

MANTILLA, JUAN; ACEVEDO, HELMER; DUQUE, CARLOS; GALEANO, CARLOS;
CARRION, SERGIO

PROYECCIÓN DE COSTOS DE UN BUS ARTICULADO CON MOTOR DEDICADO A
GAS NATURAL PARA SER UTILIZADO EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE
MASIVO DE COLOMBIA

Dyna, Vol. 76, Núm. 157, marzo-sin mes, 2009, pp. 61-70

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49611942006>

DYNA
REVISTA DE LA FACULTAD DE MINAS - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - SEDE BOGOTÁ

Dyna

ISSN (Versión impresa): 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

¿Cómo citar?

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista

PROYECCIÓN DE COSTOS DE UN BUS ARTICULADO CON MOTOR DEDICADO A GAS NATURAL PARA SER UTILIZADO EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE MASIVO DE COLOMBIA

COSTS PROJECTION FOR A NATURAL GAS ARTICULATED BUS TO BE USED IN COLOMBIA'S MASSIVE TRANSPORTATION SYSTEMS

JUAN MANTILLA

Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia, jmmantillag@unal.edu.co

HELMER ACEVEDO

Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia, hracevedog@unal.edu.co

CARLOS DUQUE

Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia, caduqued@unal.edu.co

CARLOS GALEANO

Profesor Asistente, Universidad Nacional de Colombia, chgaleanou@unal.edu.co

SERGIO CARRION

Ingeniero Mecánico, sacarriona@unal.edu.co

Recibido para revisar febrero 15 de 2008, aceptado septiembre 13 de 2008, versión final octubre 20 de 2008

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados del estudio comparativo de costos entre dos buses articulados que operan con diferentes combustibles, gas natural comprimido y diesel. Los resultados se utilizarán para establecer la viabilidad económica de la implementación de flotas de este tipo de buses en los sistemas de transporte masivo de las grandes ciudades colombianas. La proyección se realizó siguiendo las recomendaciones de operación y mantenimiento dadas por los fabricantes de los buses. Posteriormente se consideran tres costos importantes: motor e indispensables, combustible y mantenimiento preventivo. Para este estudio se supone la vida útil de los buses como de 10 años, y se plantean dos escenarios diferentes para la evolución de los precios del combustible. Los resultados muestran que los costos de operación y mantenimiento tienen un comportamiento similar entre ambas tecnologías, aún cuando los costos asociados al mantenimiento preventivo son menores para el bus alimentado con gas natural, en contraste con el análisis de los costos de motor e indispensables. Sin embargo es importante anotar que la mayor influencia sobre los costos de operación y mantenimiento recae en el comportamiento del precio de los combustibles. El artículo describe la naturaleza y estructura de los diferentes costos implementados en el estudio y la contribución de cada uno en el análisis económico, obteniendo así los costos de operación y mantenimiento para las dos tecnologías.

PALABRAS CLAVE: Bus articulado, combustible alternativo, costos de mantenimiento, costos de operación, gas natural comprimido.

ABSTRACT: This paper shows the results for the evaluation of the performance of an articulated bus prototype fueled with compressed natural gas (CNG). The results will be used to establish the technical viability of the fleet implementation in the massive transport systems of the biggest Colombian cities. In order to carry out the evaluation, some SAE recommended practices were modified to set with this kind of bus. The objective of the present work is to

show the results of the comparative study of costs between two articulated buses that operate with different fuels: compressed natural gas (CNG) and diesel. The results will be used to establish the economic viability of fleet implementation in the massive transport systems of the biggest Colombian cities. The projection was made following the operation and maintenance recommendations given by the buses manufacturers, a life expectancy of 10 years, a total of 6250 km of road trip by month and two different scenarios for fuel price evolution. Three important costs were considered: engine and indispensable, fuel and preventive maintenance. The capital costs and fixed costs (like employee salaries, parking, taxes, and insurances) were assumed to be equal for the two types of buses. The results shows that the operation and maintenance costs have a similar behavior between both technologies, although preventive maintenance costs are smaller for the bus fueled with natural gas, situation that changes when the engine and indispensable costs are reviewed. Nevertheless it is important to write down that the greater influence on the operation and maintenance costs falls into the time behavior of the fuel price.

