



Viabilidad económica y mecánica para la conversión de motores de combustión interna a sistemas flex fuel¹

José Daniel Mosquera Artamonov² / Christian David Ortiz Gil³
Sergio Augusto Fernández Henao⁴ / Julio César Mosquera Mosquera⁵

Economic and mechanic feasibility to convert internal combustion engines to flex fuel systems

Viabilidade econômica e mecânica para conversão de motor de combustão interna, a sistemas de combustível flex

RESUMEN

Introducción. Este trabajo presenta los resultados de la investigación desarrollada en las ciudades de Pereira y Dosquebradas del departamento de Risaralda, acerca de la viabilidad mecánica y económica de la conversión de motores de combustión interna a sistemas *flex fuel*. Para el estudio, se seleccionó la población taxista de la región, dado el alto consumo de combustibles fósiles requeridos para un día laboral. **Objetivo.** Determinar la viabilidad mecánica y económica de la conversión de los motores de combustión interna en los taxis de las ciudades de Pereira y Dosquebradas, a sistemas flex fuel. **Materiales y métodos.** Para tener estimativos confiables, como se empleó un muestreo sistemático en doce sitios determinados de las ciudades estudiadas, en los cuales se contaba con más de 10 taxis estacionados. En estos lugares se aplicó una encuesta cada 5 taxis hasta completar una muestra de 348 taxistas

¹ Artículo derivado de la investigación Viabilidad mecánica y económica de la conservación de motores de combustión interna, en las ciudades de Pereira y Dos Quebradas. ² Estudiante de la Maestría en Ingeniería de Calidad. Ingeniero Industrial. Facultad de Ingeniería. División de Estudios de Posgrado. Universidad Autónoma de Querétaro. Ciudad Universitaria. Querétaro, México. ³ Ingeniero industrial. Joven Investigador. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. Colombia. ⁴ Magister en investigación de operaciones y estadística. Ingeniero Industrial. Facultad de Administración, Programa de Ingeniería de Productividad y Calidad, Politecnico Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia. ⁵ Doctor en Física. Magister en Física. Físico. Instituto Interdisciplinario de las ciencias. Universidad del Quindío. Armenia. Colombia

Correspondencia: José Daniel Mosquera Artamonov, e-mail: xocel15@ingenieros.com

Artículo recibido: 20/08/2011; Artículo aprobado: 09/12/2011

encuestados. **Resultados.** Los resultados de la investigación demuestran que, aunque la conversión es mecánicamente viable para mezclas no superiores a la E-85 y adicionalmente presenta una mejora sustancial en el control de las emisiones contaminantes de la atmósfera, tal conversión no es económicamente viable en Colombia bajo las condiciones predominantes de mercado. **Conclusión.** Aunque la investigación fue desarrollada en dos municipios del Eje Cafetero se puede concluir con una confiabilidad del 95% que para los demás municipios de Colombia los resultados serán iguales, presentando una inviabilidad económica para la conversión a motores flexibles en todo el país.

Palabras clave: sistemas flexibles, emisiones de CO₂, viabilidad económica, sistemas de combustión, etanol, gas natural vehicular, gasolina.

ABSTRACT

Introduction. This paper introduces the results of a research work made in Pereira and Dosquebradas, in the Risaralda province, about the economic and mechanic feasibility of the conversion of internal combustion engines to flex fuel systems. For the study, a sample of taxi drivers was chosen in the region, given the high consumption of fossil fuel they require for every day of work. **Objective.** To determine the economic and mechanic feasibility of converting the internal combustion engines taxis in Pereira and Dosquebradas have, to flex fuel systems. **Materials and methods.** In order to have reliable estimated data, in the cities mentioned, a systematic sampling model in twelve specific places with more than 10 taxis parked was used. 5 taxis were surveyed in each place, completing a 348 taxi drivers surveyed. **Results.** Results demonstrate that, even though conversion is feasible under mechanic terms for mixtures below E-85, and also brings a significant increase in the control of pollutant emissions to the atmosphere, it is not economically feasible in Colombia, given the current market conditions. **Conclusion.** Even though the research work was made in two cities in the Colombian coffee crops zone, it can be concluded, with a 95% of reliability that results in any other Colombian town will be the same, demonstrating an economic unfeasibility to convert engines to flexible systems countrywide.

