

UN SISTEMA DE ALIMENTACION DUAL GLP/GASOLINA DE BAJO COSTO PARA MOTORES AUTOMOTRICES DE PEQUEÑA CILINDRADA

A LOW COST DUAL FEEDING SYSTEM OF LPG/GASOLINE FOR SMALL AUTOMOTIVE SPARK ENGINES

Guillermo Lira Cacho¹, Juan C. Condori Antezana²

RESUMEN

En este artículo se presentan aspectos relacionados al diseño y cálculo de un nuevo sistema de alimentación de GLP para pequeños motores automotrices de encendido por chispa, con carburador, refrigerados por líquido, de hasta 800 cm³ de cilindrada utilizando la fase vapor del GLP. Este nuevo sistema propuesto se caracteriza por su sencillez constructiva, seguridad y por su relativo bajo costo, que permite un trabajo económico, confiable y de bajas emisiones tóxicas del motor. Se muestran los cálculos del regulador-dosificador, y para el diseño del mezclador aire/gas, el cual se instala en serie con el carburador del motor para que éste pueda trabajar en forma dual. Un aspecto peculiar de este sistema es la presencia de un pequeño intercambiador de calor que utiliza el agua caliente del sistema de enfriamiento del motor para compensar el enfriamiento del vapor de GLP, por el efecto Joule - Thompson, al reducirse la presión del GLP a través del sistema, y así evitar eventuales obstrucciones. También, se presentan algunos resultados experimentales de pruebas de campo, mostrando de forma comparativa la economía de combustible.

Palabras clave: GLP, Motor encendido por chispa, Sistema de alimentación dual, Regulador, Mezclador, Efecto Joule Thompson.

ABSTRACT

In this article we present aspects related to the design and calculation of a new feeding system of Liquefied Petroleum Gas, LPG, for small automotive spark ignition engines with carburetor, cooled by liquid, of up to 800 cm³ of engine displacement, using the steam phase of the LPG. This new proposed system is characterized by its constructive simplicity, security and by its relative low cost, that allows an economic work, reliable and of low toxic emissions of the engine. The calculations of the regulator-dispenser and for the design of the mixer air/gas are shown which is located in series with the carburetor of the engine so that this one can work in dual form. A peculiar aspect of this system is the presence of a small heat exchanger that uses the hot water of the cooling system of the motor to compensate the cooling of the LPG steam by the Joule - Thompson effect, as the pressure of the LPG through system is reduced, and thus possible obstructions are avoided. Also, some experimental results of field tests are presented, showing the comparative fuel saving.

Key words: LPG; spark ignition engine, Dual feeding system, Regulator; Mixer; Joule Thompson effect..

INTRODUCCION

El precio internacional creciente y especulativo del petróleo y sus derivados, debido al inexorable

agotamiento de las reservas probadas y probables a nivel mundial, asimismo el aumento de las concentraciones de gases tóxicos y de efecto invernadero en el aire atmosférico, especialmente

¹Ph.D. Dr., Docente Investigador, Director del Instituto de Motores de Combustión Interna de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería, ²Ing. Egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería.

en las grandes ciudades, han promovido la utilización creciente de otros combustibles alternativos al petróleo, más baratos y menos contaminantes, y dentro de éstos, especialmente, de combustibles gaseosos.

En este contexto, en los últimos años, el mercado del GLP (gas licuado de petróleo) ha adquirido un notable desarrollo motivado por la diferencia de precios con respecto a combustibles tradicionales como la gasolina, pero que a la vez mitiga el impacto ambiental. El uso del GLP es complementario con el gas natural, especialmente en aquellos lugares donde no es viable la comercialización de este último. Por otro lado, los costos de la infraestructura para su comercialización y distribución son menores que los del gas natural comprimido siendo similar el beneficio ambiental. El GLP tiene diversas aplicaciones, siendo conocido especialmente por su utilización doméstica y en la agroindustria. Además de estas aplicaciones, el GLP se utiliza como un combustible alternativo para uso vehicular, siendo considerado el tercer combustible más usado en el mundo, detrás de la gasolina y los gasóleos. Actualmente, existen en el mundo alrededor de 6 millones de vehículos a GLP, con una tendencia creciente. En este artículo se describen aspectos de diseño y las características más importantes de un sistema de alimentación de

GLP para motores automotrices pequeños (de hasta 800 cm³ de cilindrada). Esta propuesta es una alternativa concreta a los sistemas de conversión a GNC, e incluso a los sistemas existentes a GLP, los cuales por su costo, peso o volumen no son convenientes o viables en los vehículos de esta categoría y tamaño.

Propiedades del GLP

El GLP es una mezcla de hidrocarburos, que se obtiene de los yacimientos o en las plantas de procesamiento de gas natural, y en las refinerías de petróleo (como un subproducto). El GLP está compuesto principalmente de propano C₃H₈ (de 20 a 60%) y butano C₄H₁₀ (iso-butano y butano normal) (de 40 a 80%), además se encuentran pequeñas cantidades de etano, pentano, propileno, butileno y otros [1]. El GLP se almacena y se transporta en estado líquido con elevada densidad de energía, y corrientemente se utiliza en estado gaseoso. El GLP permanece líquido a presiones relativamente bajas (de 4 a 12 bar) [1, 4]. La presión de licuefacción del GLP depende de su composición y de la temperatura. La composición del GLP (proporciones de propano y butano) depende del clima del lugar donde se lo usa. Mientras más baja sea la temperatura ambiental, mayor es el porcentaje de propano en la mezcla.

