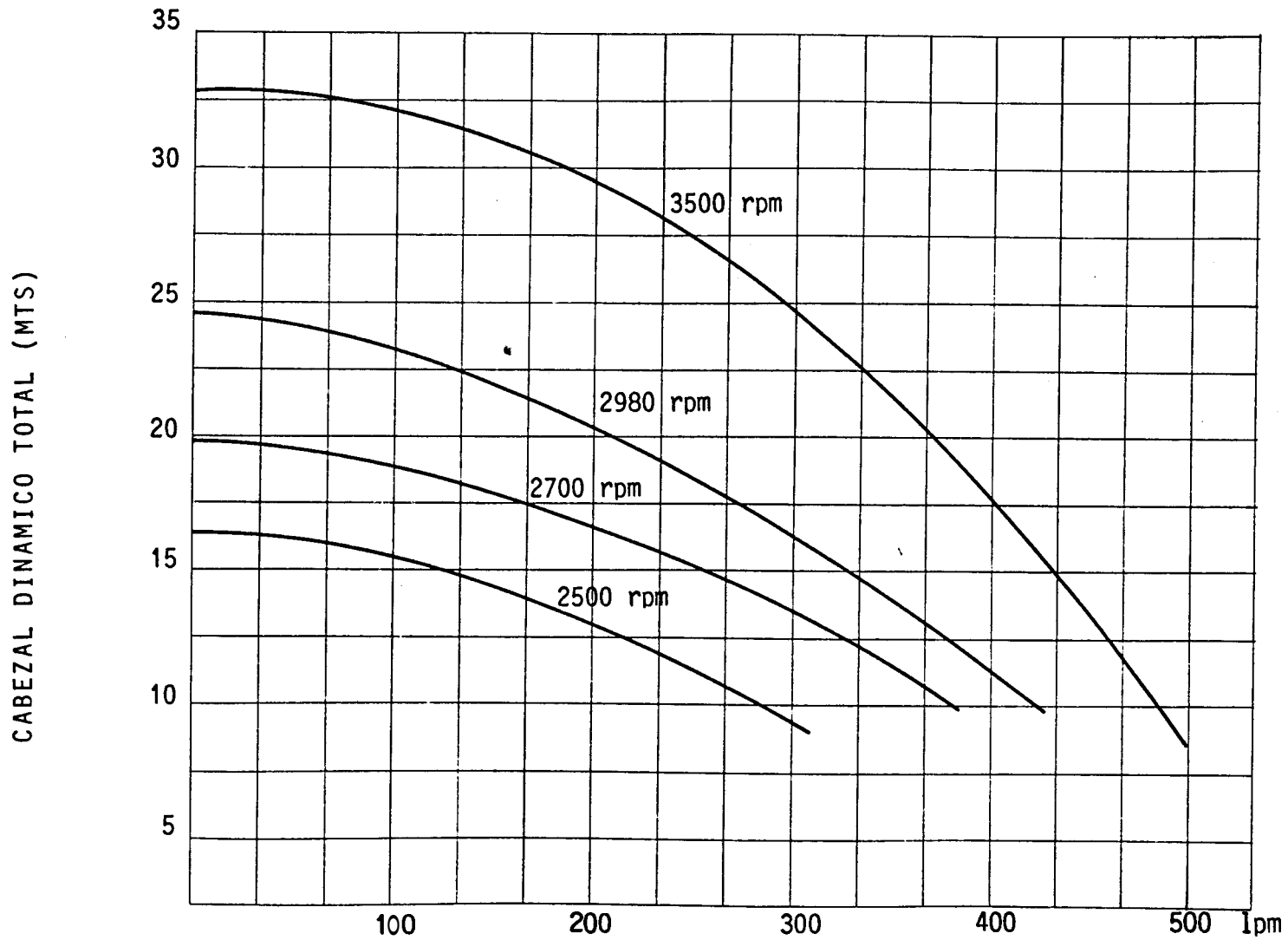


Fig. 5.4 Cabezal dinámico total vs. caudal (gasolina)

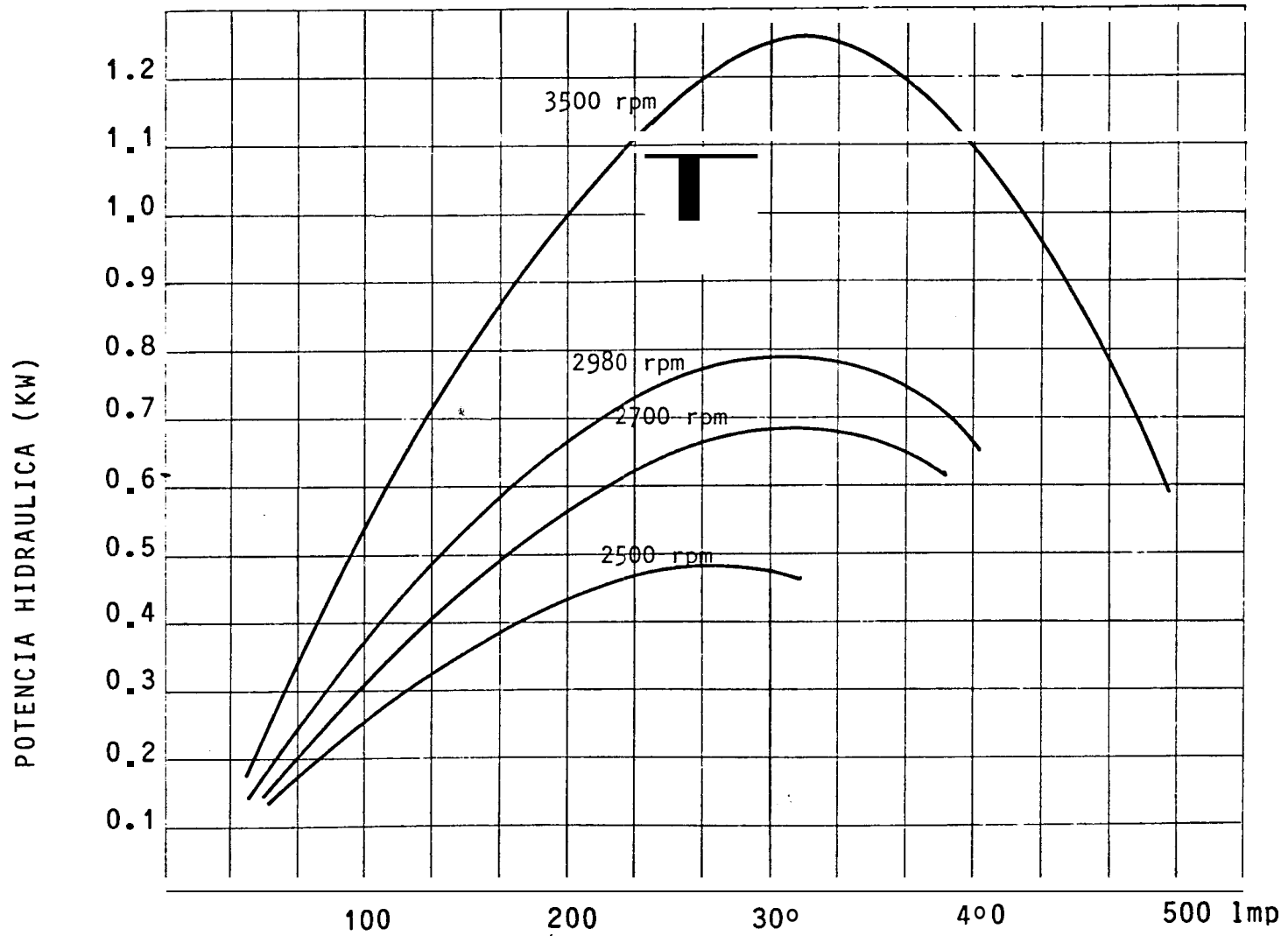


Fig. 5.5 Potenci# hidra#lica vs. caud#l (gasolin#)