Key words: flexible systems, CO₂ emissions, economic feasibility, combustion systems, ethanol, natural vehicular gas, gasoline.

RESUMO

Introdução. Este artigo apresenta os resultados de pesquisas realizadas nas cidades de Pereira e Risaralda Dosquebradas departamento, sobre a viabilidade mecânica e econômica de converter motores de combustão interna flexível sistemas de combustível. **Objetivo.** Determinar a viabilidade mecânica e econômica de converter motores de combustão interna em táxis nas cidades de Pereira e sistemas de combustível Dosquebradas flex. **Metodologia.** Para estimativas confiáveis, a amostragem sistemática foi utilizada em doze locais selecionados das cidades estudadas, em que havia mais de 10 táxis estacionados. Estes sites foram pesquisados a cada 5 táxis para completar uma amostra de 348 motoristas pesquisados. **Resultados.** Em estudo mostra que, embora a conversão é mecanicamente viável para misturas sobre a E-85 e, adicionalmente, fornece uma melhoria substancial no controle de emissões da atmosfera, essa conversão não é economicamente viável na Colômbia sob condições de mercado prevalecentes. **Conclusões.** Embora a pesquisa foi realizada em dois municípios do café pode terminar com uma confiabilidade de 95% para todos os outros municípios na Colômbia, os resultados são os mesmos, mostrando uma falta de viabilidade econômica para a conversão de motores flexíveis em todo o país.

Palavras importantes: sistemas Flexíveis, as emissões de CO₂, a viabilidade econômica, sistemas de combustão, Etanol, Gás Natural Veículo, Gasolina.

INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles se han convertido, con el paso de los años y las grandes problemáticas presentadas por los hidrocarburos, en una alternativa ideal para la disminución de la contaminación expedida a la atmósfera por el consumo indiscriminado de combustibles fósiles y/o hidrocarburos, empleados en los sistemas de transporte¹. Día a día más personas en diferentes ciudades del mundo toman conciencia de que el problema de la contaminación ambiental y, en especial, el problema de la contaminación atmosférica, a través de las emisiones generadas por el transporte, es un problema que exige que todos seamos parte de la solución.

Bajo la presión de muchas agrupaciones, gobiernos del mundo han acordado bajar los índices de emisión de CO₂ y otros gases que producen el efecto invernadero. En especial la reunión celebrada en Copenhague, liderada por las Naciones Unidas tuvo como tema central el cambio climático, y se renovaron acuerdos propuestos en el marco del acuerdo de Kioto².

Por otra parte, constantes guerras bélicas y de mercado, generadas alrededor de los hidrocarburos, han puesto de manifiesto la necesidad estratégica de cada país de tener una independencia energética. De nuevo, aquí la búsqueda de alternativas energéticas para el transporte en general ha colocado en el frente de las investigaciones científicas y de mercado a los biocombustibles.

Desde el 2001, el Gobierno colombiano se propuso impulsar la producción de biocombustibles, obligando al mercado interno a utilizar una mezcla del 10% de etanol en la gasolina para el 2005 (Ley 693 de 2001), buscando primordialmente, la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles. La implementación de este programa se proyectó en diferentes fases que incluían el centro del país, al inicio, y que recientemente se ha completado para todo el territorio colombiano.

Según información general, el consumo de biocombustibles no sólo es una respuesta a los problemas de contaminación ambiental y la dependencia energética que nuestros países presentan, sino que simultáneamente es una nueva fuente de empleo que permitirá un mejoramiento sustancial de estos indicadores en nuestros países y especialmente en Colombia, donde cada año se presenta un aumento en la población desplazada desde los campos de cultivo³⁻⁶.

Por otra parte, aunque el total de los autos colombianos soportan una mezcla de combustibles etanol-gasolina en proporción del 10% de etanol, sin necesidad de realizar cambios en los vehículos, el uso de mezclas superiores involucra cambios en los sistemas de alimentación y en algunas partes de los motores, que deben ser consideradas antes de realizar cualquier nuevo programa de uso de mezclas superiores al 10% de etanol.