Tabla 1. Propiedades del GLP y la gasolina [1, 2, 3, 4].

Propiedades	Propano	Butano	GLP, (50%prop. 50%but.)	Gasolina
Densidad relativa (con respecto al aire)	1,523	2,007	1,765	3,94
Densidad en estado líquido, kg/l	0,509	0,582	0,545	0,720- 0,740
Densidad en estado gaseoso, kg/m ³	2,019	2,703	2,361	5,08
Poder calorífico (líquido), MJ/litro	23,41	26,39	24,90	32,12
Poder calorífico (gas), MJ/m ³	85,83	111,78	98,80	212,85
Poder calorífico (gas), MJ/kg	45,97	45,44	45,70	44,00
Poder calorífico de la mezcla carburante, MJ/m ³	3,46	3,50	3,48	3,70
Cantidad estequiométrica de aire, m ³ /m ³	23,98	31,08	27,50	56,60
Temperatura de autoencendido, °C	510-580	475-510	490-550	350-400
Velocidad de la llama laminar, m/s	0,810	0,825	0,818	0,850
Número de octano (met. investigación)	112	95	103	84-97
Temperatura de combustión, para mezcla estequiométrica, °C	2043	2057	2000-2050	2300- 2500

COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONVERSION

Los componentes principales del sistema de alimentación de GLP propuesto son: (Fig. 1):

- Tanque de GLP.
- Válvula de llenado.
- Acoplamiento rápido.
- Calentador de GLP.
- Regulador-reductor de presión.
- Regulador-dosificador de GLP.
- Mezclador aire/gas.

Estos elementos se unen entre si mediante mangueras, cañerías, conectores, etc., de diferentes especificaciones, según corresponda a la zona de alta o baja presión.

Funcionamiento del sistema

El vapor de GLP sale del tanque 1, pasando por la válvula de llenado 2 y por el acoplamiento rápido 3, sin pérdida sensible de presión, es conducido por una tubería para GLP al calentador 5, donde se calienta, prácticamente a presión constante. El calor necesario para ello lo proporciona la pequeña circulación del agua de enfriamiento del motor 17. El vapor caliente de GLP pasa luego por el regulador-reductor de presión de una sola etapa 8 a través del niple de conexión 6. Simultáneamente, por efecto Joule Thompson, la temperatura del vapor se reduce hasta un valor ligeramente

superior a la atmosférica, lo que evita el congelamiento de las partículas de agua contenidas en el GLP. Después, el vapor ingresa al regulador-dosificador 9, donde la presión se reduce ligeramente y se dosifica la cantidad de gas en función de la depresión que haya en el mezclador 14, es decir, en función de los regímenes de velocidad y carga del motor. El mezclador va instalado entre el carburador de gasolina 15 y el filtro de aire 13.

Para regular la cantidad de gas al motor en el régimen de ralenti (mínima), se utiliza el tornillo 10, mientras que para obtener la potencia máxima se regula con el tornillo 11. Durante el arranque en frío, o en los regímenes de pequeñas cargas, el vacío que hay en el ducto de admisión, detrás de la válvula de mariposa 16, es transmitido a través de la línea 12 a una pequeña cámara (llamada de cebado), donde existe un diafragma conectado a un balancín que controla la válvula de obturación, incrementando un poco el flujo de gas al motor, ya que la depresión en el mezclador es insuficiente en estos regímenes.

La elección entre el funcionamiento con gasolina o con GLP se realiza con un conmutador mecánico que va instalado en el receptáculo del motor.

La descripción de los principales elementos del sistema se hará siguiendo el orden que ocupa cada uno de ellos, desde el tanque al mezclador.

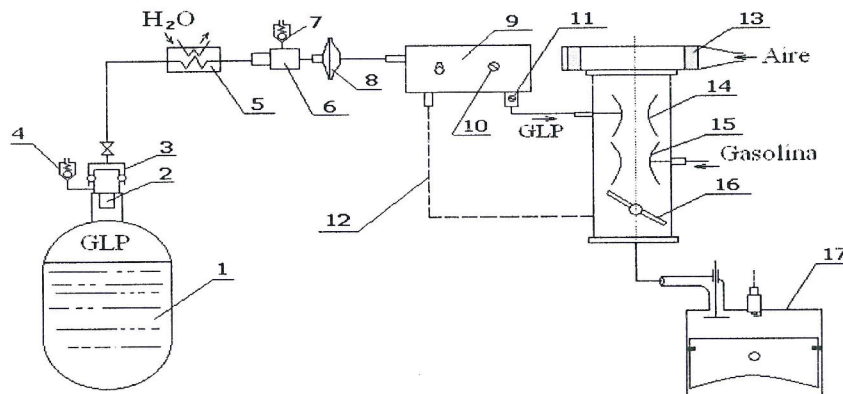


Fig. 1 Esquema del sistema de alimentación dual GLP/gasolina: 1-Tanque de GLP; 2-Válvula de llenado; 3-Acoplamiento rápido con válvula de corte; 4 y 7-Válvulas de alivio; 5-Intercambiador de calor; 6-Niple; 8-Regulador-reductor de presión; 9-Regulador-Dosificador de GLP; 10-Tornillo regulador de mínima; 11-Tornillo regulador de máxima; 12-Línea de vacío para la cámara de cebado; 13-Filtro de aire; 14-Mezclador de GLP; 15-Carburador; 16-Válvula de mariposa; 17-Motor.