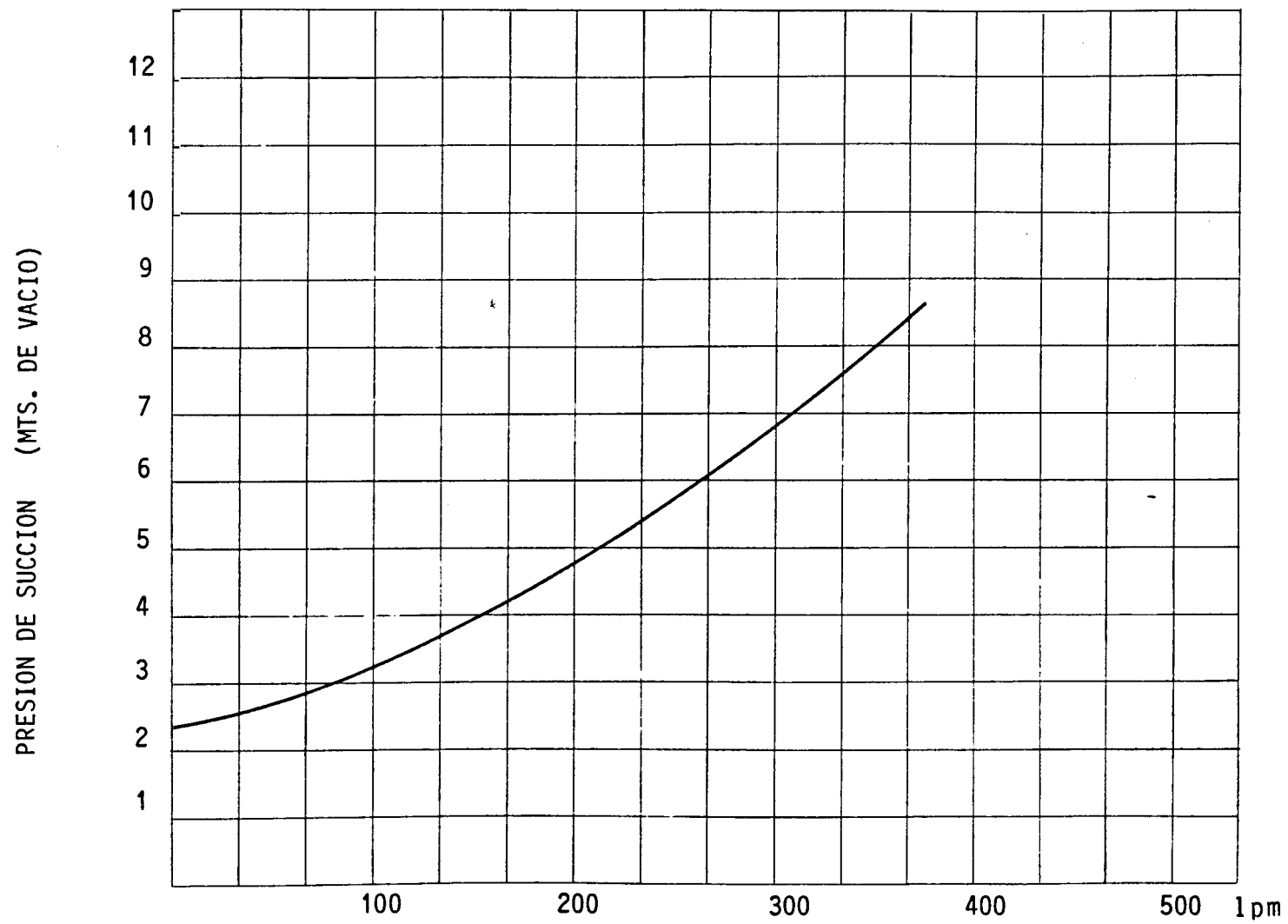


Fig. 5.6 Presión de succión vs. caudal

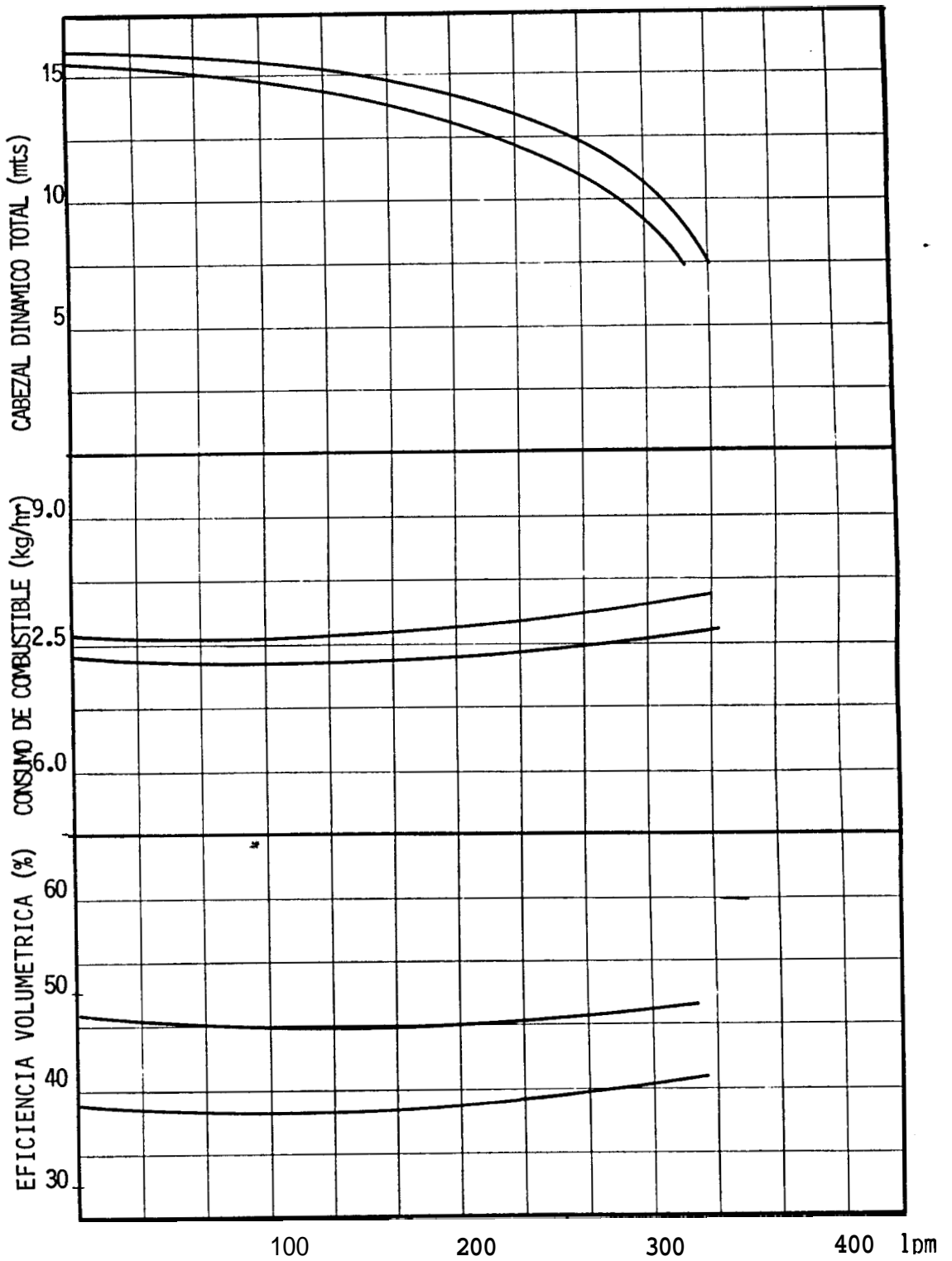


Fig. 5.7 Cabezal dindmico total, consumo de combustible, eficiencia volumétrica vs. caudal (gas pobre)