KEYWORDS: Articulated bus, alternative fuel, maintenance costs, operation costs, compressed natural gas.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia no es un país con potencial petrolero, dado que posee moderadas existencias del recurso, en donde la nueva misión de la explotación petrolera es lograr el autoabastecimiento sin requerir de la importación de hidrocarburos en un futuro inmediato.

Colombia debe enfrentar una nueva etapa en su desarrollo petrolero, después de una década en la que las reservas han presentado una caída constante, es necesario optar por nuevas alternativas energéticas en busca de resultados contundentes, ya que las probabilidades de hallar grandes cuencas de hidrocarburos son cada vez más reducidas. En este mismo contexto resulta estratégico apostarle a yacimientos de menor tamaño, aquellos que antes no fueron explotados por no considerarse viables económicamente [1]. Dado lo anterior, y teniendo en cuenta la fluctuación de la industria petrolera se hace necesario que el país extienda su interés hacia nuevas fuentes de energía que proporcionen una estabilidad energética. Una alternativa de alto potencial de reserva y uso a nivel nacional es el gas natural. Desde los años 70 el gas natural ha sido el combustible de mayor crecimiento a nivel mundial, su demanda se ha visto impulsada por la necesidad de los países industrializados de sustituir los derivados del petróleo como principales fuentes de energía, además de las grandes ventajas ecológicas que este combustible ofrece. Consecuencia de esto es el aumento en su exploración y explotación, lo que ha repercutido en avances tecnológicos y en la

disminución de las inversiones necesarias para su producción, tratamiento y transporte [2].

Para la empresa estatal de petróleos de Colombia, ECOPETROL S.A., es fundamental maximizar la incorporación de reservas y la producción de petróleo y gas del país en términos comerciales, dentro de un criterio de competitividad [3].

Aunque el uso de gas natural en vehículos automotores se considera una tecnología probada y comercialmente disponible, diferentes razones han impedido su uso masivo en centros urbanos como Bogotá. Dentro de los obstáculos tecnológicos se encuentran el efecto de la altitud y la variación en la composición del combustible sobre el desempeño del vehículo [4].

En los últimos años se han dado importantes avances para consolidar el gas natural como una alternativa viable y segura de combustible en los Sistemas Integrados de Transporte Masivo. El Consejo Nacional de Política Económica y Social (Conpes) ha ideado diferentes elementos para el fortalecimiento de sus estrategias, tales como: la política para mejorar el servicio de transporte público urbano de pasajeros mediante la aplicación de herramientas técnicas y financieras innovadoras; la estrategia institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático; un conjunto de estrategias que continúen con la consolidación y masificación de la industria del gas natural y su vinculación activa al desarrollo económico y social del país; y la generación de incentivos al uso de combustibles limpios en los Sistemas Integrados de Transporte Masivo a gas

natural o diesel, donde la restricción para éste último implica contenidos de azufre menores a 500 partes por millón (p.p.m.) [5-8].

La pérdida de autosuficiencia petrolera, la bajísima capacidad de refinación de diesel (que está actualmente copada en el país), los factores de manejo y normatividad ambiental, el alto costo de los combustibles sustitutos del gas natural (ocasionado por el desmonte gradual de los subsidios en los precios de la gasolina y el diesel), así como la adopción de una serie de medidas gubernamentales para promover el uso del gas natural en el transporte, se constituyen en razones para que el gas natural se presente como una de las mejores alternativas de utilización de combustible en los nuevos Sistemas de Transporte Masivo del país [9].

Bajo la actual situación del país, descrita de forma breve anteriormente, se ensambla en Colombia el primer bus articulado con motor dedicado a gas natural comprimido como una opción para los Sistemas de Transporte Masivo del país. En otros trabajos se han hecho estudios técnicos de evaluación de flotas con motores dedicados a gas natural comprimido, examinando la viabilidad de implementar esta tecnología en los Sistemas de Transporte Masivo de las ciudades colombianas. Sin embargo, a pesar de estos estudios técnicos, se hace necesario llevar a cabo también estudios comparativos de escenarios de mantenimiento y operación, con el fin de verificar la viabilidad económica de la implementación de estas tecnologías.

El presente trabajo examina estas condiciones económicas en un prototipo alimentado con gas natural, y compara márgenes de costos de operación y mantenimiento con aquellos asociados a la operación de buses articulados alimentados con diesel, los cuales funcionan actualmente en el Sistema de Transporte Masivo de Bogotá.