De esta manera, el uso de mezclas superiores al 10% de etanol involucra costos adicionales al simple hecho de adquirir el nuevo combustible como sucedió con la mezcla de 10% de etanol, y amerita la realización de un estudio más completo que analice la aceptación por el mercado, de los costos de convertir los autos a un sistema de combustión flexible. Adicionalmente, se deberá indagar sobre las razones más relevantes que determinan la toma de la decisión de usar uno u otro tipo de combustible por el mercado regional. Se conoce que en el Área Metropolitana del Centro Occidente de Colombia (AMCO) no se han desarrollado investigaciones de este tipo, en especial, no se sabe cuál sería la aceptación del mercado a una conversión o adecuación del parque automotor, ni cómo sería la recuperación de los dineros destinados a la transformación. Por tal razón, el objetivo central de este trabajo es presentar los resultados de tal estudio, realizado en las ciudades de Pereira y Dosquebradas en la población de taxistas.

Aunque en el AMCO no se han encontrado trabajos parecidos, en otros países se han encontrado varios estudios realizados sobre la viabilidad del empleo del etanol o los biocombustibles en los sistemas de transporte masivos, buscando una reducción de costos en los combustibles y una disminución

notoria en las emisiones de CO_2^{7-10} . Dichos trabajos muestran la importancia y pertinencia de esta investigación en nuestro país.

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO EXPERIMENTAL - TÉCNICA DE MUESTREO

Aunque un estudio completo sobre la viabilidad del uso de mezclas etanol-gasolina superiores al 10% de etanol involucraría muchos actores, es evidente que el sector público de los taxis representa una población importante de los autos que más circulan en la ciudad y, por lo tanto, los resultados obtenidos en este segmento del mercado serán una buena medida del comportamiento general del mercado.

Para la realización del estudio de campo, conducente a hallar la viabilidad de la conversión de taxis de las ciudades de Pereira y Dosquebradas al sistema flex fuel, se utilizó una técnica de muestreo sistemático, a fin de definir el tamaño de la muestra poblacional que facilitara la toma de información y optimizara el costo del muestreo.

El muestreo sistemático consiste en seleccionar de una población organizada aleatoriamente en una serie, un elemento de la serie cada cierto intervalo, según sea apropiado para el estudio. En este caso el ancho del intervalo está definido por la relación existente entre el tamaño de la población y el tamaño de la muestra que será sometida a estudio. De esta manera cada k - ésimos elemento de la población puede ser aleatoriamente elegido¹¹.

Se conoce por los registros del Área Metropolitana Centro Occidente (AMCO), que hay 2.669 taxis registradas (N) en las ciudades de Pereira y Dosquebradas. Para determinar el tamaño de la muestra (n) se utilizó la fórmula (1).

$$n = \frac{Npq}{(N-1)D + pq} \quad (1)$$

Donde p y q son, respectivamente, la probabilidad de que una persona conozca o no los kit flex fuel. Se eligió la fórmula para la estimación de la proporción poblacional haciendo énfasis en el conocimiento de los kit flex fuel, dado que la investigación de campo busca describir la población de taxistas de Pereira y Dosquebradas sobre la base de la utilización de diferentes sistemas de combustión, y adicionalmente, en este caso se conoce el tamaño poblacional N . Para tener una muestra que abarque en mayor proporción el conocimiento de los kit flex fuel, se tomarán, para los valores de p y q 0.5, respectivamente, es decir 50% de la población conoce de los kit flex fuel y el 50% no lo conoce. Este supuesto no corresponde a informaciones que puedan tener un alto valor de certeza, dado que no se hallaron estudios realizados a la población objetivo sobre la problemática tratada. Este hecho hará que el estudio incurra en un error sistemático que sólo afectará la selección del tamaño de la muestra.

Para la validación de la información se tomó como admisible un error estadístico del 5% (B), para lo cual $D=B^2/4$, es decir, los resultados se tomarán como válidos con un nivel de confianza del 95%.

Con estos datos se pudo estimar, una vez conocido el tamaño de la muestra, el ancho del intervalo de selección k para el muestreo sistemático. Por lo cual para la población de taxistas de Pereira y Dosquebradas se determinó un $k = 5$, lo cual garantiza el obtener una muestra aleatoria de tamaño n y así poder tener estimativos poblacionales que permitan concluir sobre toda la población de taxistas.

Para la aplicación de este muestreo se hacía necesario conocer algunos lugares donde los taxistas estuviesen estacionados por cierto periodo de tiempo. De modo contrario, la aplicación del instrumento implicaría detener cada vez un vehículo y solicitar al conductor mantenerse detenido mientras respondía a las preguntas incluidas en el cuestionario base de la investigación. Por esta razón se eligieron 12 sitios de Pereira y Dosquebradas de alto parqueo de los vehículos.