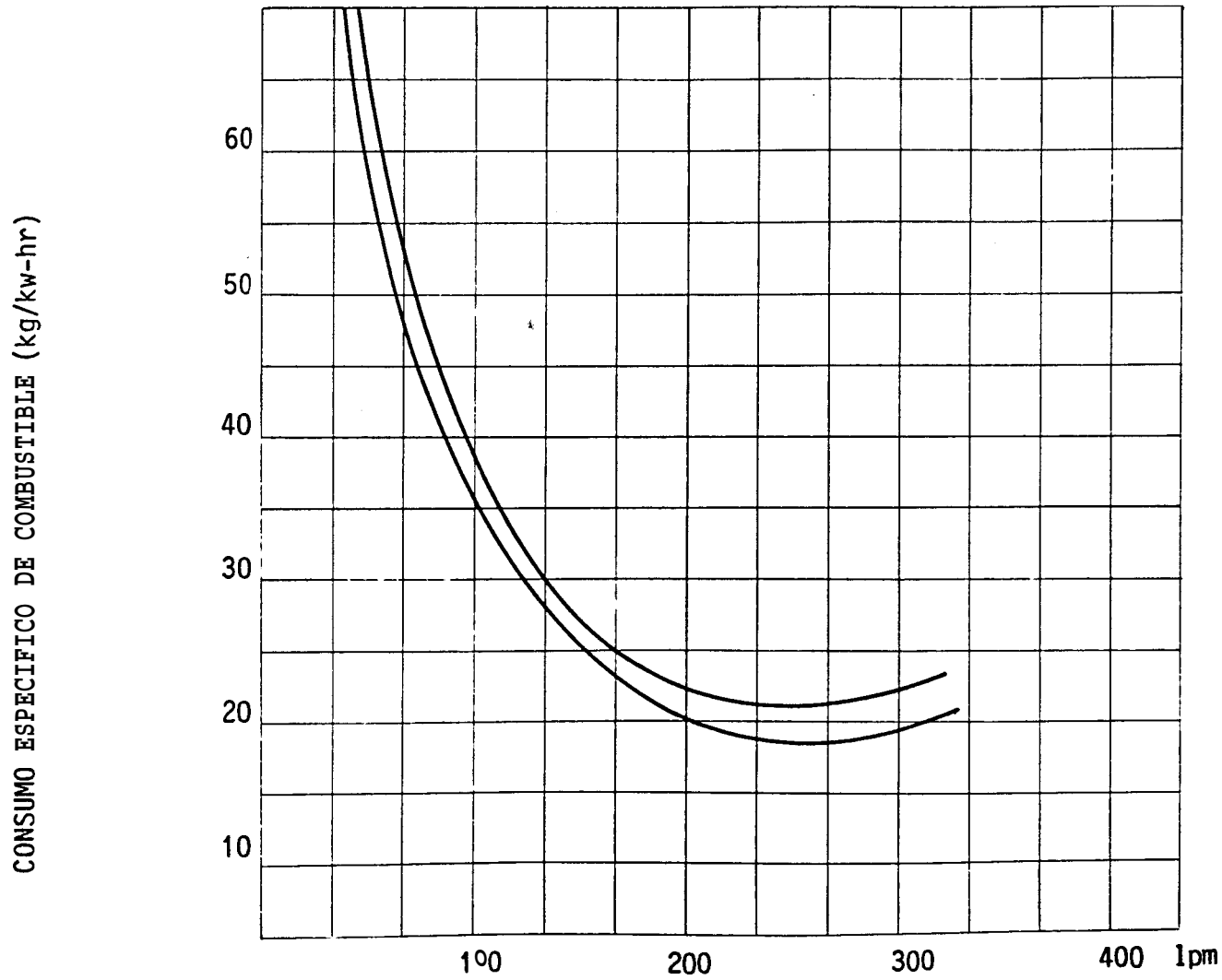


Fig-5.8 Consumo específico de combustible vs caudal (gas pobre)

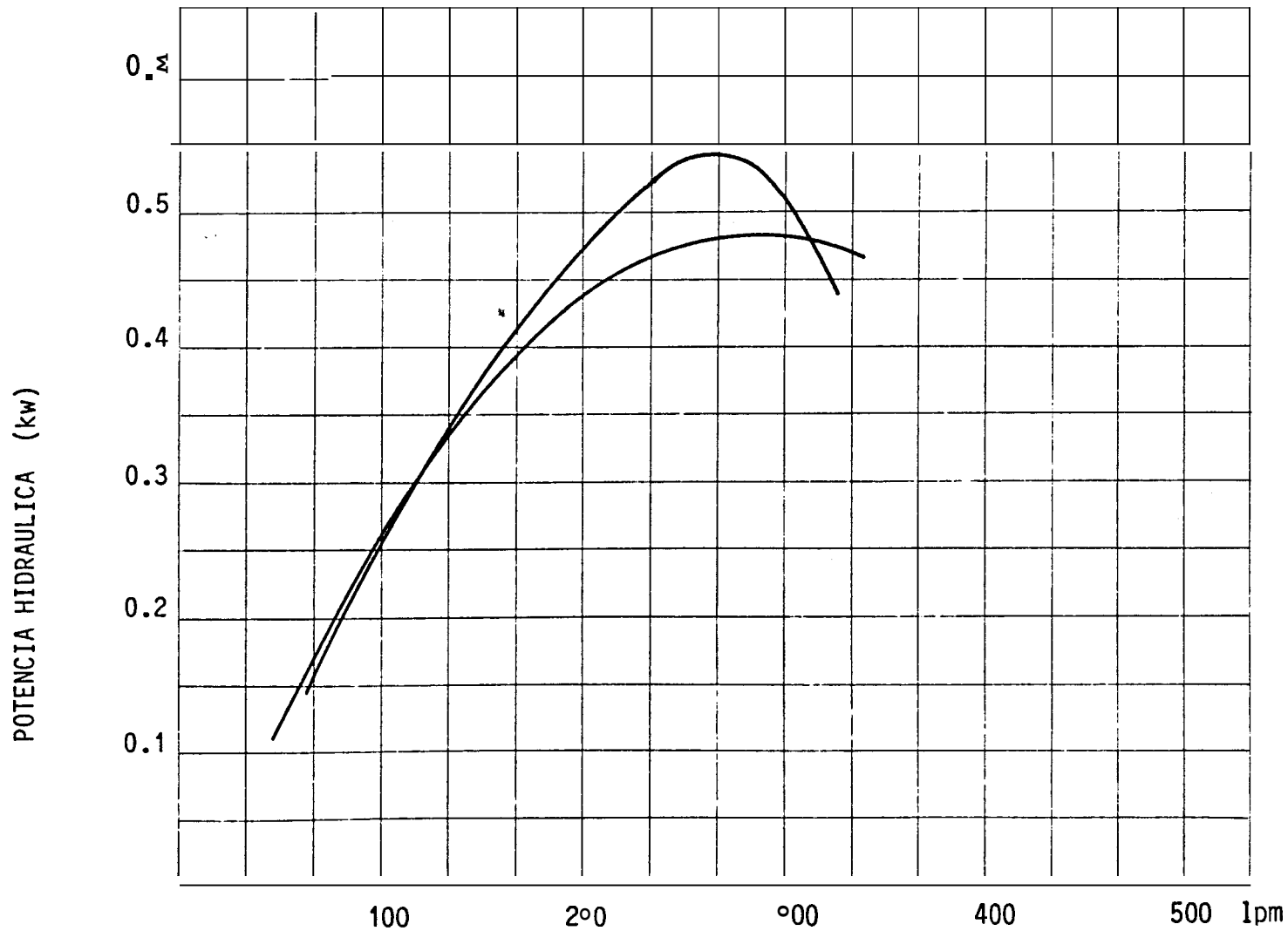


Fig. 5.9 Potencia Hidráulica vs. caudal (gas pobre)

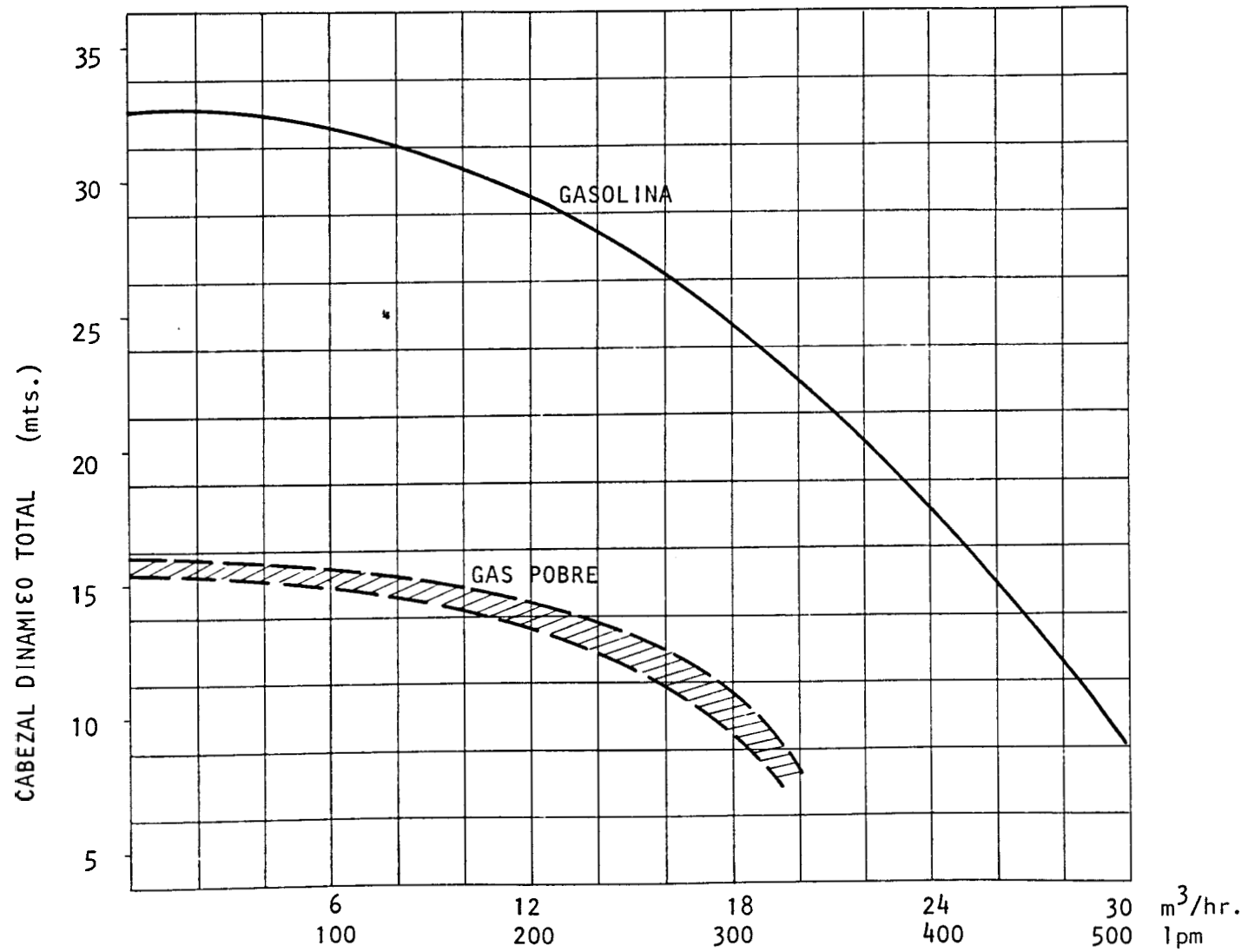


Fig. 5.10 Cabezal Total vs. Caudal; Para Gasolina y Gas-Pobre.