Es por esto que ECOPETROL S.A. suscribe un convenio con la Universidad Nacional de Colombia, para la realización de estudios económicos y de desempeño de éste bus prototipo con motor dedicado a gas natural comprimido. El presente trabajo hace parte de una serie de artículos desarrollados en este tema.

2. BUSES ARTICULADOS

Este análisis se realizó para dos buses articulados con la misma capacidad de pasajeros, pero diferentes en cuanto al tipo de combustible que utilizan, diesel y gas natural comprimido (GNC). La Tabla 1 muestra las características más importantes de los buses estudiados.

Tabla 1. Tecnologías evaluadas
Table 1. Evaluated Technologies

<i>Característica</i>	<i>Bus</i>	
Marca y/o Referencia	RENNO 280 GA [10]	Mercedes-Benz UPA 400 [11]
Motor	CUMMINS CG 280 PLUS	Diesel UPA 400
Combustible	GNC	Diesel
Emisiones	EURO II	EURO III
Capacidad de combustible	240 [m ³]	0,190 [m ³]
Convertidor catalítico	No	Si

La información del bus articulado con motor dedicado a diesel fue suministrada por el departamento de servicios posventa de la empresa fabricante de los motores, encargada de los cambios de componentes, mantenimientos preventivos y correctivos de la flota de buses articulados de un operador del Sistema de Transporte Masivo de Bogotá.

Los datos del bus articulado prototipo alimentado con GNC fueron suministrados por los fabricantes de los principales componentes y sistemas del vehículo, tales como motor y transmisión, entre otros. Los datos referentes a chasis, carrocería, frenos y suspensión fueron suministrados por la empresa ensambladora del bus articulado.

En la Figura 1, se puede ver el bus articulado prototipo con motor dedicado a gas natural comprimido evaluado en el estudio.



Figura 1. Bus articulado prototipo RENNO 280 GA
Figure 1. Articulated bus prototype RENNO 280 GA

3. MARCO LEGAL

De conformidad con el Decreto 2660 [12] en su artículo tercero, el Ministerio de Transporte de Colombia estableció mediante la Resolución 4350 [13] la metodología para la elaboración de los estudios de costos que sirven de base para la fijación de las tarifas de transporte público de pasajeros. Este estudio adopta la estructura de costos presentada en tal Resolución y no la finalidad de la misma.

La estructura de costos de operación vehicular establece los insumos, rendimientos, precios y demás parámetros requeridos para determinar el costo de operación de un vehículo por kilómetro, teniendo en cuenta todos los costos asociados a la operación y agrupados en tres rubros principales: costos fijos, costos variables y costos de capital, presentados a continuación y definidos en [14].

3.1 Costos fijos

Son aquellos que no dependen del funcionamiento del vehículo, y están conformados por los siguientes rubros:

- Salarios y prestaciones sociales
- Parqueadero
- Administración
- Impuestos
- Seguros

Los rubros de parqueadero, administración, salarios y prestaciones hacen parte de las estrategias de costos desarrolladas por cada uno de los operadores de buses. Por el contrario los costos de impuestos y seguros son definidos por las políticas gubernamentales. Los impuestos son un costo de gran relevancia para la introducción de esta nueva tecnología en el país.

3.2 Costos variables

Son inherentes a la operación del vehículo y por lo tanto proporcionales al número de kilómetros recorridos, se encuentran conformados por:

- Combustible
- Lubricantes
- Llantas
- Mantenimiento
- Servicios de estación

3.3 Costos de capital

Estos costos se relacionan con la inversión, la rentabilidad y la depreciación del vehículo. Responden a las variaciones de los indicadores económicos del mercado de capitales y se encuentran constituidos por los siguientes rubros:

- Recuperación de Capital
- Rentabilidad

4. ESTRUCTURA DE COSTOS Y METODOLOGÍA

Para el cálculo de los costos de operación y mantenimiento se revisó cuidadosamente la metodología definida por la Resolución 4350 [13]. A partir de éste análisis se optó por una estructura de costos propia, basada en los costos nuevos que implica la introducción de este tipo de tecnología. Es decir, que en la proyección no se tuvieron en cuenta los rubros similares en los que incurren los buses, es el caso del costo fijo de parqueadero que representa el mismo valor para ambas tecnologías.