Tanque de GLP

Es un tanque de uso vehicular, con 10 kg de GLP. Posee una válvula de llenado, la que incluye una válvula de alivio como medida de seguridad. La presión absoluta del GLP es de 4,8 a 5,5 bar a 15,6°C. La fase líquida no debe superar el 80% del volumen total del tanque por motivos de seguridad (de acuerdo a normas) [1, 4].

Acoplamiento rápido

Este dispositivo, que va conectado al tanque de GLP a través de la válvula de llenado, se utilizó en lugar del reductor de presión para evitar la posibilidad del congelamiento del GLP en esta zona.

El acoplamiento rápido que se empleó posee algunas características especiales que permiten ser utilizado en kits de conversión a GLP sin poner en riesgo la seguridad de los ocupantes del automóvil en caso de fugas o accidentes. Estas características son:

- Una válvula manual de apertura/cierre rápidos.
- Una tuerca de fijación para su acoplamiento con el tanque de GLP.

Calentador de GLP

Uno de los componentes más sencillos en su manufactura pero muy importante por su función, es el calentador, el cual evita la posibilidad del congelamiento del GLP en el reductor de presión, principalmente en los regímenes de alto consumo de GLP. Este calentador es esencialmente un pequeño intercambiador de calor que usa el agua caliente del circuito de calefacción de la cabina del automóvil para calentar al vapor de GLP.

El diseño de este calentador se realizó con el procedimiento convencional de cálculo de intercambiadores de calor [1, 4]. Para la confección del calentador se usó un tubo de bronce de 19 mm de diámetro y 20 cm de largo, al que van conectadas unas mangueras, del mismo diámetro que las mangueras originales, por las que circula el agua caliente del circuito de calefacción de la cabina. Este tubo es atravesado concéntricamente por otro, de menor diámetro, por donde pasa el GLP.

MODIFICACIONES DEL REGULADOR-DOSIFICADOR Y DISEÑO DEL MEZCLADOR DE GLP

El regulador-dosificador de GLP, es el componente más importante del sistema. Es un dispositivo neumático, de fabricación hindú (Sagas, Sree LPG Autokit) [7], que se encuentra ubicado entre el regulador de presión y el mezclador. Su función es regular con precisión la cantidad de GLP que va al mezclador en función del régimen de velocidad y carga del motor del automóvil, es decir, en función de la diferencia de presiones entre la salida del reductor de presión y el mezclador.

Este dispositivo consta de los siguientes elementos:

- Regulador de mínima, para estabilizar la velocidad de ralentí del motor.
- Regulador de alta, para obtener la máxima potencia del motor.
- Dispositivo de “cebado”, para el arranque en frío del motor.

Sin embargo, como este regulador-dosificador es para motores de menor cilindrada, fue necesario agrandar los diámetros de los agujeros internos para que pueda pasar un flujo mayor de gas hacia el motor. Por este motivo, se tuvo que hacer la modelación matemática de casi todo el sistema (desde el elemento 6, en la Fig. 1). En los párrafos siguientes se muestran los fundamentos teóricos de esta modelación.

En general, para garantizar el trabajo normal de un motor, los reductores se diseñan o seleccionan para el régimen nominal del motor [4], es decir, para el máximo caudal de gas (con la mínima presión en el balón). El caudal del gas (\dot{V}_g), en m³/s, está relacionado con el caudal de la mezcla aire combustible (\dot{V}_{mz}) mediante la siguiente expresión [4]:

$$\dot{V}_g = \frac{\dot{V}_{mz}}{1 + \lambda L_0} \quad (1)$$

Donde λ es el coeficiente de exceso de aire, y L_0 es la relación aire combustible, en m³/m³.

El caudal de la mezcla \dot{V}_{mz} , es directamente proporcional a la cilindrada del motor ($V_h \cdot i$) (en litros), a la máxima velocidad del motor (n) (en rpm), y a la eficiencia volumétrica del motor (η_v) [2,4,5]:

$$\dot{V}_{mz} = \frac{V_h \cdot i}{1000} \cdot \frac{n}{120} \cdot \eta_v \quad (2)$$

La eficiencia volumétrica del motor es función, principalmente, de la velocidad del motor y de la apertura de la válvula de mariposa del carburador. La eficiencia volumétrica se puede determinar experimentalmente o con un algoritmo de cálculo [3].

La caída de presión que produce este flujo al pasar por el agujero del mezclador es:

$$\Delta P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot \dot{V}_{mz}^2 \cdot \frac{1}{(C_d A_g)^2} \quad (3)$$

Por lo que la presión en el mezclador es:

$$P_{sal} = P_0 - \Delta P_d \quad (4)$$

El coeficiente de descarga del mezclador, se obtiene del gráfico de la Fig. 2.

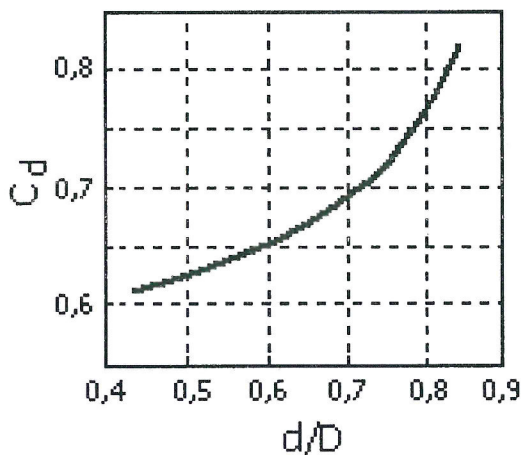


Fig. 2 Variación del coeficiente de descarga del mezclador en función de la relación de diámetros.