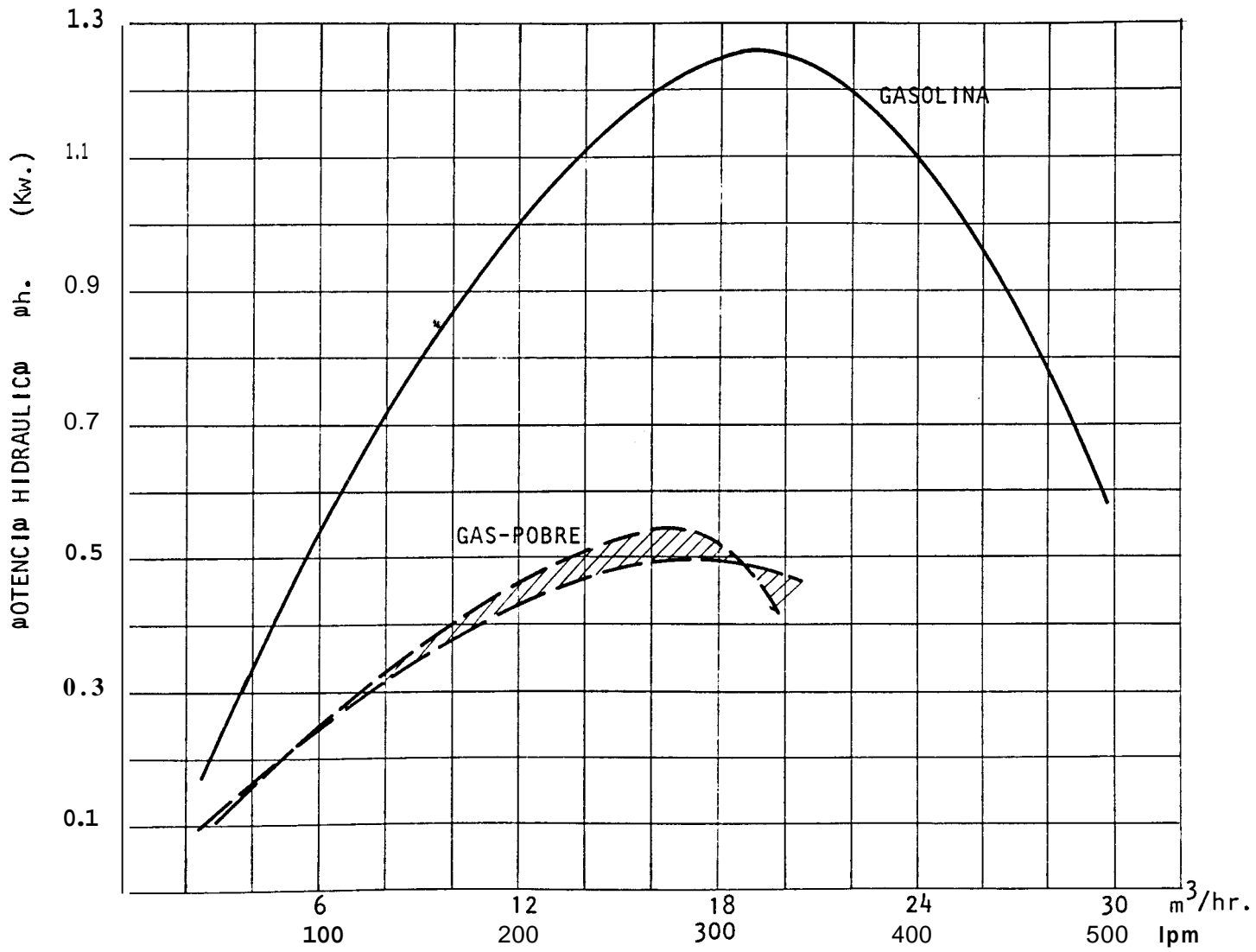


Fig. 5.11 Potencia Hidráulica vs. Caudal; Para Gasolina y Gas-Pobre.

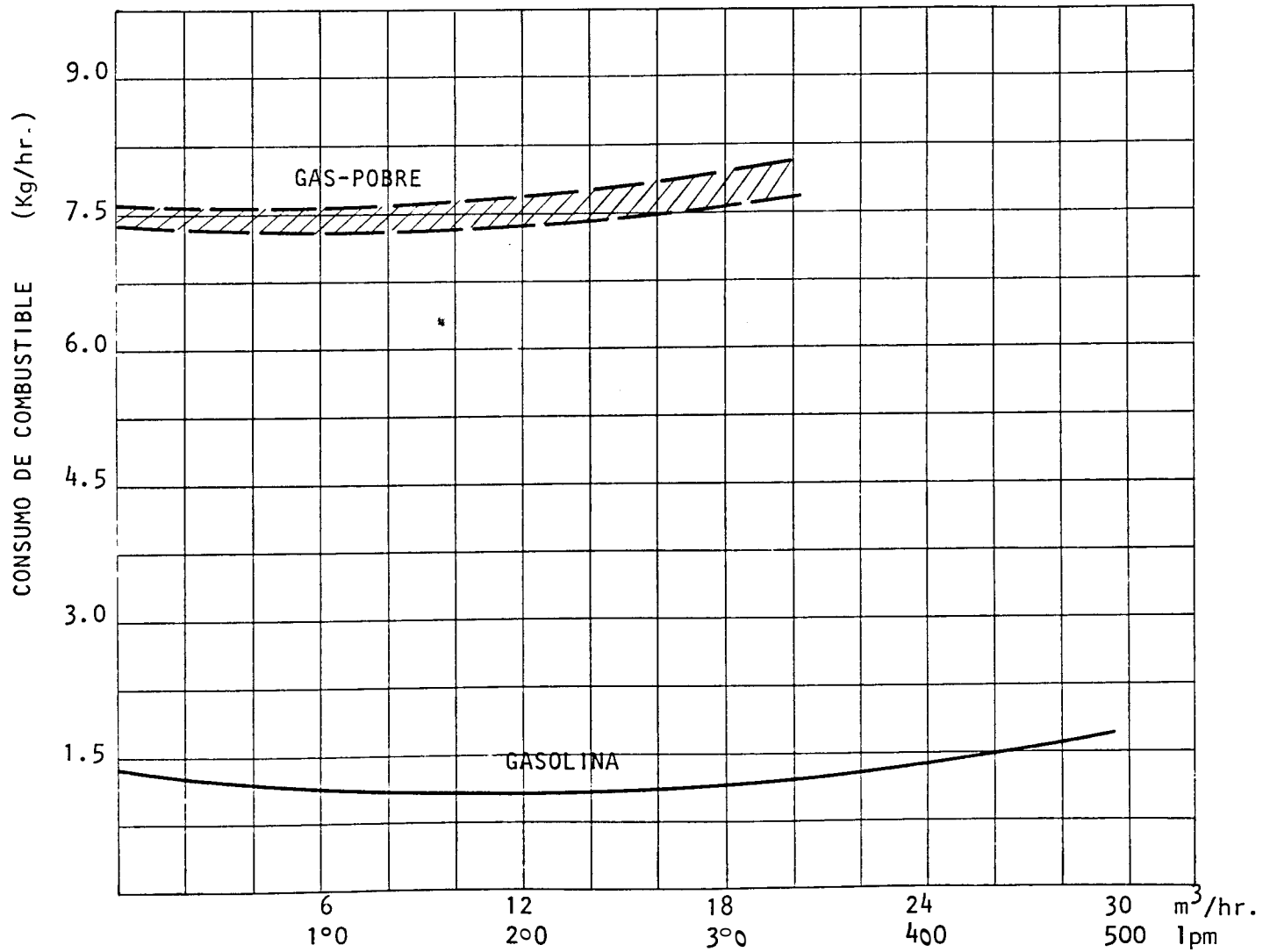


Fig 5 12 Consumo de combustible vs Caudal; Para Gasolina y Gas-Pobre

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En relación a los elementos que componen el gas pobre tal como lo muestra la Tabla 4.1, se observa que existe una diversidad de composiciones del gas pobre, lo que conlleva a que varíe continuamente el poder calorífico del combustible y por ende el contenido energético de la mezcla, trayendo como consecuencias que la energía mecánica desarrollada en el motor varíe, en ciertos casos puede llegar inclusive a apagarse el motor.

En la tabla se muestra que el 31% de los elementos que componen el gas pobre son gases combustibles, este porcentaje puede incrementarse utilizando un mejor combustible sólido para gasificar, inyectando vapor, etc.. Por otro lado, el hidrógeno del gas pobre es necesario para lograr un alto poder calorífico y aún más importante para aumentar la velocidad de la llama para las mezclas de gas-pobre/aire y en consecuencia, disminuir el tiempo requerido por la mezcla para una combustión completa.

Es importante destacar que el Poder calorífico del gas pobre es más alto, mientras más alto sea el contenido de hidrógeno, y no con una mayor generación de metano o monóxido de carbono. Por otro lado, un alto contenido de hidrógeno es muy perjudicial para motores que tengan alta

relación de compresión. Por lo tanto no es técnicamente factible y no es económico aumentar la relación de compresión más allá de 10:1 u 11: 1.