Después de tener el listado de lugares posibles a encuestar se continúa con la verificación y depuración de los mismos, pues algunos de los lugares enlistados no contaban con un número considerable de taxis estacionados, mínimo 10, como sucedió en particular con la bahía de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UTP, mencionada por los taxistas y posteriormente descartada por no cumplir con la condición mínima de taxis estacionados, que garantizara la implementación del instrumento sin inconvenientes de tiempo. El número 10 responde a la selección aleatoria del 5° taxi de una serie aleatoriamente estacionada, por lo cual cada 5 taxis fue tomada la información del conductor del vehículo. Adicionalmente, el utilizar zonas de parqueo menores a 10 taxis, presenta una dificultad adicional al no contar con tiempo suficiente, entre las salidas de los taxis, para llenar por completo el instrumento estadístico.

Las 348 encuestas de campo correspondientes al tamaño de la muestra fueron aplicadas entre la segunda semana de febrero y la primera de marzo del 2010, y se distribuyeron homogéneamente en los 12 sitios seleccionados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ventajas mecánicas

Las investigaciones realizadas en este trabajo mostraron que con la mezcla de etanol-gasolina con 10% de etanol y 90% de gasolina (llamada E10) se tienen grandes reducciones en las emisiones¹²⁻¹⁴, que no solo benefician drásticamente el ambiente al reducir emisiones contaminantes, sino que reducen la emisión de gases que deterioran los sistemas de escape de los autos y que reducen su vida útil (por ejemplo el convertidor catalítico). Adicionalmente, estos estudios pusieron en evidencia todas aquellas partes del sistema de alimentación del combustible, que deberían ser reemplazadas a fin de asegurar su estabilidad durante el uso de combustibles mayormente oxigenados como el etanol.

A partir de estudios realizados en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá¹⁵, se conocen las reacciones del E10 frente a la gasolina corriente, comparando el torque y la potencia desarrollada por los motores al variar la mezcla de combustible. Se percibe que la existencia de la mezcla genera un aumento en la potencia y torque desarrollada por los motores, para todo el intervalo de revoluciones por minuto (RPM). Se encuentran disponibles pocos estudios que presenten resultados análogos para otros tipos de mezclas, sin embargo, a partir de los estudios conocidos se pueden extraer algunas conclusiones válidas para los vehículos flex fuel E85, es decir, una mezcla de etanol del 85% y gasolina del 15%^{16,17}.

- Estos automóviles tienen la ventaja de poseer sensores de oxígeno que reconocen el combustible y ajustan el funcionamiento del motor para las condiciones más favorables de uso.
- Los conductores tienen la posibilidad de escoger el combustible conforme el precio, calidad, características de desempeño, consumo así como disponibilidad.
- Los vehículos E85 reducen el CO₂ entre 39% a 46% comparado con motores de gasolina.
- Estos motores, a diferencias de los E100, no presentan problemas de encendido en temperaturas bajas, pues poseen un porcentaje de gasolina que da soporte al etanol en esta situación.

El estudio de factibilidad mecánica y ecológica del uso del etanol y la conversión de los autos a un sistema fuel flex mostró que esta conversión es viable para mezclas no superiores a la E85. Por otra

parte, son evidentes las ventajas ecológicas del uso de las mezclas etanol-gasolina frente al uso de la gasolina pura, y estas ventajas aumentan con el aumento de la mezcla. Al mismo tiempo, para autos con modelos más recientes al 1990, desde el punto de vista mecánico la conversión al sistema fuel flex es factible y esta factibilidad mejora con la mejora en el modelo del auto y su estado mecánico al momento de la conversión

ANÁLISIS DE COSTOS DEL ETANOL FRENTE A OTROS COMBUSTIBLES

Para muchos efectos prácticos, no es suficiente con que la conversión de los autos sea mecánicamente viable y que el uso de estos combustibles traiga grandes beneficios ecológicos. Es necesario que el sistema sea económicamente viable. En esta sección se presentan los resultados del estudio económico al uso de mezclas etanol-gasolina y sus comparaciones con el uso de otros combustibles y que fue realizado en este trabajo de investigación.