La presión del gas en un compartimiento (etapa) de un regulador, es necesario regularla de tal forma que, en lo posible, la caída de presión, en la válvula

del reductor, ocasione un flujo con régimen supercrítico (con velocidad igual a la del sonido) en los diferentes regímenes del motor [4]. Esta condición es particularmente importante para el reductor o para las etapas de alta presión, para así garantizar una presión de suministro al mezclador lo más estable posible.

Flujo másico que ingresa al regulador-reductor (ver Fig. 3).

En este reductor, el régimen siempre es supercrítico, por lo que la velocidad en la sección de paso de la válvula es igual a la del sonido, y el flujo másico (en kg/s) se calcula mediante la siguiente fórmula (para flujo compresible a través de un agujero) [3, 4]:

$$\dot{m}_1 = \frac{A_{r1} C_{d1} P_{alim}}{\sqrt{RT_{alim}}} \cdot k^{1/2} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{(k+1)/2(k-1)} \quad (5)$$

Donde k es el exponente adiabático del gas. Para el GLP, se puede asumir $k=1,12$.

Flujo másico que ingresa al regulador-dosificador

En este regulador de presión, el régimen puede ser tanto supercrítico como subcrítico.

Si el régimen del flujo es supercrítico, entonces [3, 4]:

$$\frac{P_{2r}}{P_{1r}} \leq r_c = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)}$$

Donde r_c es la relación crítica de presiones ($r_c=0,581$).

Entonces:

$$\dot{m}_2 = \frac{C_{d2} A_{r2} P_{1r}}{\sqrt{R T_{1r}}} \cdot k^{1/2} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{(k+1)/2(k-1)} \quad (6)$$

En caso contrario:

$$\dot{m}_2 = \frac{C_{d2} A_{r2} P_{1r}}{\sqrt{R T_{1r}}} \cdot \left(\frac{P_{2r}}{P_{1r}} \right)^{1/k} \cdot \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{P_{2r}}{P_{1r}} \right)^{(k-1)/k} \right]} \quad (7)$$

Flujo másico que sale del regulador-dosificador

En la salida de este reductor, hasta la entrada del mezclador, las pérdidas de presión son siempre pequeñas, por lo que el flujo siempre es subcrítico [3, 4].

$$\dot{m}_3 = \frac{C_{d, sal} \cdot A_{sal} \cdot P_{2r}}{\sqrt{R \cdot T_{2r}}} \left(\frac{P_{sal}}{P_{2r}} \right)^{1/k} \left\{ \frac{2k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{P_{sal}}{P_{2r}} \right)^{(k-1)/k} \right] \right\}^{1/2} \quad (8)$$

Para que se cumpla la ecuación de continuidad se debe verificar que:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (9)$$

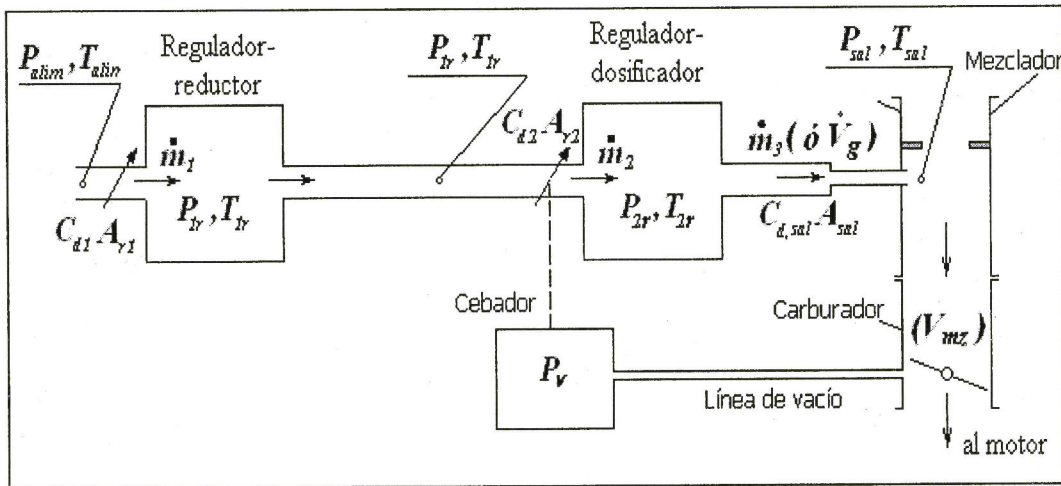


Fig. 3 Esquema simplificado del sistema.

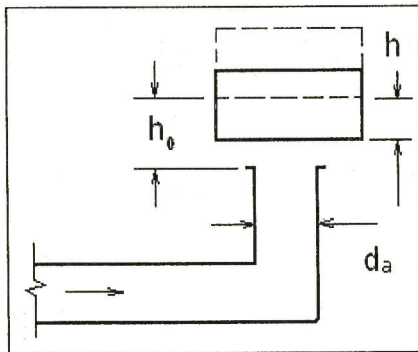


Fig. 4 Área efectiva de las válvulas de los reductores de presión.

$$A_r = C_d \cdot \pi d_a (h_0 - h) \sqrt{\frac{1}{1 + K^2}} \quad (10)$$

Donde K es factor que relaciona a las dos secciones en serie antes mencionadas, y se calcula con:

$$K = \frac{C_d \pi d_a (h_0 - h)}{\left(\frac{\pi d_a^2}{4} \right)} \quad (11)$$

El área efectiva equivalente de la salida (entre el regulador-dosificador y el mezclador), se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_{d, sal} A_{sal} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(A_i C_{d,i})^2}}} \quad (12)$$

Donde $A_i C_{d,i}$ es el área efectiva de la sección i -ésima.

