

Tecnología y Combustibles Alternativos para el Transporte Público

Imaz, Casco, Sorba, Aprile, Bangert, Chiaraviglio, Jaurena

*Dpto. de Ing. Industrial – Grupo de Estudios Sobre Transporte – UTN FRSF
Lavaisse 610- Santa Fe e-mail: getrans@arnet.com.ar
Transporte*

RESUMEN

Las emisiones provenientes de los combustibles fósiles están contribuyendo al cambio climático afectando la calidad del aire local. Las consecuencias de los efectos provocados por las emisiones de gases a la atmósfera, reflejan la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas ambientales y de desarrollo.

Con el afán de planificar una movilidad sostenible y sustentable para la ciudad de Santa Fe, surge la necesidad de encontrar tecnologías y combustibles que puedan implementarse teniendo en cuenta las condiciones socioeconómicas de la ciudad y tal que garanticen una mayor eficiencia en el uso de los recursos naturales, asegurando la calidad de vida de las generaciones futuras, disminuyendo costos e impactos ambientales.

A partir de esta visión, se investigaron, analizaron y fueron descartándose las distintas tecnologías y combustibles desarrolladas a nivel regional, nacional e internacional que no cumplieran con las exigencias planteadas, atendiendo al problema cada vez mayor de contaminación y costo social que genera el transporte en las grandes urbes. Esto permitió el análisis de la selección más recomendable de ser aplicada localmente.

Al momento de la implantación, los beneficios que derivan de la misma se manifestarán tanto en el orden económico-financiero de las empresas prestatarias, como en el medio ambiente, mejorando a partir del nuevo sistema de transporte público de pasajeros, la calidad de vida de los ciudadanos y reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero que afectan en orden global.

Palabras Claves: Transporte, Combustibles alternativos, Matriz Energética.

1. INTRODUCCIÓN

Al ingresar en el nuevo milenio, las necesidades energéticas están en crecimiento como resultado de un aumento continuo de la población, el desarrollo económico y el consumo individual de energía. Al mismo tiempo las emisiones provenientes de los combustibles fósiles, principal fuente de energía para proveer de servicios como calefacción, aire acondicionado, iluminación, transporte y fuerza motriz; están contribuyendo al cambio climático y afectando la calidad del aire local. El sector transporte constituye uno de los principales focos de emisión contaminante en las Regiones Metropolitanas. Su aporte corresponde a dos tipos principales de emisiones: material particulado y gases contaminantes.

Los combustibles alternativos surgen en el mundo a raíz de la necesidad de promover un cambio tecnológico que será de suma importancia para los futuros sistemas energéticos; por lo que este trabajo busca generar pautas tendientes a dar soluciones en el campo del transporte urbano de pasajeros desde un punto ambiental y económico para encontrar alternativas sustentables.

1. COMBUSTIBLES FÓSILES

1.1. Perspectivas de los combustibles fósiles

1.1.1. *Petróleo*

El petróleo continúa siendo la principal fuente de energía en el consumo mundial, manteniéndose su participación en el 38%. En resumen, podemos decir que a partir del año 2003, el costo del barril fue incrementándose, siendo del orden de 36 (U\$/barril) en el año 2003, 70.85 (U\$/barril) en 2004 y durante abril de 2006 llegó a cotizar 71,93 (U\$/barril) debido mayormente a la incertidumbre impuesta por el conflicto entre Irán y la comunidad internacional, en la actualidad llegó a superar los 125 (U\$/barril) y algunas proyecciones indican, que a fin de año, el precio del crudo podría superar los 170 (U\$/barril).

La mayor parte del incremento (alrededor del 75 %) provendrá del sector de los transportes. En el 2025, el transporte absorberá el 55 % del consumo total de petróleo frente al 47 % que representa en la actualidad, debido a la inexistencia de fuentes energéticas alternativas que sean económicamente viables.

1.1.2. *Gas natural*

La producción de gas natural acumulada por Argentina en el año 2005 fue de 51.453 (Mm³), volumen inferior en un 1,0% al acumulado durante el año 2004. Es la primera vez que la producción de gas natural disminuye en los últimos 15 años. Hasta Julio de 2006, la producción de gas natural se incrementó un 2,1% en relación al mismo período del 2005.