El estudio económico comenzó con una investigación sobre el comportamiento de los precios de mercado de la gasolina y del etanol en valores promedio por mes en Colombia. Los precios de la gasolina fueron obtenidos de la página web del Ministerio de Minas y Energía de Colombia¹⁸, y los del etanol de la página web de Asocañas.

Los datos suministrados se presentan en la figura 1, donde se aprecia el incremento drástico que ha sufrido el etanol en los últimos dos años, alcanzando en febrero del 2009 su pico en el mercado interno. Es muy sensible el hecho de que el precio promedio del etanol, en los tiempos cuando la gasolina ha alcanzado picos superiores en costo por galón, sea superior incluso al costo de la gasolina. Es evidente que los precios del etanol sufren especulación por los ingenios quienes son los productores y mantienen un monopolio del mercado. De esta manera, y como ha sido denunciado repetidamente por diversos senadores, los productores de etanol ponen precios de oportunidad debido a la falta de control estatal sobre el precio de venta.

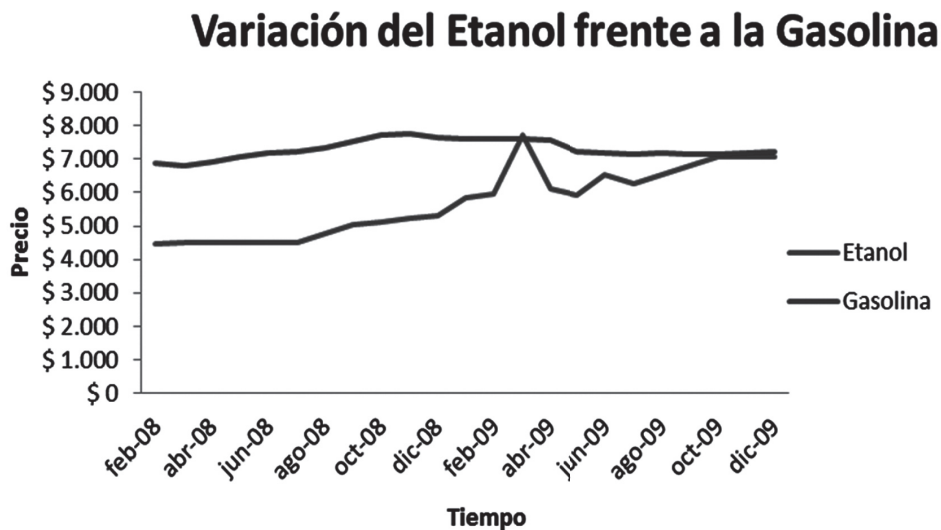


Figura 1. Variación del precio del etanol frente a la Gasolina
Fuente: elaboración propia

Finalmente, y después de mantener una tendencia al alza, el precio del etanol se ha estabilizado respecto del precio de los hidrocarburos manteniendo una pequeña diferencia por debajo del precio de la gasolina. Este pequeño margen de diferenciación en el precio convierte al etanol en una opción no viable para un sector económico de la ciudad. Por otro lado, ante iguales costos, es posible que la conversión sea viable al considerar la relación costo-beneficio total, donde entran en juego otras variables como reducción de emisiones (según tratados). En este caso se esperaría un respaldo estatal a la producción de etanol a través de una legislación apropiada.

Para conocer el precio promedio de las mezclas de etanol, al realizar el mismo recorrido en kilómetros de la población que usa gasolina se utiliza la siguiente fórmula (1):

$$P \equiv G_{c+a} (1 - \%e\ tan\ ol) P_{gasolina} + G_{c+a} (\%e\ tan\ ol) P_{E\ tan\ ol}$$

Donde G_{c+a} son los galones consumidos por el recorrido diario, más el aumento de consumo volumétrico¹⁹.

$P_{Gasolina}$ = precio del galón de gasolina

P_{Etanol} = precio del galón de etanol

%etanol = porcentaje de etanol en la mezcla

En el análisis financiero para la población taxista se calcularon algunos de los estimativos poblacionales, a partir de los datos obtenidos por medio de la aplicación del instrumento. La tabla 1 muestra algunos de ellos.

Tabla 1. Algunos estimativos poblacionales usados

	Días trabajados	Kilómetros recorridos	Consumo diario
Gasolina	6,8	223	\$ 37.185
Gas	6,82	217	\$ 27.500

Fuente: elaboración propia

A partir de estos datos se obtuvo el costo promedio para un kilómetro recorrido en cada sistema de combustión, y los resultados se muestran en la figura 2.