Para una posición (abierta) cualquiera de las válvulas de los reductores, se puede considerar que las fuerzas que actúan sobre éstas se encuentran en posición de equilibrio. Para la válvula del regulador-reductor, la ecuación de equilibrio de fuerzas es [4]:

$$P_l + Q_{r1} - N_{m1} = 0 \quad (13)$$

Desarrollando esta ecuación, obtenemos:

$$(P_{alim} - P_{1r}) A_{a1} \alpha_{v1} + (Q_{v1} + k_{v1} x) \cdot u_1 - (P_{1r} - P_0) A_{m1} \alpha_{m1} u_1 = 0$$

Donde N_{m1} , Q_{r1} y P_1 son las fuerzas que ejercen el diafragma, el resorte y la presión del gas sobre la válvula del reductor, respectivamente.

Las presiones P_{alim} y P_{1r} , se indican en la Fig. 2. A_{a1} , es el área de la sección de paso de la válvula; α_{v1} es un coeficiente empírico ($\alpha_{v1}=1,15$). Q_{v1} y k_{v1} son la tensión inicial del resorte y su constante de rigidez, respectivamente. u_1 es la relación de brazos de palanca del reductor. A_{m1} es el área del diafragma; y α_{m1} es un coeficiente empírico ($\alpha_{m1}=0,5-0,7$).

Para el regulador-dosificador, la ecuación de equilibrio de fuerzas es [4]:

$$P_2 - Q_{r2} - N_{m2} + N_{m3} - Q_{r3} = 0 \quad (14)$$

Donde N_{m2} , Q_{r2} y P_2 son las fuerzas que ejercen el diafragma, el resorte y la presión del gas sobre la válvula del reductor, respectivamente. N_{m3} y Q_{r3} son las fuerzas que ejercen el diafragma y el resorte del cebador, respectivamente.

Desarrollando esta ecuación, obtenemos:

$$\begin{aligned} & (P_{1r} - P_{2r})A_{a2}\alpha_{v2} - (Q_{v2} + k_{v2}x) \cdot u_3 - \\ & - (P_{2r} - P_0)A_{m2}\alpha_{m2}u_2 + \\ & + (P_{2r} - P_v)A_{m3}\alpha_{m3}u_2 - (Q_{v3} + k_{v3}x) \cdot u_2 = 0 \end{aligned}$$

Mezclador

Es el elemento encargado de combinar el gas con el aire en la proporción adecuada, en cualquier régimen de funcionamiento del motor. El mezclador tiene, básicamente, el mismo principio

que un carburador convencional [4, 5], es decir, el flujo de aire, que ingresa al motor gracias a la succión provocada por la carrera descendente del pistón del motor durante la admisión, origina una depresión en la zona del mezclador donde se ubica el pico surtidor del gas, lo que causa el flujo de la mezcla al motor. La depresión en el mezclador varía en función de la posición de la válvula de mariposa del carburador y de la velocidad del motor.

LA MODELACION MATEMATICA COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO

Durante la optimización del sistema de alimentación, fue preciso determinar cuánto había que variar los diámetros del regulador-dosificador así como la geometría básica del mezclador. La modelación matemática del sistema está basada en la solución simultánea de las ecuaciones de conservación de la masa a través de las diferentes secciones de paso del flujo de gas y de equilibrio de fuerzas en los balancines de las válvulas de los reductores de presión. La modelación del sistema permitió obtener las principales medidas y parámetros de los reductores de presión (presiones en las cavidades y diámetros de los agujeros de las válvulas), así como las dimensiones básicas del mezclador, tales como: los diámetros del agujero del mezclador y del agujero del pico surtidor de gas, de manera que se obtenga una mezcla lo suficientemente homogénea y con un coeficiente de exceso de aire adecuado.

El diagrama de flujo del programa de cálculo se muestra en la Fig. 5. A partir de este diagrama de flujo se desarrolló el programa de cálculo en Matlab (versión 6.5).

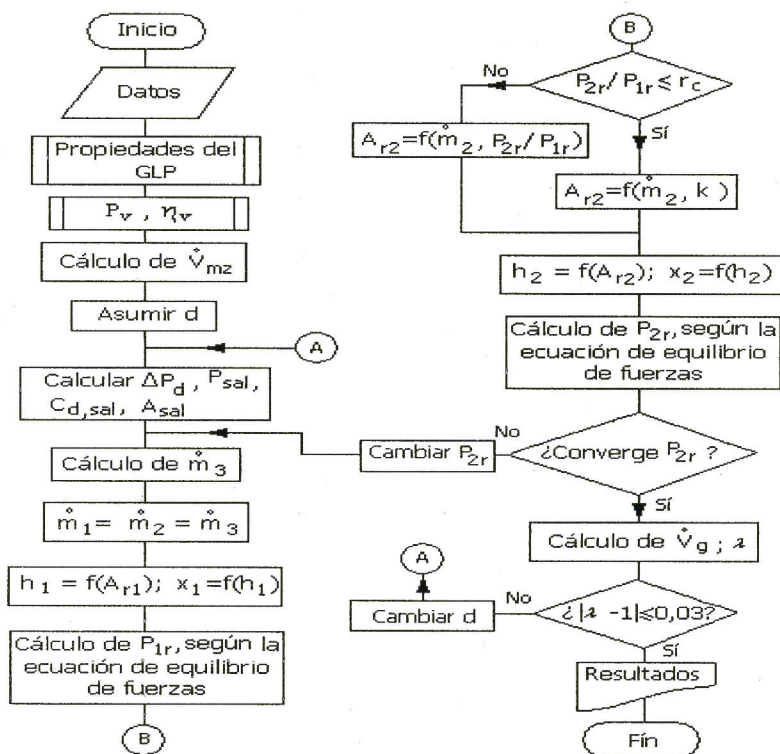


Fig. 5 Diagrama de flujo

La variación de λ en función de la velocidad del motor, para diferentes posiciones de la válvula de mariposa se muestra en la Fig.6.