Por lo tanto, y teniendo en cuenta el supuesto anterior, la proyección de costos realizada en el presente trabajo, no determina el comportamiento en el tiempo de todos los costos generados por la operación de los buses evaluados, en especial los costos asociados con el mantenimiento correctivo.

La estructura de costos implementada se explica a continuación [15]:

4.1 Motor e indispensables

Estos costos se generan por el funcionamiento del motor y el mantenimiento indispensable para la operación del bus, y se conforman por los siguientes rubros:

- Componentes consumibles.
Refrigerante y aceite del motor, filtro de gas natural comprimido y aire, entre otros.
- Mantenimiento indispensable.

Ajustes al sistema de gas natural comprimido, partes en movimiento y engrase general, entre otros.

4.2 Mantenimiento preventivo (MP)

Son aquellos costos que se relacionan con las inspecciones periódicas recomendadas por el fabricante y las limpiezas propias del bus, entre los cuales se tienen:

- Cilindros de gas natural comprimido, sistema de suspensión, llantas y neumáticos, sistema eléctrico, entre otros.

4.3 Combustible

Es el costo del gas natural comprimido y diesel.

4.4 Matrices de operación y mantenimiento

Para realizar la proyección de costos de operación y mantenimiento, se construye una matriz para cada bus, en la cual se relacionan los diferentes rubros de la estructura de costos con cada una de las frecuencias medias asociadas a cada rubro, según las recomendaciones de los operadores y fabricantes de los buses [10], [16], [17].

Con base en la proyección de costos totales y las frecuencias medias de cambio y mantenimiento por periodo, se puede construir la línea de tiempo de costos para cada uno de los vehículos en un periodo particular.

A continuación se hace una breve descripción de la metodología implementada en la construcción de las matrices de operación y mantenimiento. En primer lugar se lleva a cabo la determinación de las frecuencias de referencia para los mantenimientos indispensables y preventivos. Con esta información se estima un costo parcial por kilómetro recorrido mediante la suma ponderada de los costos totales (tanto por mano de obra, como por insumos y componentes), de acuerdo con la normalización de los mismos según la frecuencia determinada anteriormente. Finalmente, para obtener el costo total por kilómetro recorrido, sólo resta sumar al valor obtenido anteriormente el costo del combustible por kilómetro recorrido.

Los valores mencionados en esta metodología, se presentan en forma tabular y discreta en el siguiente apartado de este trabajo.

5. PARÁMETROS DE LA PROYECCIÓN

5.1 Generales

En la Tabla 2 se presentan los parámetros utilizados para la proyección de costos de operación y mantenimiento.

Tabla 2. Parámetros del estudio
Table 2. Parameters for the study

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Periodo considerado	3	[mes]
Vida útil	10	[año]
Numero de periodos	40	--
Tasa de descuento promedio anual	10	[%]
Tasa interés por periodo	2,41	[%]

La vida útil estimada para el bus articulado prototipo a gas natural comprimido es de 10 años [10], la tasa de descuento promedio anual se ha establecido según las encuestas realizadas a diferentes distribuidores de repuestos, en tanto que la tasa de interés por periodo se trata como interés compuesto. Los precios de los repuestos y combustibles corresponden a valores reportados por tales distribuidores a diciembre de 2005.

5.2 Parámetros asociados a la operación

En la Tabla 3 [18] se muestran los parámetros de una ruta promedio. Estos valores contemplan una frecuencia mínima vehicular por ruta en un día de trabajo promedio de dieciséis horas. Dado que estas características de ruta son independientes del tipo de motor, vehículo, operadores, entre otros, dichos parámetros se han utilizado para el análisis tanto del bus articulado diesel como para el bus articulado prototipo.

El recorrido diario se encuentra dentro del intervalo establecido para esta clase de vehículos y para el tipo de servicio de transporte que ofrecen [19].

Tabla 3. Parámetros de ruta [18]**Table 3.** Route parameters

Parámetro	Valor	Unidad
Recorrido diario	250	[km]
Días trabajados por mes	25	[día]
Kilómetros por mes	6.250	[km/mes]
Kilómetros por periodo	18.750	[km/periodo]

5.3 Combustible

En la Tabla 4 se puede ver el costo del combustible para cada uno de los buses articulados comparados en este estudio. Los precios corresponden a diciembre de 2005.