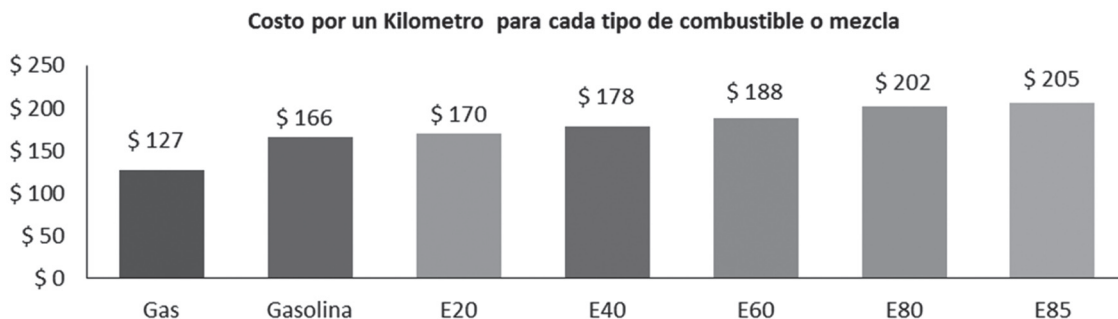


Figura 2. Costo por un kilómetro

Fuente: elaboración propia

Los estudios realizados mostraron que los costos del combustible por kilómetro recorrido aumentan con el porcentaje de la mezcla. Esto se explica al considerar que, dada la diferencia en el porcentaje

efectivo de conversión energética, bajo iguales condiciones de uso, se necesita más volumen de etanol que de gasolina para obtener los mismos resultados en la potencia utilizada. El estudio mostró que a pesar de los drásticos incrementos del precio sufridos en el último año, el combustible más económico, kilómetro por kilómetro, es el gas natural vehicular.

De esta manera es posible afirmar que para la población taxista de Pereira y Dosquebradas no se presenta una viabilidad económica en el consumo de etanol en mezclas superiores a la del 10% que está incluida en todos los sistemas de distribución existentes en la región. Por supuesto que este resultado es dependiente de los cambios que puedan ocurrir en el futuro cercano en la legislación estatal en el tema de los biocombustibles, dado que, como lo muestran los datos obtenidos de los productores, existen diferencias inexplicables en los costos de producción reportados por los diferentes actores.

Para sorpresa de los investigadores, de acuerdo con la estructura de costos vigente, el uso de mezclas superiores a la E10 no solo presenta una imposibilidad de recuperación de la inversión de conversión de los vehículos, sino que como lo muestra la figura 3, se presenta una pérdida monetaria generada por la utilización de las diferentes mezclas de etanol.

La población de taxistas que usa en el sistema de combustión el gas natural vehicular presenta mayores pérdidas en la utilización de las diferentes mezclas de etanol (figura 4) dado que esta población paga menos por kilómetro a comparación de la población que usa en su sistema de combustión diferentes mezclas.

En general, es inviable financieramente el incremento de mezclas de etanol, empleando en los vehículos el kit flex fuel que permita tener mezclas superiores a E25. Sin embargo, es bien claro que esto es una anomalía del mercado colombiano, dado que otros mercados, como el brasileño, presentan resultados positivos en la utilización de los biocombustibles, en razón, principalmente, a que los vehículos brasileños son fabricados con sistemas flex fuel y no necesitan realizar una adecuación.

Por otra parte, ante cambios en la estructura de precios que permitan por lo menos equiparar los costos de los hidrocarburos con los costos de los biocombustibles, el mejor comportamiento ambiental de estos últimos haría que el uso de los biocombustibles fuera no solo viable sino deseable y definitivamente preferible.