Nótese que, para cualquier posición de la mariposa, a medida que el motor se va acelerando, la mezcla se empobrece, lo cual, es típico en los mezcladores de gas. Sin embargo, también se puede observar cómo, gracias al diafragma de la cámara del cebador del regulador-dosificador, la mezcla se empobrece adicionalmente en las zonas de velocidades medias y bajas, lo que contribuye a evitar un alto consumo de combustible y emisiones tóxicas.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para demostrar la funcionalidad y confiabilidad del sistema de alimentación de GLP, así como para determinar el consumo de combustible por unidad de recorrido, se realizaron pruebas de campo, tanto en Lima como en la ciudad de Huanuco (1.912 m s.n.m.). Estos resultados sirvieron para comparar la rentabilidad económica del uso de GLP con la de la gasolina usada por el motor del automóvil.

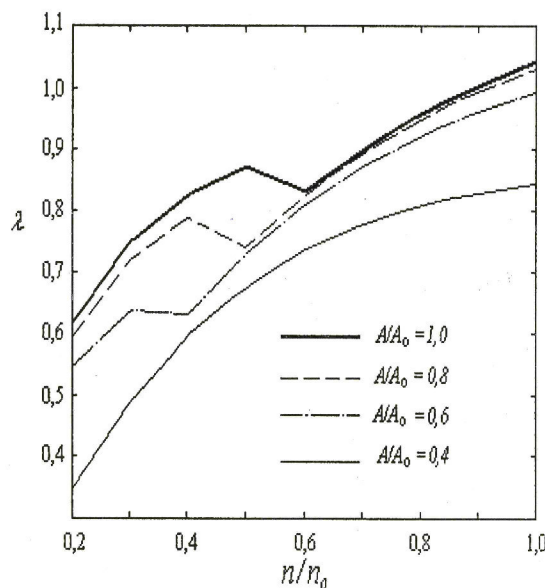


Fig. 6 Variación del coeficiente de exceso de aire λ en función de la velocidad relativa n/n_0 , para diferentes aberturas de la válvula de mariposa A/A_0 .

Las especificaciones técnicas del motor del automóvil usado durante las pruebas son [6]:

- Marca: Daewoo, modelo Tico.
- Tipo de motor: E.CH., de carburador, 04 tiempos, 03 cilindros, refrigerado por agua.
- Relación de compresión: 9,3/1
- Cilindrada: 796 cm³.
- Diámetro x carrera: 68,5x72,0 mm.
- Potencia nominal: 30 kW @ 5500 rpm.

Antes de realizar las pruebas de campo se hicieron las siguientes regulaciones en el motor:

- La luz entre los electrodos de las bujías se fijó en 1,1 mm.
- La velocidad en ralentí se estableció entre 850-900 rpm (con la ayuda del tornillo de velocidad del carburador).
- El avance del encendido fue 15° antes del PMS.

Se comprobó que este sistema permite el arranque en frío y en caliente del motor de manera normal.

Posteriormente, se condujo el vehículo, por un período aproximado de 15 minutos, y se verificó el correcto funcionamiento del motor. No se percibió disminución de la velocidad, aceleración o capacidad de carga del vehículo.

Luego de hacer estas regulaciones y comprobaciones, se procedió a realizar las pruebas de campo, tanto en condiciones de tránsito urbano como en carretera. Estas pruebas fueron comparativas, y se midieron los consumos de gasolina (de 90 octanos) y de GLP por kilometraje recorrido. Se procuró mantener las mismas condiciones durante estas pruebas, es decir, el mismo conductor, carga, velocidad, etc. Los resultados de estas pruebas se muestran en la Tabla 2.

Durante las pruebas se comprobó, también, que la emisión de monóxido de carbono se redujo en 60-80% en altas cargas al utilizar GLP.

Tabla 2. Resultados de las pruebas de campo (en Lima).

Combustible	En condiciones de ciudad			En carretera		
	Consumo	Kilometraje	S./100km	Consumo	Kilometraje	S./100km
Gasolina	1 gal.	60	19,80	1 gal.	70	17,00
GLP	10 kg	255	12,20	10 kg	270	11,50

Para el cálculo del costo del consumo de combustible por unidad de recorrido se consideró el precio de la gasolina de 90 octanos de 11,90 nuevos soles/galón y el precio del GLP doméstico de 31,20 nuevos soles/10kg. Por lo que el ahorro económico (en porcentaje), dependiendo de las condiciones, varía entre 32,5 y 38%.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado y perfeccionado un sistema de alimentación de GLP para vehículos pequeños (hasta 800 cm³ de cilindrada) seguro, efectivo y de bajo costo, que permite un trabajo económico, confiable y de bajas emisiones tóxicas del motor.