Tabla 4. Precio del combustible**Table 4.** Fuel prices

Combustible	Costo	Unidad
GNC	860	[\$/ m ³] ^a
Diesel	4.088	[\$/gal] ^a

^a Valores dados en pesos colombianos

De acuerdo con los resultados de las pruebas de desempeño del bus articulado prototipo con motor dedicado a gas natural comprimido, el consumo promedio en operación urbana es de 1,23 [km/m³], tal como se describe en [20].

El consumo de combustible en ruta urbana, para un bus articulado con motor dedicado a diesel es de 5 [km/gal], de acuerdo con [18].

A partir de los datos anteriores, es posible calcular el costo asociado al combustible consumido por kilómetro recorrido para la ciudad de Bogotá, información que se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Costo de combustible por kilómetro recorrido**Table 5.** Fuel cost per kilometer covered

Combustible	Costo	Unidad
GNC	699,18	[\$/ km] ^b
Diesel	817,60	

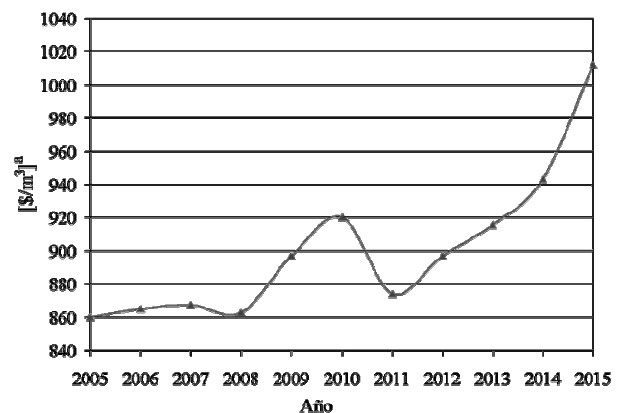
^b Valores dados en pesos colombianos

Para complementar la proyección de costos de operación y mantenimiento en este estudio, en el que se desea hacer estimaciones para diez años, es necesario calcular el costo de combustible para el periodo de la proyección; dado que este rubro está fuertemente asociado a la legislación nacional y presenta fuertes fluctuaciones, se decide trabajar en dos escenarios posibles distintos, propuestos por dos de las entidades estatales más importantes en este tema en el momento de elaboración de este trabajo. Tales escenarios son descritos a continuación.

5.3.1 Escenario 1(Esc 1)-Plan Energético Nacional [21]

En este escenario se proyectan los precios de los combustibles de acuerdo con el Decreto 2988 [22] (que modifica la Ley 681 de 2001), en el cual se equilibra el precio interno de los combustibles, para los sistemas masivos de transporte terrestre en Colombia (y otros grandes consumidores), con los precios de exportación de los mismos.

En las Figura 2 y Figura 3 se presentan los costos estimados por el plan energético nacional tanto para el gas natural comprimido, como para el combustible diesel, en un intervalo de tiempo comprendido entre los años 2005 y 2015.



^a Pesos colombianos

Figura 2. Proyección de precios para el gas natural comprimido. Escenario uno**Figure 2.** Price projection for compressed natural gas. Scenario one

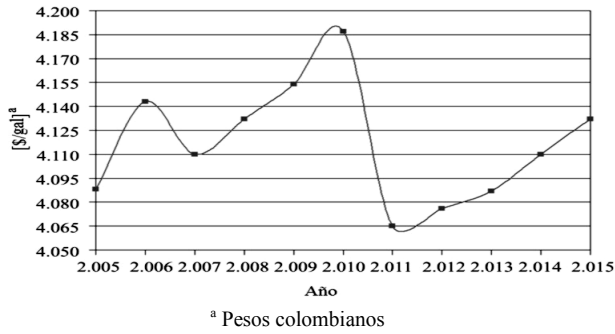


Figura 3. Proyección de precios para el diesel Escenario uno

Figure 3. Price projection for diesel fuel. Scenario one

5.3.2 Escenario 2 (Esc 2) – ECOPETROL S.A [23]

La proyección realizada por la gerencia de gas de la empresa estatal de petróleos de Colombia ECOPETROL S.A. para los combustibles analizados, gas natural comprimido y diesel, se puede ver en las Figura 4 y Figura 5.