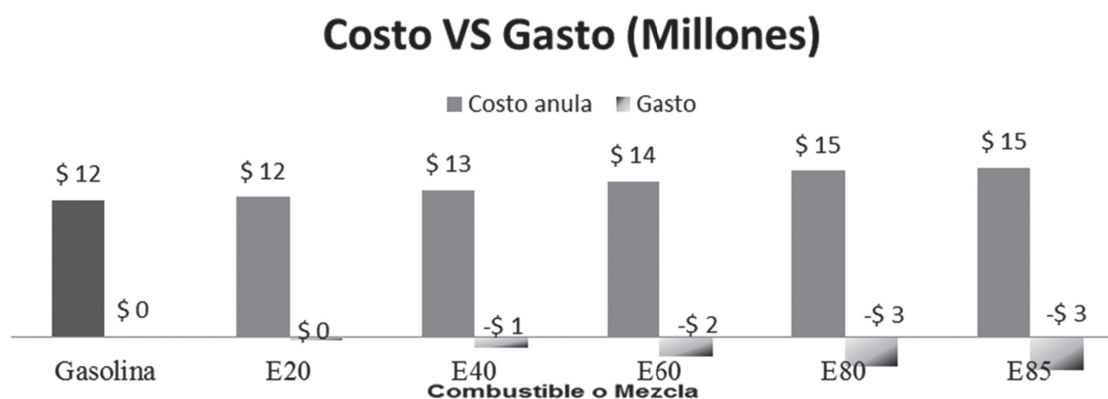


Figura 3. Consumo frente a gasto para la población que utiliza gasolina para un año

Fuente: elaboración propia

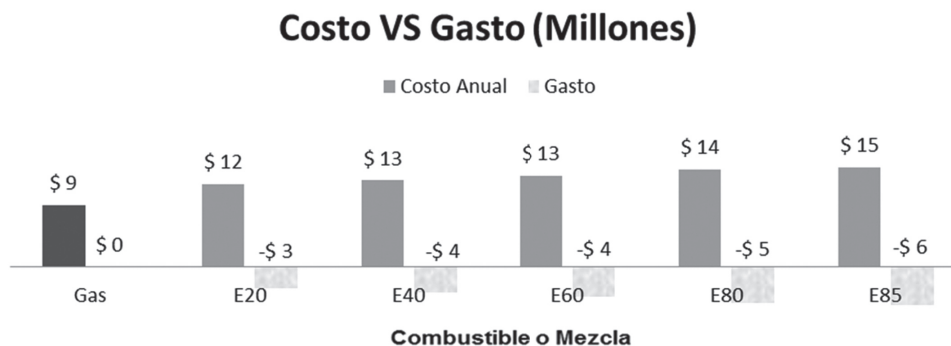


Figura 4. Costo frente a gasto para la población que utiliza gas para un año

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

Para la población de taxista de Pereira y Dosquebradas, la adecuación del sistema de combustión a un sistema flexible presenta inviabilidad económica, debido a dos factores principalmente: la baja diferencia que tiene el precio del etanol frente al precio de la gasolina, y el incremento en consumo volumétrico del combustible.

El estudio de factibilidad mecánica y ecológica del uso del etanol y la conversión de los autos a un sistema flex fuel mostró que esta conversión es viable para mezclas no superiores a la E85. Por otra parte, son evidentes las ventajas ecológicas del uso de las mezclas etanol-gasolina frente al uso de la gasolina pura, y estas ventajas aumentan con el aumento de la mezcla.

Aunque la investigación fue desarrollada en dos municipios del Eje Cafetero, se puede concluir con una confiabilidad del 95% que para los demás municipios de Colombia los resultados serán iguales, presentando una inviabilidad económica para la conversión a motores flexibles en todo el país. Estos resultados deben motivar al gobierno a establecer leyes tributarias y normativas que incentiven a los productores a comercializar el etanol a la población a un precio de competitividad, y no a un precio de oportunidad como sucede en el momento.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló con el patrocinio del Centro de Investigación de la Universidad Tecnológica de Pereira.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al profesor de la Universidad Tecnológica, Pedro Daniel Varela Medina, al Equipo de trabajo del Protocolo E20, en especial, ingeniero Luis Guillermo Gaviria Arboleda por los comentarios y sugerencias realizadas a lo largo de la investigación, y a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Tecnológica de Pereira por el aporte económico dado a través de la VI convocatoria interna que permitió desarrollar la investigación que dio como fruto el presente artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SANTAMARTA, J. El Automóvil Devora la Ciudad. 2011. [En línea]. [Citado el 1 de septiembre de 2010]. Url disponible en: http://www.ecoguia.com/pags/contaminacion_aire.php?pagina=cont_auto