La conversión de gasolina a GLP del automóvil Daewoo-Tico, utilizando el kit de conversión propuesto permite un trabajo estable y confiable del motor en los regímenes de arranque, ralentí,

medianas y altas cargas, y en los regímenes transitorios del motor.

El rendimiento del combustible, en condiciones de ciudad, y de día, es aproximadamente 255 km por cada balón de GLP de 10 kg, lo que representa un ahorro de 38 % con respecto a la gasolina. En carretera, es aproximadamente 300 km por cada balón de GLP de 10 kg, lo que representa un ahorro de 32,5%.

El regulador-reductor de presión mantiene una temperatura ligeramente superior a la atmosférica, es decir, similar a las condiciones de diseño, y no sufre problemas de congelamiento, obstrucción o calentamiento.

La máxima velocidad, aceleración y capacidad de carga del automóvil con alimentación de GLP, con este sistema, es similar que con gasolina.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Aguaytía Energy del Perú por ser la impulsora del uso del GLP vehicular en la Selva Central de Iquitos.

REFERENCIAS

1. **Bosch, R.**, "Manual de la Técnica del Automóvil", Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 1992.
2. **Jóvaj, M.S.**, "Motores de Automóvil". Editorial MIR, Moscú, 1982.
3. **Heywood, J.B.**, "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw Hill Inc, USA, 1988.
4. **Grigoriev, B.G.**, "Gasoballonnie Avtomobili", Editorial Mashinostroenie, Moscú, 1989 (en ruso).
5. **Lira Cacho, G., Oliveros Donohue, A., Barrera, J.**, "Sistema de Alimentación de Biogás para un motor de Combustión Interna", Revista TECNIA, Vol.13, N°1, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2003.
6. <http://www.motorabc.com/FichasTecnicas/Daewoo/Tico-08.htm>
7. <http://www.sagas.co.in/htmldocs/product.htm>

Correspondencia: glira@uni.edu.pe

Recepción de originales: Setiembre 2005

Aceptación de originales: Diciembre 2005

SOTO LOCK, ALBERTO

M.S.c, Profesor de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la Sección de postgrado de la Universidad Nacional de Ingeniería, titulado en el año 1992. Realizó su Maestría de Ingeniería Eléctrica en el año 1997 en la Universidad Federal de Rio de Janeiro. Actualmente se encuentra realizando diseños de UPS Controlado por DSP, en el Laboratorio de Electricidad de la FIEE.

DEL CARPIO SALINAS JORGE ALBERTO

Profesor investigador de la Universidad San Martín de Porres (2001 a la fecha), profesor investigador Pregrado y Post Grado FIEE-UNI, Investigador científico IGP: 1996-2000, Director de Investigación y Tecnología INICTEL 1993 – 1996, Investigador Post doctorado 1990-1992: Amberes-Bélgica, Maestría y Doctorado 1985-1989- Mons-Bélgica, Ingeniero de Diseño de Circuitos y Sistemas de Telecomunicaciones INICTEL: 1978-1985, Patentes, dos innovaciones tecnológicas en el área de biomédica, desarrolladas en el INICTEL 1995.

VALERA PALACIOS ANIBAL

Egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde obtuvo el grado académico de Bachiller en Ciencias con mención en Física en 1973. En la Universidad de Stuttgart-Alemania, obtuvo el grado de Diplom-Physiker en 1976 y el grado académico de Doctor en Física (Dr. rer.nat.) en 1979. Desde 1979 realiza labor de docente en la Facultad de Ciencias en la UNI, en el campo de Energía Solar dentro del cual ha expuesto trabajos de desarrollo e investigación en reuniones nacionales e internacionales. Ha seguido cursos de perfeccionamiento en Alemania y actualmente es profesor principal en la Facultad de ciencias de la UNI y Jefe del Laboratorio de Física de la Facultad de Ciencias. En el 2005 ocupó el segundo lugar en el Concurso de Trabajos de Investigación realizado a nivel de los Investigadores de la Universidad Nacional de Ingeniería, por el Instituto General de Investigación – UNI.

MORENO MARTINEZ, RODOLFO

Obtuvo el grado de Bachiller en 1983 con mención en Ciencias, y el título de Ingeniero Electricista en 1986 en la Universidad Nacional de Ingeniería. De 1987 a 1988, estudió Postgrado en Electrónica Industrial en el Instituto Técnico Industrial

Montani (Fermo-Italia). Obtuvo el grado de Master en Ingeniería Eléctrica en 1997 en la Universidad de Campinas, São Paulo, Brasil. Profesor principal de la FIEE, es además jefe de la sección de postgrado y segunda especialización. Sus temas de interés: son: Dispositivos facts, energías renovables (generación eólica), control de velocidad de motores de gran potencia, transmisión de corriente continua y filtros activos de potencia

MOSQUERA LEIVA, LUIS ALBERTO

Realizó estudios de Bachiller en Física en la Universidad Nacional de Ingeniería, en 1995 inició la carrera docente en la Facultad de Ingeniería Civil. Paralelamente, cursó la Maestría en Física del Sólido, en la Facultad de Ciencias de la UNI, egresando el año de 1998. En 1999, realizó estudios de Doctorado en Física en la especialidad de Óptica (interferometría, holografía dinámica, metrología óptica, aplicaciones del láser), en la Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), en São Paulo – Brasil, el último año de doctorado en la UNICAMP fue aceptado como profesor de la disciplina de Física experimental. Actualmente labora como docente del curso de Física en la Facultad de Civiles

LIRA CACHO JUAN GUILLERMO

Ingeniero Mecánico, egresado de la Universidad Nacional de Ingeniería en 1978, obtuvo el título profesional en 1980. Realizó estudios de Doctorado (1988 – 1992) obteniendo el grado de doctor en Filosofía con mención en Ciencias Técnicas en el Instituto de Automóviles y Carreteras de Moscú (MADI) en 1992. Profesor principal en la Facultad de Ingeniería Mecánica. y actual Director del Instituto de Motores de Combustión Interna y Director del Instituto General de Investigación de la Universidad Nacional de Ingeniería.