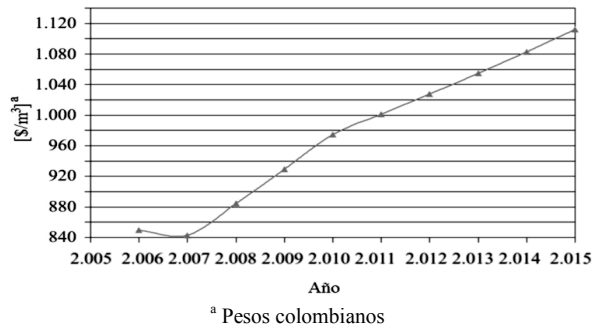


Figura 4. Proyección de precios para el gas natural comprimido. Escenario dos

Figure 4. Price projection for compressed natural gas Scenario two

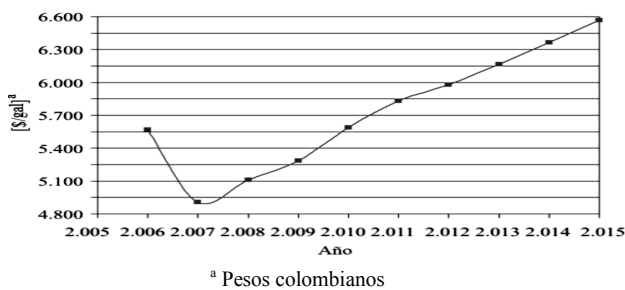


Figura 5. Proyección de precios para el diesel Escenario dos

Figure 5. Price projection for diesel fuel. Scenario two

Es importante aclarar que los anteriores escenarios corresponden a proyecciones realizadas por entes gubernamentales con base en modelos con alta variabilidad, por lo que no se garantiza el comportamiento exacto de este parámetro, según lo descrito por las fuentes enunciadas anteriormente. La tendencia del costo de los combustibles gas natural comprimido y diesel, en el tiempo, está basada principalmente en datos históricos y tendencias estimadas, lo que implica una alta diferencia entre los dos modelos, razón por la que se han incluido de manera independiente dentro de la proyección de este estudio.

6. RESULTADOS DE LA PROYECCIÓN

En las Tabla 6 y Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos de la proyección de costos de operación y mantenimiento para el bus articulado con motor dedicado a diesel, en los dos escenarios posibles descritos anteriormente.

Tabla 6. Costos del bus articulado con motor dedicado a diesel, valor presente. Escenario uno

Table 6. Costs for articulated bus with dedicated diesel engine, present value. Scenario one

Costo	[\$/km] ^c	[%]
Motor e indispensables	95	13,5
Combustible	525	74,3
MP	87	12,3
Total	707	100

^c Pesos colombianos

Tabla 7. Costos del bus articulado con motor dedicado a diesel, valor presente. Escenario dos

Table 7. Costs for the articulated bus with dedicated diesel engine, present value. Scenario two

Costo	[\$/km] ^d	[%]
Motor e indispensables	95	10,6
Combustible	716	79,7
MP	87	9,7
Total	898	100

^d Pesos colombianos

Los resultados de la proyección de costos de operación y mantenimiento, para el bus articulado prototipo con motor dedicado a gas natural comprimido se muestran en la Tabla 8 y en la Tabla 9.

Tabla 8. Costos del bus articulado prototipo con motor dedicado a gas natural, valor presente. Escenario uno

Table 8. Costs for the prototype articulated bus with dedicated natural gas engine, present value. Scenario one

Costo	[\$/km] ^e	[%]
Motor e indispensables	161	22,9
Combustible	464	65,9
MP	79	11,2
Total	704	100

^e Pesos colombianos

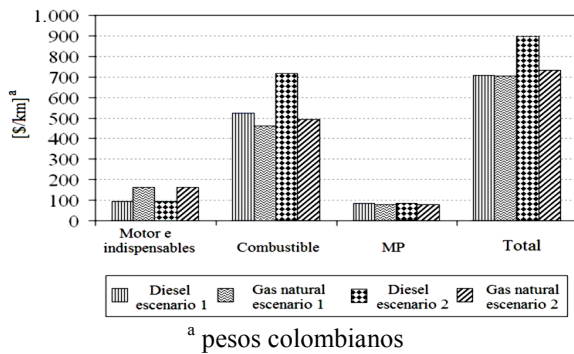
Tabla 9. Costos del bus articulado prototipo con motor dedicado a gas natural, valor presente. Escenario dos

Table 9. Costs of the prototype articulated bus with dedicated natural gas, present value. Scenario two

Costo	[\$/km] ^f	[%]
Motor e indispensables	161	22,0
Combustible	493	67,3
MP	79	10,8
Total	733	100

^f Pesos colombianos

Con estos resultados es posible construir un grafico de barras, en el cual se comparan los valores obtenidos para cada uno de los costos entre sí, y contra el valor total para cada uno de los escenarios. Esta grafica se puede observar en la Figura 6.