Un bajo contenido de hidrógeno en cambio no es deseable por varias razones, como el poder calorífico más bajo y una velocidad de llama menor. Los contenidos de hidrógeno por arriba del 10% pueden requerir de un tiempo altamente retardado de encendido, con altas relaciones de compresión y la mayor parte de la potencia ganada será perdida. Además los motores de alta compresión son mucho más difíciles de arrancar y el arranque manual es casi imposible.

En lo que tiene que ver con los gases combustionados del motor, cuando éste opera con gas pobre, se puede decir que: el monóxido de carbono se quema en un 95%, llegando casi a una combustión completa. De los resultados que están en la Tabla 5.5, se puede decir que el motor a operado con un 30% de exceso de aire para el primer caso y de un 63% de exceso de aire para el segundo caso. Cuando el motor opera con mayor exceso de aire el contenido de CO en los gases de escape del motor llega a 0.6%, aprovechando un 98% del CO del gas pobre. Por otro lado cuando el motor trabaja con más exceso de aire, se empobrece la mezcla y el contenido energético también bajo, por lo que ocurre una disminución de potencia del motor.

En cuanto al motor que se utilizó para éste proyecto, no se realizó modificación alguna, sea en la relación de compresión, adelanto de la ignición, etc. El único acople que se realizó fue en la entrada de la mezcla de combustible, el acople utilizado es el que muestra la fig. 2.7. Este mezclador funcionó bien para los objetivos planteados, la velocidad del motor en operación con gas pobre fue alrededor de las 2560 rpm que era un valor que estábamos esperando, pudiendo compararse este resultado con experiencias reportadas por Brasil, Suecia y otros países. Es necesario realizar estudios sobre mezcladores de gas-pobre/aire, ya que como los principales elementos de gases combustibles del gas pobre, varían en cada momento, es indispensable también tener una variación de la entrada de aire para la mezcla, con el fin de tener siempre una mezcla estequiométrica homogénea, y de esta manera poder obtener en lo posible una potencia desarrollada por el eje del motor estable.

Referente a la eficiencia volumétrica del motor, ésta se comporta de manera similar con el de la gasolina, cuando el motor opera con un exceso de aire del 63%, su eficiencia baja cuando el motor opera con un 30% de exceso de aire. Si observamos la Tabla 4.6 nos podemos dar cuenta que la velocidad del motor operando con gas pobre es más estable en el rango de 2550-2560; por lo que se puede concluir que el motor puede trabajar con diferentes rangos de exceso de aire, obteniendo

aproximadamente un mismo número de revoluciones y una potencia de salida en eje del motor aproximadamente estable.

Una de las maneras de mejorar la eficiencia volumétrica del motor es sobrealimentándolo, con esto se logra que en cilindro del motor ingrese mayor cantidad de mezcla de combustible, por lo tanto se tendrá mayor energía química del combustible para que pueda ser transformado en energía mecánica, consiguiendo finalmente una mayor potencia del motor cuando opere con gas pobre.

Si realizamos una comparación en cuanto al costo del combustible para la operación del motor, con gasolina y gas-pobre durante una hora, obtendremos que es más económico trabajar con gas pobre de carbón vegetal.

Tomando en cuenta que 1 saco tiene aproximadamente 15kg, con un costo de S/.2200, tendremos que 1 kg de combustible sólido tendrá un valor de S/.147. La experiencia en este proyecto nos muestra que se necesita 1.8 kg de carbón para generar gas-pobre durante una hora de operación del motor, teniendo como resultado económico de S/.265 durante dicho tiempo. Si utilizamos gasolina para la operación del motor se necesita aproximadamente de un galón en el tiempo referido anteriormente, con un costo de S/. 295. Lo que se puede concluir, que es más económico operar con gas-pobre en un 10%. Si el combustible sólido se comprara directamente al productor,

puede salir económico su operación hasta en un 65%. Si aplicamos esta tecnología en la región amazónica o donde se cuenten con una gran reserva forestal, para producción de carbón, saldrá mucho más económico en comparación con el valor de los combustibles líquidos en estos lugares.

Analizando la potencia, observando la fig 5.11, es evidente que existe una disminución de la potencia cuando opera el motor con gas-pobre. Esta disminución no se debe a una menor eficiencia de combustión, sino a que la cantidad de combustible (de masa) que entra al cilindro es menor en el caso del gas-pobre.

La potencia teórica esperada de acuerdo a la relación del contenido energético de la mezcla estequiométrica del gas-pobre/gasolina, es alrededor del 61% de la potencia con gasolina. Pero lo que realmente se ha obtenido es una potencia del 44% con respecto a la gasolina. La razón principal de pérdida del 17% de potencia es por la depresión causada por el motor desde la entrada de aire al gasificador hasta la admisión misma, teniendo que consumir energía para poder vencer tanto las fricciones causadas por el flujo de gas, como las depresiones del sistema. Es posible recuperar el 17% de las pérdidas sufridas, si se vencen las caídas de presión en el tren de limpieza y purificación del gas, haciendo uso de un ventilador e introduciendo aire al gasificador en vez de que el motor lo succione, aunque se tenga que suministrar

energía extra.

Para recuperar en un 100% la potencia básicamente se debe tener muy en cuenta los siguientes factores:

- Buena calidad de gas
- Relación de compresión de 10:1 u 11:1
- Tener un buen mezclador de gas/aire
- Sobrealimentar el motor
- Adelanto de la ignición de 35-40° AFMS

Si no se sobrealimenta el motor se puede recuperar del 70-75% de la potencia.

Observando la fig. 5.10 podemos decir que para un sistema de transmisión de potencia de 1 a 1 entre motor-bomba, con el cual se trabajó se obtuvo una disminución del 51% del cabezal dinámico total, en cuanto al caudal éste disminuyó en un 33%, esto se debe básicamente, porque la velocidad de operación de la bomba es distinta, 3500 con gasolina y de 2560 con gas pobre. Cuando el motor opera con gasolina a 2500 rpm la curva cabezal vs. caudal es similar, ya que la bomba depende únicamente de la potencia que le transmite el motor.

Se pueden lograr cabezales y caudales más altos con otra relación de transmisión de poleas y banda del motor-bomba. Pero se tiene una limitación que será el número de revoluciones máxima que puede llegar el motor operando con gas pobre, como también el espacio disponible para la

colocación de poleas y banda.

Finalmente se puede decir que el proyecto que se ha tratado, se ha podido cumplir con los objetivos planteados, los mismos que podrán servir como referencia para trabajos posteriores.

Como sugerencia de trabajos posteriores cabe mencionar lo siguiente:

- Obtener las curvas, características del motor, operando con gas pobre y realizar la comparacibn con gasolina, los datos y resultados operando el motor con combustible líquido se incluye en el apéndice, para que pueda cumplirse con este objetivo.
- Diseñar un mezclador óptimo de gas-pobre/aire, como también realizar un análisis de los efectos del gas en el interior del motor.
- Optimizar el sistema según lo descrito en la sección 3.3.
- Operación de motores diesel y turbinas a gas con gas pobre.
- Utilizar gas-pobre en motores y la energía mecánica desarrollada en el eje, aprovechar para la generacibn de energía eléctrica.

A P E N D I C E S

*

APENDICE A

PRUEEAS DEL MOTOR OPERANDO CON GASOLINA

Las pruebas experimentales que se efectuaron en el motor operando con gasolina, son con la finalidad de obtener las curvas características, se midieron valores de torque o par motor, tiempo de consumo de combustible, velocidad de rotación del eje del motor, voltaje, amperaje y cabezal de consumo de aire del motor. Estas pruebas se realizaron a velocidad constante y velocidad variable, las curvas que se obtengan de los resultados que se presentan en este apéndice servirán para revisar una evaluación y comparación del motor cuando opere con gas pobre bajo las condiciones anteriormente descritas, en futuros proyectos.

El banco de pruebas utilizado es el que se encuentra instalado en el Laboratorio de Conversión de Energía de la Facultad de Ingeniería Mecánica, el mismo que es de la casa F'LINT & PARTINERS LTD. ENGINEER, modelo TE-46.

Este banco 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 el equipo más relevante, en base a esto que se escogió para poder realizar adaptaciones y las pruebas respectivas. Las características de este equipo son:

- | | |
|---|----------|
| - Máxima velocidad permitida | 3600 rpm |
| - 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 dinamómetro | 20 A |
| Aislamiento | 30 A |

FORMULAS Y CONSTANTES A EMPLEARSE EN LOS CALCULOS

- | | |
|--|-------------|
| - Densidad del combustible [ρ_c] | 0.735 kg/lt |
| - Poder calorífico del combustible [PCI] | 44191 kj/kg |
| - Frazo de torque [l] | 265 mm. |
| - Para motores de 4 tiempos [k2] | 2 |
| - Diámetro del orificio de entrada de aire [D] | 18 mm. |

TORQUE.- Es la fuerza o esfuerzo de torsión y es medido en términos de fuerza por longitud del brazo de torque.

$$T = F(Nt) * l \text{ (mts)} \quad (a)$$

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

$$\text{Pot} = \frac{F * RPM}{35040} \text{ [kw]} \quad (b)$$

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

$$cc = \frac{v * Fot}{t} \quad (c)$$

$$cc = 0.018375/t \text{ [kg/Seg]} \quad (c.1)$$

v = Volumen de combustible, corresponde a 25 cc

t = tiempo de consumo del combustible en seg.

CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE.- Indica la cantidad de combustible que el motor consume para desarrollar una determinada potencia.

$$c.e.c = \frac{c.c}{Pot} * 3600 \quad (d)$$

$$c.e.c = \frac{66.15 \times 10^3}{Pot} \text{ [kg/kw-hr]} \quad (d.1)$$

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

$$c_a = 1.232 \times 10^{-5} D^2 \sqrt{\frac{h_o * P_a}{T_a}} \quad (e)$$

$$c_a = 39.917 * 10^{-4} \sqrt{\frac{h_o * F_o t}{T_a}} \quad (e.1)$$

donde:

h_o: Cabezal a través del orificio (cm H₂O)

P_a: Presión atmosférica (Knt/m²)

T_a: Temperatura ambiente (°k)

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

$$t = \frac{Pot}{cc * PCI} * 100 \quad (f)$$

$$t = 2.26287 \times 10^{-4} \frac{Pot}{cc} [\%] \quad (f.1)$$

EFICIENCIA VOLUMETRICA.- La fórmula para calcular la eficiencia volumétrica es:

$$N_{vm} = \frac{60 k_2 c_a}{Desplazamiento * N * \Gamma_{aire}} \quad (g)$$

POTENCIA MEDIA EFECTIVA AL FRENO.- La fórmula para calcular la p.m.e.f. es:

$$p.m.e.f = \frac{1.223242 * Pot}{Desplazamiento * N} [kg/m^2] \quad (h)$$

donde:

$$\text{Desplazamiento} = 2.76 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$N = \text{rpm}$$

$$\Gamma_{\text{aire}} = [\text{kg/m}^3]$$

PRUEBAS A VELOCIDAD VARIABLE

Las pruebas del motor operando a velocidad variable con gasolina, se realizó con; $P_a = 760.70 \text{ mm Hg}$ y $T_a = 27,5^\circ\text{C}$.

El procedimiento a seguir en esta prueba son:

- 1.- Realice el montaje y ajustes respectivos del motor en el banco de pruebas, chequee que todos los elementos de medición estén funcionando a la perfección.
- 2.- Arranque el motor y deje que este se caliente por unos minutos a baja carga.
- 3.- Incremente la carga hasta obtener una velocidad de aproximadamente 1800 rpm, deje que se establezca por unos minutos.
- 4.- Tome los datos de rpm, fuerza de torque, cabezal de aire, voltaje, amperaje y el tiempo de consumo de los 25cc de combustible.
- 5.- Disminuya la carga de tal manera que la velocidad tenga un incremento de 120-150 rpm, dejar que se establezca por unos minutos.

- 6.- Repita los pasos 4 y 5 hasta llegar a los 3600 rpm.
- 7.- Tabule los datos experimentales obtenidos.
- 8.- Calcule los parámetros descritos en la sección 4.3.1 y grafique estos v.s rpm.

CALCULOS Y RESULTADOS

Con los datos experimentales y tabulados, se procede a realizar los cálculos de: torque, potencia, consumo de combustible, consumo específico de combustible, consumo de aire, relación aire combustible, p_{mef} , eficiencia térmica y volumétrica. Las fórmulas a utilizar son las que se indican en la sección 4.3.1, las unidades a reemplazar en cada variable están indicados.

Para una guía de cálculos usaremos los siguientes datos:

N	1800 rpm
F	43.0 Nt
t	55.69 Seg.
h _o	21.0 mm H ₂ O
I-a	27.5°C
P _a	760.70 mm. Hg

TORQUE.- Viene dado por la ecuación:

$$T = F * l = 43.0 \text{ Nt} * 0.265 \text{ m} = 11.395$$

$$T = 11.39 \text{ Nt-m}$$

POTENCIA.- Se calcula con la ecuación:

$$Pot = F1N = (F) Nt * 0.265 \text{ m} * \frac{1 \text{ rev}}{1 \text{ mit}} * \frac{1 \text{ mit}}{60 \text{ Seg}} * 2\pi \frac{\text{Rad}}{1 \text{ rev}}$$

$$Pot = \frac{F * N}{36040} = \frac{43 * 1800}{36040} = 2.1476$$

$$Pot = 2.15 \text{ kw}$$

CONSUMO DE COMBUSTIBLE.- Viene dado por la relación:

$$c.e.c = \frac{cc}{2.15 \text{ kw}} = \frac{3.30 \times 10^{-4} \text{ kg/Seg}}{2.15 \text{ kw}} * 3600 \frac{\text{Seg}}{1 \text{ hr}} = 0.55256$$

$$c.e.c = 55.26 \times 10^{-2} \text{ kg/kw-hr}$$

CONSUMO DE AIRE.- Fara medir el caberal ho se usa un orificio de diámetro D= 18mm, por lo que la cc. para el ca. es:

$$ca = 39.917 \times 10^{-4} \sqrt{\frac{ho * Pa}{Ta}}$$

$$Pa = 760.70 \text{ mm Hg} * \frac{0.133322 \text{ KN/m}^2}{1 \text{ mm Hg}} = 101.42 \text{ KN/m}^2$$

$$Ta = 27.5 + 273 = 300.5^\circ \text{k}$$

$$ca = 34.917 * 10^{-4} \sqrt{\frac{2.1 * 101.42}{300.5}}$$

$$ca = 33.60 * 10^{-4} \text{ kg/Seg}$$

RELACION AIRE/COMBUSTIBLE

$$\text{ma/c} = \frac{33.60 * 10^{-4}}{3.30 * 10^{-4}}; \quad \text{ma/c} = 10.18 \frac{\text{kg/Seg air}}{\text{kg/Seg comb}}$$

EFICIENCIA TERMICA.- Esta dado por:

$$N_t = \frac{P}{cc * PCI} = \frac{2.15 \text{ kw}}{3.30 * 10^{-4} \frac{\text{kg}}{\text{Seg}} * 44191 \frac{\text{kJ}}{\text{Seg}}} = 0.1473 * 100$$

$$N_t = 14.73\%$$

EFICIENCIA VOLUMETRICA.- Se calcula mediante la ecuación:

$$N_{vm} = \frac{60 \text{ k}^2 \text{ ca}}{\text{Despla.} * N * \Gamma \text{ aire}}$$

$$\Gamma \text{ air} = \frac{P_a}{R_t a} = \frac{101.42 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * \frac{1 \text{ Kgt}}{9.81 \text{ Nt}}}{29.3 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{K}} * 300.5 \text{ K}} = 1.1742 \text{ kg/m}^3$$

$$N_{vm} = \frac{60 * 2 * 33.60 * 10^{-4}}{2.76 * 10^{-4} * 1800 * 1.1742} = 0.6413$$

$$N_{vm} = 64.13\%$$

POTENCIA MEDIA EFECTIVA AL FRENO.- Viene dado por:

$$p.m.e.f = \frac{1.223242 \text{ Fot}}{\text{Despl.} * N} = \frac{1.223242 * 2.15}{2.76 \times 10^{-4} * 1800} = 5.2438$$

$$p.m.e.f = 5.29 \text{ kgf/cm}^2$$

PRUEBAS A VELOCIDAD CONSTANTE

Estas pruebas se la realiza para observar el comportamiento del motor, cuando opera a una velocidad constante, con diferentes cargas.

EL PROCEDIMIENTO a seguir en esta prueba es la siguiente:

- 1.- Arranque el motor y deje que éste se caliente por unos minutos.
- 2.- Seleccione la velocidad 3000, 2700, 2500 rpm; por una carga alta y cerrando un poco el balancín de ajuste de velocidad (acelerador).
- 3.- Cierre un poco más el balancin de ajuste de velocidad, luego disminuya la carga hasta conseguir la velocidad seleccionada y deje funcionar por unos minutos.
- 4.- Tome datos de Fuerza de torque, cabezal de aire, voltaje, amperaje y el tiempo de consumo de los 25 cc de combustible. Luego tabúlelos.
- 5.- Repita los pasos 3 y 4 hasta antes de cerrar completamente el balancin de ajuste de velocidad.

6.- Calcule los parámetros descritos en la sección 4.3.1

7.- Grafique P_{et} , c_{ec} , N_t , N_{vm} , m_a/c , T vs. p.m.e.f y analícelo.

Los cálculos se efectuaron de forma semejante a la ya indicada anteriormente (caso de velocidad variable).

Los resultados se muestran en la tabla A.4.