MANTILLA NÚÑEZ IRLA DORALIZA

Obtuvo el grado de Bachiller en Ciencias Físicas y Matemáticas en 1984, y en 1985 el Título Profesional de Licenciatura en Matemáticas en la Universidad Nacional de Trujillo-La Libertad. Desde 1985 es docente de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde realizó estudios de postgrado obteniendo el grado de Maestro en Ciencias con mención en Matemática Aplicada. Cursó los estudios de Doctorado en Matemática en la Universidad de Oviedo-España. Actualmente realiza investigación

en Análisis y procesos de Simulación Numérica como Directora del Laboratorio de Simulación e Investigación Numérica en la Facultad de Ciencias

ROCA GALINDO LUIS RODOLFO

Realizó estudios superiores en la Universidad Nacional de Ingeniería, donde obtuvo el título profesional de Licenciado en Matemática en el año 2005. Actualmente es miembro del Laboratorio de Simulación e Investigación Numérica de la Facultad de Ciencias-UNI y profesor auxiliar en el área académica de matemática.

PALOMINO TAMAYO JORGE

Realizó estudios superiores en la Universidad Nacional de Ingeniería, ingresando en el año 2002 y graduándose en Ingeniería Civil en el año 2004 en el tercer puesto de su promoción. Actualmente labora en la Empresa Consultora de Hidráulica "GREINSA", especializado en costos y diseño de estudios. Autor del artículo Greep Análisis in Reinforced Concrete Structures, el cual ha sido publicado en esta edición de la revista TECNIA y revisado por dos profesores de la especialidad.

CALDERON MOROCHO FELIX MARTIN

Estudiante del 10mo. Ciclo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería. Actualmente se encuentra trabajando en un modelo con mayores prestaciones y reemplazar el microcontrolador por un Procesador Digital de Señales (DSP), en el área de Procesamiento de Señales y Sistemas de la FIEE-UNI. Ha realizado el proyecto "Diseño, Construcción y Procesamiento de Señales de un Acelerógrafo Digital para la Red de Acelerógrafos del CISMID".

DIAZ ZEGARRA JOSE ALBERTO

Docente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la UNI, participante en ECI de invierno 2005, CONIMERA 2005, ganador del premio anual 2005 de la Asociación Electrónica del Perú. Estudió Maestría en la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la UNI, Candidato a Magíster en Telecomunicaciones.

KEMPER VASQUEZ GUILLERMO L.

Profesor investigador del programa de Maestría en Ciencias con mención en Telecomunicaciones y procesamiento de señales del convenio UNI-INICTEL. Master en Ingeniería Electrónica con mención en Telecomunicaciones y Procesamiento Digital de Señales – Universidad de Campinas Sao Paulo, Brasil (1996). Doctor en Ingeniería Electrónica con mención en Telecomunicaciones y Procesamiento Digital de Señales – Universidad de Campinas Sao Paulo, Brasil (2001). Experto en algoritmos de procesamiento y codificación de señales de voz, audio, imágenes y video. Especialista en análisis, modelamiento y simulación de sistemas de comunicaciones digitales. Investigador en el área de televisión avanzada con énfasis en los sistemas HDTV (High Definition Televisión).

MUÑOZ MEZA JOSE LUIS

Profesor investigador del programa de Maestría en Ciencias con mención en Telecomunicaciones y Procesamiento de Señales del convenio UNI-INICTEL. Especialista en Telecomunicaciones y Comunicación de Datos. Master en Ingeniería Electrónica especialidad de Información e Ingeniería de Comunicación. Waseda University, Tokio-Japón. Jefe de la Unidad de Proyectos del Instituto Nacional de Investigación y Capacitación en Telecomunicaciones – INICTEL.

ESTRADA LOPEZ WALTER

Egresado de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, obtuvo el grado de Bachiller en Ciencias en 1977, Magíster en 1982 y Doctorado en Cooperación en la Universidad de Chalmers (Suecia). Desde 1980 realiza labor de docente en la Facultad de Ciencias en el área de Ciencias de los materiales para aplicaciones energéticas, como. Ha realizado trabajos de investigación en las Universidades de Upsala (Suecia), Chalmers (Suecia), Roma (Italia) y Campinas (Brasil). Cuenta con más de 15 publicaciones internacionales y participación en congresos nacionales e internacionales. En el 2005 ocupó el primer lugar en el Concurso de Trabajos de Investigación realizado a nivel de los Investigadores de la Universidad Nacional de Ingeniería, por el Instituto General de Investigación – UNI.

NUÑEZ ZUÑIGA TERESA ESTHER

Egresada de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la UNI 1981, realizo estudios de Maestría y Doctorado en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Estadual de Campinas en Brasil de 1997 a 1999 y de 1999 al 2002 respectivamente. Docente Universitaria desde

1985 a la fecha y actualmente jefa de la Sección de Postgrado y Segunda Especialización FIEE-UNI. Investigadora en el área de Calidad de la Energía Eléctrica y Electrónica de Potencia.