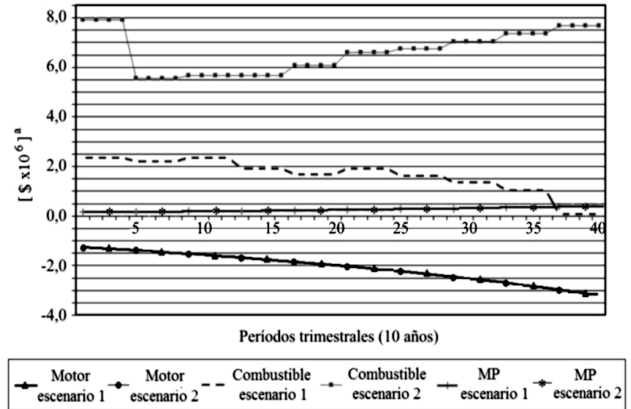
^a pesos colombianos

Figura 6. Comparación entre los costos de operación y mantenimiento, para los dos escenarios estudiados

Figure 6. Comparison between the operation and maintenance costs for both scenarios

En la Figura 7 se observa la proyección de la diferencia entre los costos considerados para los

dos tipos de buses del estudio, asociados a cada tipo de combustible, tanto para el escenario 1 como para el escenario 2. La diferencia se lleva a cabo restando el valor relacionado con un determinado rubro para GNC, en un escenario específico, del mismo valor para el combustible Diesel.



^a pesos colombianos

Figura 7. Proyección de la diferencia entre diesel y GNC, Escenarios 1 y 2

Figure 7. Projection of the difference between diesel and CNG, Scenarios 1 and 2

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los operadores de los Sistemas Masivos de Transporte en Colombia pueden encontrar en el gas natural comprimido una opción competitiva a largo plazo respecto al diesel, si los precios de los combustibles siguen la tendencia planteada en el escenario 2. Por otro lado, en caso de presentarse una evolución de tales precios siguiendo el escenario 1, no habrá diferencia para la selección de alguna de estas tecnologías. La evolución de precios de los combustibles será un tema definitivo en la implementación de la tecnología del Gas natural frente a la asociada al Diesel.

El costo del mantenimiento preventivo de buses con motor dedicado a gas natural comprimido es del orden del 90% respecto a buses alimentados con diesel.

A partir de este estudio, se aprecia que los costos asociados a Motor e Indispensables en la tecnología a Gas natural resultan siendo un 170% de los mismos costos asociados a la tecnología Diesel.

El costo del combustible por cada kilometro recorrido es mayor para el diesel en un 13% respecto al Gas Natural en el escenario 1, en tanto que para el escenario 2 esta diferencia resultar ser del 45% adicional.

En caso de presentarse tendencia a la baja en la diferencia entre el precio de los combustibles y de mantenerse esta, la aparente ventaja competitiva de operar a Gas Natural Comprimido, respecto a operar con Diesel, podría desaparecer, equilibrando los costos totales considerados para ambas tecnologías.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de DaimlerChrysler Colombia S.A., Bogotá – Ingeniero Jaime Ballén; Equitel-Cumandes S.A., Bogotá – Ingeniera Erica Polo; Colombiana de Chasises S.A. – Ingeniero José Fernando Díaz; Stewart & Stevenson de las Americas Ltda, Bogotá – Ingeniero Alejandro Tamayo.

Este trabajo fue financiado por la empresa estatal de petróleos de Colombia ECOPEL S.A.