TABLA A.1

DATOS DE LA F'KUEBA CON GASOLINA
VELOCIDAD VARIABLE

RPM	FUERZA (Newton)	TIEMPO (Seg)	ho (mm H2O)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)
1800	43.0	55.69	21.0	175	9.3
1950	49.5	50.43	26.5	218	9.1
2250	52.0	45.84	37.0	240	10.1
2430	53.0	41.70	43.5	250	10.5
2610	51.0	38.08	50.0	260	11.0
2790	52.0	37.29	57.0	270	11.1
2910	51.0	34.77	59.5	278	11.1
3030	49.5	36.56	62.5	278	11.2
3210	48.0	37.48	68.0	278	11.5
3390	44.5	37.17	73.0	278	11.5
3600	41.5	32.72	80.0	278	11.5

TABLA A.2

RESULTADOS DE LA PRUEBA CON GASOLINA
VELOCIDAD VARIABLE

Pot. (kw)	T N - m	cc kg/Seg	cec (kg/kw-hr)	ca (kg/Seg)	m a/c kg/Seg a kg/Seg c	Nt (%)	Nvm (%)	p.m.e.f kgf/1m2
2.15	11.39	3.30	95.26	33.60	10.18	14.73	69.13	5.29
2.68	13.12	3.64	48.89	37.75	10.36	16.63	71.69	6.09
3.25	13.78	4.01	44.42	44.61	11.13	18.33	73.41	6.34
3.57	14.03	4.41	44.47	48.36	10.80	18.35	73.70	6.92
2.69	13.52	4.83	47.12	51.85	10.75	17.32	73.57	6.27
4.03	13.78	4.93	44.04	55.34	11.24	18.49	73.48	6.39
4.12	13.52	5.28	46.14	56.57	10.70	17.43	72.00	6.27
4.14	13.12	5.03	43.53	57.97	11.53	18.74	70.83	6.09
4.28	12.72	4.90	41.21	60.47	12.33	19.73	69.76	5.90
4.19	11.79	4.94	42.44	62.45	12.67	19.16	60.44	5.47
4.15	11.00	5.61	48.64	65.59	11.68	16.70	47.47	5.10

TABLA A.3

DATOS DE LA PRUEBA CON GASOLINR
A VELOCIDAD CONSTANTE

RPM	FUERZA (Newton)	TIEMPO (Seg)	ho (mm H2O)	VOLTAJE (V)	AMPERAJE (A)
3000	47.5	34.24	45.5	275	11.5
3000	46.25	31.29	45" 5	275	11.5
3000	43.5	35.80	41.5	262	11.0
3000	43.0	34.84	41.5	260	11.0
3000	39.5	38.71	34.5	250	10.4
3000	35.0	42.25	29.2	230	9.0
3000	31.0	45.42	25.0	218	9.0
3000	30.75	44.55	25.0	217	9.1
3000	23.5	57.86	17.5	210	6.0
3000	23.0	61.23	17.0	180	7.5
3000	23.0	60.79	17.0	255	5.5
3000	14.0	92.46	12.5	190	4.25
3000	12.5	100.02	12.0	175	4.0
3000	7.75	147.80	11.5	170	2.0
3000	5.75	148.81	11.5	283	0.25
2700	48.0	32.48	40.5	300	9.5
2700	45.5	33.37	37.5	298	9.5
2700	44.5	34.23	37.5	255	10.8
2700	41.5	37.77	32.5	280	8.8
2700	36.5	40.73	27.5	225	9.5
2700	30.0	45.90	21.5	280	6.0
2700	28.0	49.23	20.0	195	8.5
2700	25.0	62.13	15.5	182	7.8
2700	23.5	67.57	14.5	242.5	5.5
2700	22.5	75.13	13.0	170	7.3
2700	20.0	86.34	12.0	160	6.0
2700	18.0	94.95	11.0	210	4.5
2700	3.0	126.84	9.5	140	0.25
2500	48.5	32.73	35.5	198	14.0
2500	46.5	34.22	33.25	190	14.7
2500	43.0	37.57	29.5	240	10.0
2500	38.0	42.70	24.5	225	9.5
2500	33.5	46.42	21.0	210	8.9
2500	28.25	58.42	16.25	190	8.1
2500	22.5	80.61	12.25	160	7.2
2500	18.0	103.05	10.0	224	4.7
2500	16.0	107.44	10.25	192	4.3
2500	7.0	126.83	9.0	153	2.0
2500	2.75	135.34	8.7	142	0.2



BIBLIOTECA

TABLA A4

RESULTADOS DE LA PRUEBA CON GASOLINA
A VELOCIDAD CONSTANTE

Pot. (kw)	T N - m	cc kg/Seg	cec (kg/kw-hr)	ca (kg/Seg)	m a/c	Nt (%)	Nvm (%)	p.m.e.f kgf/1m2
3.95	12.59	5.37	48.94	49.46	9.22	16.67	61.06	5.84
3.85	12.26	5.87	54.09	49.46	8.42	14.83	61.06	5.69
3.62	11.53	5.13	51.02	47.24	9.20	15.96	58.31	5.35
3.58	11.40	5.27	52.99	47.24	8.96	15.37	58.31	5.29
3.29	10.47	4.75	51.97	43.07	9.07	15.67	53.16	4.80
2.91	9.28	4.35	53.81	39.49	9.08	15.16	48.74	4.30
2.58	8.22	4.05	56.51	36.67	9.06	14.43	45.26	3.81
2.56	8.15	4.12	57.94	36.67	8.89	14.04	45.26	3.70
1.96	6.23	3.18	58.41	30.67	9.66	13.94	37.86	2.89
1.91	6.10	3.00	56.54	30.23	10.07	14.44	37.32	2.83
1.91	6.10	3.02	56.92	30.23	10.00	14.33	37.32	2.83
1.17	3.71	1.99	61.23	30.23	13.05	13.27	32.00	1.72
1.04	3.31	1.84	63.69	25.40	13.83	12.82	31.36	1.51
0.65	2.05	1.24	68.68	24.87	20.00	11.74	30.09	0.95
0.48	1.52	1.23	92.25	24.86	20.54	8.77	30.69	0.71
3.60	12.72	5.66	56.60	46.82	8.28	14.38	63.8	5.90
3.41	12.06	5.52	58.17	45.05	8.18	14.01	61.39	5.60
3.33	11.79	5.37	58.05	45.05	8.39	14.05	61.39	5.47
3.11	11.00	4.86	56.26	41.94	8.62	14.46	57.15	5.10
2.73	9.67	4.51	59.47	38.58	8.55	13.72	52.57	4.49
2.25	7.95	4.00	0.400	34.11	8.52	12.70	46.49	3.69
2.1	7.42	3.73	03.94	32.90	8.83	12.74	44.83	3.44
1.87	6.63	2.56	56.98	28.96	9.79	14.33	39.47	3.07
1.76	6.23	2.72	55.64	28.01	10.30	14.65	38.18	2.84
1.49	5.94	2.45	52.19	26.52	10.85	15.60	36.15	2.77
1.5	3.30	2.13	51.12	29.48	11.97	15.93	34.73	2.46
1.35	4.77	1.91	51.73	24.4	12.61	15.77	33.25	2.21
0.22	0.80	1.45	237.27	22.67	15.65	3.51	30.90	0.37
3.34	12.85	5.61	60.11	43.83	7.81	13.56	64.51	5.96
3.23	12.32	5.37	59.85	42.42	7.90	13.59	62.43	5.72
2.98	11.40	4.89	59.07	39.96	8.17	13.80	58.81	5.24
2.64	10.07	4.30	58.64	36.41	8.46	13.86	53.59	4.67
2.32	8.88	3.96	61.45	33.71	8.52	13.28	49.62	4.12
1.96	7.49	3.15	57.86	29.66	9.43	14.10	43.65	3.47
1.56	5.96	2.28	52.61	25.75	11.29	15.49	37.90	2.77
1.25	4.77	1.78	51.26	23.26	13.05	15.85	34.24	2.21
1.11	4.24	1.71	55.46	23.55	13.77	14.68	34.66	1.97
0.49	1.86	1.45	106.53	22.07	15.23	7.58	32.48	0.80
0.19	0.73	1.36	257.68	21.69	15.98	3.18	31.94	0.34