2. HONTY, G. Cambio Climático: un acuerdo para el olvido. [En línea]. [Citado el 1 de septiembre de 2010]. Url disponible en <http://www.diarioambiental.com/?p=79>-
3. EUROPABIO. Biotecnología: mejorando la sostenibilidad de los biocombustibles. [En línea]. [Citado el 1 de septiembre de 2010]. Url disponible en: www.europabio.org/Biofuels/documents/Biofuels-brochure_es.pdf
4. CHAVES, S. M. Producción de alcohol carburante (etanol) en Costa Rica: consideraciones sobre su potencial real de uso. En: *XV Congreso de ATACORI. Costa Rica, 2003*.
5. PETRULIS, M. y SOMMER, J. y HINES, F. Etanol production and employment. United states department of agriculture. Economic research service. En: *Agricultura information bulletin*. 1993. No. 678.
6. GONZALEZ MERINO, Arcelia y CASTANEDA ZAVALA, Yolanda. Biocombustibles. biotecnología y alimentos: Impactos sociales para México. [En línea]. En: *Argumentos*. 2008. Vol. 21, No. 57. p. 55-83. [Citado el 30 de agosto de 2011].
7. AGUDELO, J. R.; MUÑOZ, J. y TRUJILLO, L. Análisis de viabilidad-técnico-mecánica de la conversión de vehículos a sistemas biocombustibles gasolina-gas natural para el caso colombiano. En: *Revista de la facultad de ingeniería Universidad de Antioquia*. Diciembre 2000. No 21.
8. FAZAL, M. A.; HASEEB, A. S. And MASJUKI, M. A. Biodiesel feasibility study: An evaluation of material compatibility; Performance; emission and engine durability. En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15, No. 2. p. 1314-1324
9. HERNÁNDEZ-SOBRINO, F.; RODRÍGUEZ-MONROY, C. y HERNÁNDEZ -PÉREZ, J. Análisis técnico y económico del etanol y del biodiesel como sustitutos de combustibles fósiles para automoción en España. ethanol and biodiesel analysis to replace fossil fuels in the spanish vehicle industry. En: *DYNA Ingeniería e Industria*. Noviembre 2009. Vol. 84, No. 8 p. 656-664.
10. LOZADA, J. and ISLAS, G. Gande Environmental and economic feasibility of palm oil biodiesel in the Mexican transportation sector. En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. January 2010. Vol. 14, No. 1. p. 486-492.
11. MENDENHALL, W. Elementos de muestreo. México: Grupo Editorial Iberoamericana, 1987 p. 168
12. GARCÍA, C. A.; MANZINI, F. and Islas, J. Air emissions scenarios from ethanol as a gasoline oxygenate in Mexico City Metropolitan Area. En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. December 2010. Vol. 14, No. 9. p. 3032-3040
13. GARCÍA, C.; et al. Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. *J. Applied Energy*. 2011. Vol. 88, No. 6. p. 2088-2097.
14. FERNÁNDEZ H. S.; MOSQUERA A. J., MOSQUERA M. J. Análisis de emisiones de CO2 para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas. En: *Revista Scientia et Tecnica*. Agosto 2010. N. 45. p. 141-146.
15. ACEVEDO, H. y ARIAS. O. F. Caracterización de un motor de combustión interna por ignición utilizando como combustible mezcla de gasolina corriente con etanol al diez por ciento (10%) en volumen (E10). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Departamento de Ingeniería, 2005.
16. COLOMBIA. UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). Sistema de información de petróleos y gas colombiano. 2011. [En línea]. [Citado el 1 de septiembre de

2010]. Url disponible en: http://www.upme.gov.co/GeneradorConsultas/Consulta_Indicador.aspx?IdModulo=3&ind=8-

17. BIODISOL. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de usar etanol en lugar de gasolina? Biocombustibles, bioetanol. 2009. [En línea]. [Citado el 1 de septiembre de 2010]. <http://www.biodisol.com/biocombustibles/cuales-son-las-ventajas-y-las-desventajas-de-usar-etanol-en-lugar-de-gasolina-o-nafta-biocombustibles-bioetanol/>
18. COMISIÓN NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA (CONAE). Ficha técnica vehículos con etanol. Mexico. 2009. [En línea]. [Citado el 1 de septiembre de 2010]. <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/466/1/images/vehiculoetanol.pdf>
19. GAVIRIA, L. G. Diseño, construcción y prueba de sistemas Full flex E(85) de alta eficiencia con turbocompresores implementado en un vehículo con motor de aspiración atmosférica. Trabajo de Grado. Universidad Tecnológica de Pereira - Facultad de ingeniería Mecánica. p. 117