Finalmente, la extracción de gas natural muestra una perspectiva favorable a mediano plazo,

con niveles de producción estables a corto plazo pero crecientes a partir de 2007, en un contexto de incrementos acelerados de demanda por su variada utilización y precios con mayor movilidad y libertad de mercado, además de su potencial de exportación y las numerosas inversiones que se están encarando en infraestructura. Argentina firmó un acuerdo con Bolivia para la provisión de gas en el mediano largo plazo, el cual comprende la provisión de hasta 27,7 (Mm³) diarios de gas a partir del año 2010.

2. COMBUSTIBLES

Analizaremos la aplicabilidad de cada tecnología en el marco del sistema de transporte.

Tabla 1 Matriz Cualitativa de Preselección

	Contaminante GEI	Contaminante Local	Origen	Mercado del Combustible	Mercado de las Unidades	Costo Combustible	Costo de Unidades	Adaptación al sistema actual	Eficiencia	Impacto Social
GASOIL	_Altamente contaminante	_Altamente contaminante	_Yacimientos no renovables	_altamente desarrollado	_altamente desarrollado	_subsidiado por el estado	_\$150000 aprox	_No necesaria	_40-45%	_Punto de comparación
GAS NATURAL	_Potencial de menores emisiones de CO ₂ , NO _x . _Mayor emisión de HC (metano)	_Potencial de menores emisiones de MP, CO, S, humo, olor	_Yacimientos no renovables	_Desarrollado, Desregulado	_En desarrollo	_Menores costos de combustibles _Mayores costos de infraestructura de repostaje	_De 15 a 50% mayores que una unidad convencional	_Posibilidad de convertir el motor de ciclo diesel	_Menor al gasoil.	_Impacto visual positivo _Igual nivel de información
GLP	_Potencial de menores emisiones de CO ₂ , NO _x .	_Potencial de menores emisiones de MP, CO, S, humo, olor	_Yacimientos no renovables	_Desarrollado, Desregulado	_América del Norte, Europa	_Mayor que el GNC. _Mayores costos de infraestructura de repostaje	_De 25 a 50% mayores	_Posibilidad de convertir el motor de ciclo diesel	_Menor al gasoil. _Mayor vida del motor	_Impacto visual positivo _Menor nivel de información
ETANOL	_Menores emisiones de CO ₂ , NO _x .	_Potencial de menores emisiones de MP, CO, humo, olor _Libre de S	_Renovable. _Dependiente de la agricultura	_en desarrollo _Monopolio	_Europa: Scania y Man. _No desarrollado	_potencialmente mayor que el gasoil.	_De 25 a 50% mayores	_Se necesita motor ciclo Otto.	_Menor al gasoil.	_Impacto visual positivo _Menor nivel de información
BIODIESEL	_Menores emisiones de CO ₂ . _Emite NO _x	_Potencial de menores emisiones de MP, CO. _Libre de S. _Mayor opacidad del humo, olor diferente.	_Renovable. _Dependiente de la agricultura	_en desarrollo _Monopolio	_Usa unidad Convencional	_potencialmente mayor que el gasoil.	_Usa unidad Convencional	_Conversión directa con mínimas reformas	_Menor al gasoil.	_Impacto visual negativo _Menor nivel de información
HIDROGENO	_Cero emisión	_Cero emisión	_Renovable	_No desarrollada	_No existe	_Altísimos	_Unidades prototipo hasta 100 veces mayor (sist. FuelCell)	_No admite en sistema FuelCell _En estudio combustión directa	_Alta eficiencia comparable al GNC	_Impacto visual positivo _Menor nivel de información
PURO ELÉCTRICO	_Cero emisión	_Cero emisión	_Depende	_Desarrollado	_Desarrollado	_Potencialmente mas bajo que el gasoil	_hasta 100% mayor. _Costo de infraestructura muy altos.	_Admite con instalación de motores eléctricos.	_Alta eficiencia.	_Impacto visual negativo _Potencialmente menor nivel de información
HIBRIDO	_Potencial de menores emisiones dependido del combustible.	_Potencial de menores emisiones dependiendo del combustible.	_Depende	_Depende	_América del Norte, Europa	_Depende	_hasta 10 veces mayor que unidad convencional	_No admite	_Menor al gasoil.	_Impacto visual positivo _Potencialmente menor nivel de información

Fuente: Elaboración Propia

3. MATRIZ DE PRESELECCIÓN DE COMBUSTIBLE Y TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

Con el objetivo de seleccionar la tecnología mas apropiada para este estudio, se analizó la posibilidad de cada tecnología en el marco de aplicabilidad del sistema de transporte bajo los tópicos que se detallan. En primer lugar se estudiarán punto por punto, en forma resumida, las

calidades de cada tecnología. Luego, y con el propósito de cuantificar la matriz, se tomó un criterio de 10 (DIEZ) puntos para todos los campos de análisis para un vehículo con motor a gasoil, que cumple con la norma EURO II.