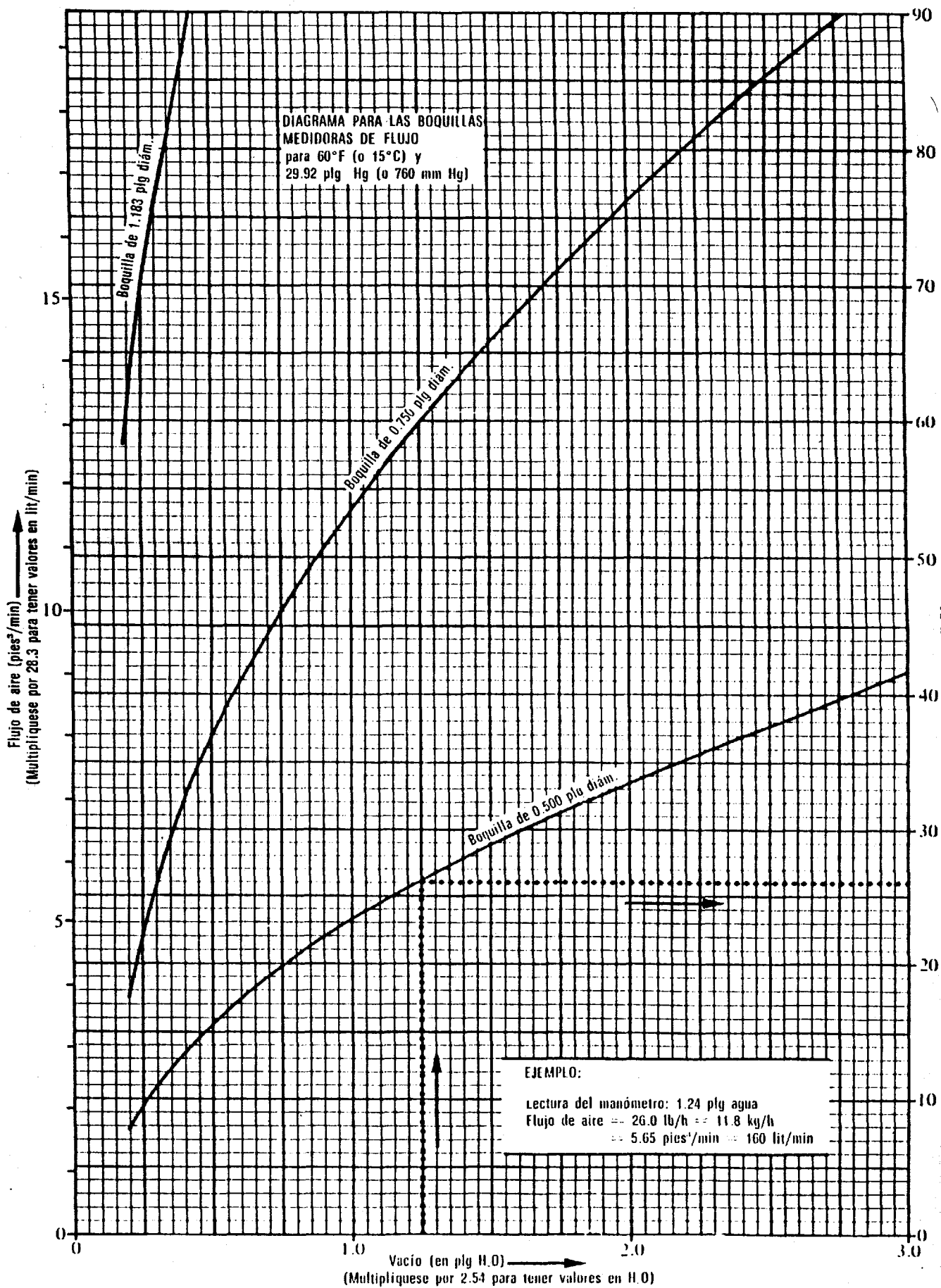


FIG. B.1

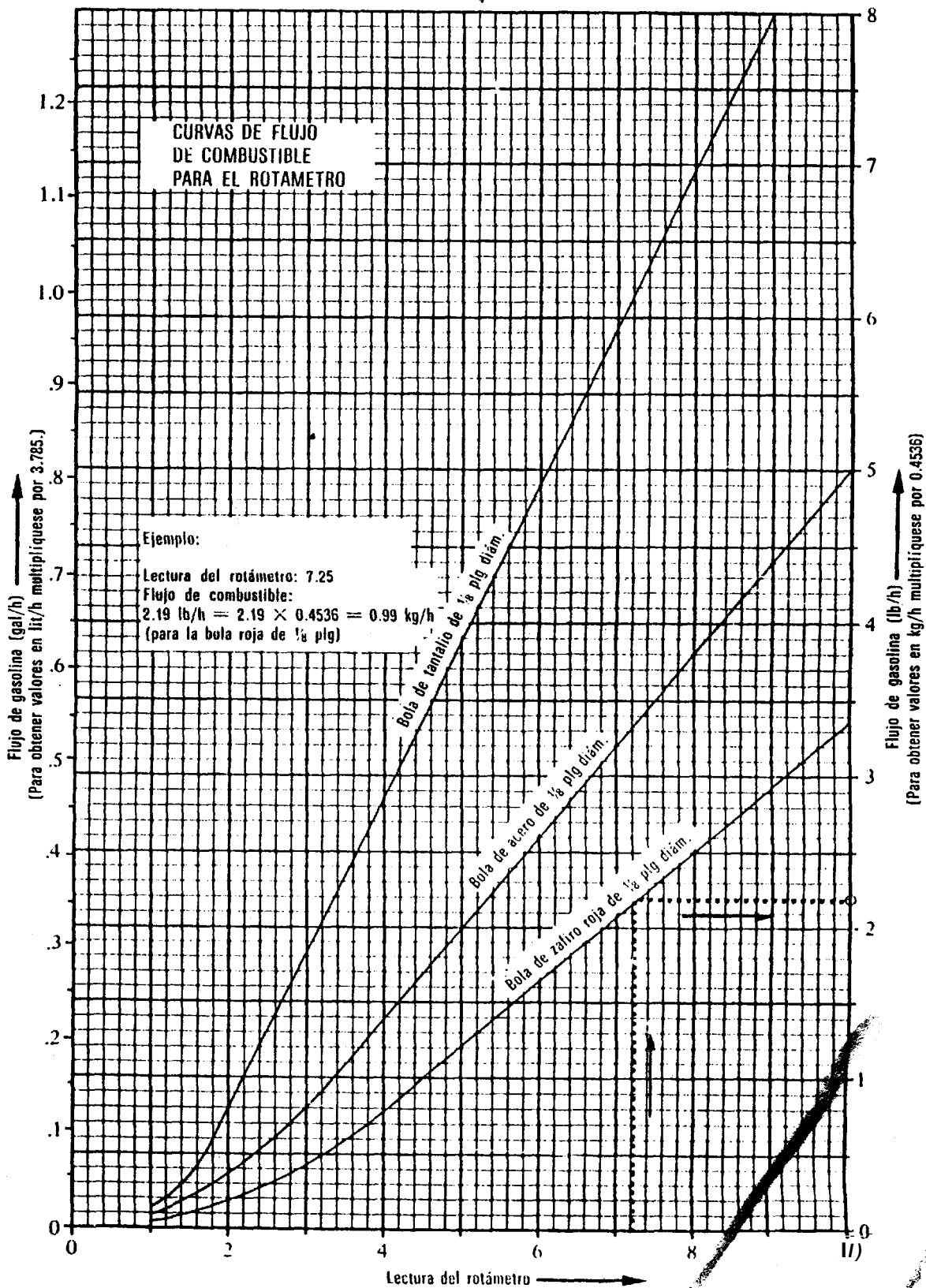


FIG. B.2

- 8.- BARRIGA ALFREDO "Adaptación de motores de combustión interna al uso de Gas Pobre", ESPOL, Agosto : 1984
- 9.- WASDYKE Y SNYDER "Motor de gasolina de 4 tiempos operación, prueba y evaluación". Editorial Limusa México, 1976.
- 10.- FAO FORESTRY PAPERS 72 "Wood gas as Engine fuel"; Rome 1986.
- 11.- PATINO AROCA MARIO "Diseño, construcción y pruebas de un termogasificador experimental para residuos forestales y agrícolas". Tesis de Grado, ESPOL, 1985.
12. SEVERNS, WIL. DEGLER, ILE MILES J.C. "Energía mediante vapor, aire o gas". Editorial Reverte S. A., 1982.
- 13 GOMEZ IGNACIO "Boletín de capacitación productos IHM", Marzo 1971.
14. NORDSTROM OTHO "Redogorelste for Riksnamndens for Ekonomisk forsvarsmedelkap forsknings-och forholtnesksamhet pa gengasområdet vid statens maskinprovningar 1957-1963", (from) overstyvelsen for ekonomisk forsvarsbereds rap, Sweden. January, 1962.
15. SCHLAPFÉR I and TOBLER J "Theoretischen und Praktische Untersuchungen uber den Betrieb von

motorfahrzeuge mit holzgas. Bern. 1937.

1. FINKBEINER, H. "Zeitschrift der verein deutsche ingenieure, Germany, 1935.

17.- TIEDEMA, P. VAN DER WĒIDE J. AND DEKKER H.J.
"Converting diesel engines to the use of gaseous fuels. Producer Gas 1982, P 393-414. The Beijer Institute, Stockholm Sweden.

18 - MENDIS, M.S. "UNDP/World Bank Guidelines for field monitoring of biomass gasification in developing countries Proc. of the conference "Bioenergy 84". Goteborg, Sweden, June 1981

19.- SPOND, W "Heutevergassing in the tropen in hot biizender met het oog op Nederlandsch Indië en Suriname de Indische Verkeur, Batavia (Indonesia.

20.- ORSAT Maurice Orsat.

21. FIKETER VICTOR L. "Mecánica de los fluidos" McGraw-Hill, 1966.

22.- DANF: (JAGOSA. Motores Endotérmico, tercera edición, editorial Científico - Médica, España 1970.

23. MIDDLETON, F.A. and BRUCE, C.S. Engine tests with producer gas, Journal of Research of the National Bureau of Standards, U.S.A. 1946.