REFERENCIAS

- [1] RAMÍREZ R. Evolución de la industria del Gas Natural en Colombia. Memorias del Seminario de Servicios Públicos, Experiencias Colombianas y Latinoamericanas. Bogotá. 2004. Disponible en <http://www.fce.unal.edu.co/oce/eventos/eventos.php?page=1> , consultado el 25 de Marzo de 2007.
- [2] BRAVO O., NARANJO G. Análisis de los Riesgos y Posibilidades de la Expansión del Gas Natural en Colombia, Observatorio Colombiano de Energía, Boletín 12, 16-19, 2003.
- [3] CÁRDENAS J. Evaluación Económica del Nuevo Sistema de Contratación en Hidrocarburos: El Caso del Gas Natural. Memorias del Seminario de Servicios Públicos, Experiencias Colombianas y Latinoamericanas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2004. Disponible en <http://www.fce.unal.edu.co/oce/eventos/eventos.php?page=1>, consultado el 25 de Marzo 2007.
- [4] HUERTAS J. Evaluación de Vehículos a Gas Natural. Memorias del 1er Seminario Internacional de Biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 180-190, 2004.
- [5] Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación, República de Colombia. Documento Conpes 3167: Política para mejorar el servicio de transporte público urbano de pasajeros. Bogotá, 1-26, 2002.
- [6] Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación, República de Colombia. Documento Conpes 3242: Estrategia institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático. Bogotá, 1-15, 2003.
- [7] Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación, República de Colombia. Documento Conpes 3244: Estrategias para la dinamización y consolidación del sector de gas natural en Colombia. Bogotá, 1-17, 2003.
- [8] Consejo Nacional de Política Económica y Social, Departamento Nacional de Planeación, República de Colombia. Documento Conpes 3260: Política nacional de transporte urbano y masivo. Bogotá, 1-36, 2003.
- [9] Sin Autor. El Gas Natural Vehicular: Alternativa Limpia para el Sistema Integrado de Transporte Masivo, Publigras al día: Revista Especializada de la Industria del Gas, Vol 3, 26, 2005.

- [10] Colombiana de Chasises S.A. Ficha técnica Bus Articulado RENNO 280 GA. Cali, 2005.
- [11] Operador SI-99 del Sistema de Transporte Masivo Transmilenio S.A. Ficha técnica Bus Articulado Mercedes Benz UPA 400. Bogotá, 2005.
- [12] Ministerio de Transporte, República de Colombia. Decreto 2660. Bogotá, 1-2, 1998.
- [13] Ministerio de Transporte, República de Colombia. Resolución 4350. Bogotá. 1998. Disponible en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=25687>, consultado el 25 de Marzo de 2007.
- [14] Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Estudio de Costos de Operación de Transporte Escolar. Bogotá, 1-53, 2005.
- [15] CHANDLER K., NORTON P., CLARK N. Dallas rapid transit's (DART) LNG bus fleet: final results, alternative fuel transit bus evaluation. U.S. Department of Energy. Disponible en www.afdc.doe.gov. Consultado el 25 de marzo de 2007.
- [16] Benz-Daimler Chrysler Colombia. Plan de Mantenimiento 15.09.99 para buses completos y plataformas 364.2, 364.3, 664.0, 664.1, 664.2. Mercedes. Bogotá, 1-55. 2005.
- [17] Equitel-Cumandes S.A. Manual del Motor Cummins CG280 Plus. Bogotá, 1-218, 2005.
- [18] Operador SI-99 del Sistema de Transporte Masivo Transmilenio S.A. Manual de Procedimiento de Ruta. Bogotá, 1-53, 2005.
- [19] ZIEJEWSKI M., KAUFMAN K., PRATT G., GOETLLER H. Fuel injection anomalies observed during long-burn engine performance test on alternate fuels. SAE Technical Paper Series No. 852089. Warrendale, PA, 591-600, 1985.
- [20] MANTILLA J., ACEVEDO H., DUQUE C., GALEANO C., CARRIÓN S. Performance of an articulated bus prototype fueled by natural gas to be used in colombia's mass transport systems. SAE Paper 2007-01-4094, Warrendale, PA, 1-8, 2007.
- [21] Ministerio de Minas y Energía. Unidad de Planeación Minero Energética – UPME. Plan Energético Nacional, Estrategia Energética Integral Visión 2003–2020. Bogotá. 2003. Disponible en <http://www.upme.gov.co/Docs/pen.htm>. Consultado el 25 de marzo de 2007.
- [22] Ministerio de Transporte, República de Colombia. Decreto 2988. Bogotá. 2003. Disponible en <http://www.lexbasecolombia.com/anh/Petroleo/Distribucion/D2988de2003.htm>. Consultado el 25 de Marzo de 2007.
- [23] Comunicación personal via correo electrónico con Gerencia de gas, ECOPETROL S.A. Proyección de Costos de los Combustibles. Bogotá. 2005.