En el caso que una tecnología sea más eficiente, tendrá una puntuación mayor a diez pero menor a 20 puntos; y en el caso que esta sea menos eficiente, tendrá una puntuación menor.

Tabla 2 Matriz de Preselección de Combustible y Tecnologías Alternativas

MATRIZ DE PRESELECCION DE TECNOLOGÍA ALTERNATIVA											
	Contaminante GEI	Contaminante Local	Origen	Mercado del Combustible	Mercado de las Unidades	Costo Combustible	Costo de Unidades	Adaptación al sistema actual	Eficiencia	Tendencia	SUMATORIA
GASOIL	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100
GAS NATURAL	14	16	10	10	8	15	8	16	6	9	112
GLP	14	16	10	7	4	8	7	16	6	5	93
ETANOL	16	16	16	7	4	8	5	8	8	3	88
BIODIESEL	16	16	16	6	8	8	10	18	8	7	113
HIDROGENO	20	20	20	1	1	1	1	1	6	2	73
PURO ELÉCTRICO	20	20	15	10	8	10	4	5	9	5	106
HIBRIDO	13	13	10	10	1	10	1	1	6	1	66

Fuente: Elaboración Propia

4. CONCLUSIONES DE LA PRIMERA MATRIZ

En virtud del desarrollo anterior, se eligieron por las tres tecnologías mejor posicionadas en cuanto a puntuación, las cuales fueron: Gas Natural Comprimido (GNC.), Biodiesel y Puros Eléctricos.

5. DIESEL CONVENCIONAL

5.1. Normas de emisiones (nacionales / internacionales)

Los países que adhirieron al acuerdo de Kyoto se comprometieron a reducir sus emisiones, especialmente en lo referente a GEI. En este sentido se han dictado en el mundo normas que limitan las cargas de contaminantes emitidos por parte de los distintos sectores.

En el sector transporte la evolución de los límites de emisiones tienden a ser cada vez más bajos. A continuación se muestra una tabla con los valores límites de emisiones, según distintas normativas:

Tabla 3 Normativa de Emisiones del Diesel Convencional

NORMATIVA	Fecha de matriculación	Grs./KWh			
		NOx	HC	CO	MP
Directiva 1999/96 CEE – EURO IV	Octubre 2006	3.5	0.46	1.5	0.02
Directiva 1999 CEE – EURO V	Octubre 2009	2.0	0.46	1.5	0.02
México	2006	3.73 (5.0)	0.49 (0.66)	1.6 (2.1)	0.075 (0.10)
Chile	2001	5.0	0.66	2.1	0.10(0.13)
Argentina	1995	7	1,1	4	0,15

Fuente: Normas EURO

6. PUROS ELÉCTRICOS (TROLEBUS)

6.1. Potencia y rendimiento del trolebús.

La potencia de los mismos ronda los 90 (KW) y poseen un rendimiento en la conversión de la energía de un 90%. La energía eléctrica para alimentar los buses proviene en un 59% de centrales termoeléctricas, un 35% de centrales hidroeléctricas, y el 6% restante, de centrales nucleares.

7. GAS NATURAL COMPRIMIDO – GNC

7.1. Normativa de emisiones del GNC

Tabla 4 Normativa de emisiones del GNC

NORMATIVA	Fecha de matriculación	Grs./KWh			
		NO _x	HC	CO	MP
Directiva 1999/96 CEE EURO IV	Octubre 2006	3,50	0,46	1,50	0,020
Directiva 1999/96 CEE EURO V	Octubre 2009	2,00	0,46	1,50	0,020
México	2006	4	1,1	14,4	N/D
Chile	2001	5.0	1,6	5,45	N/D
Argentina	1995	5	1,6	5,45	N/D

Fuente: Normas EURO

7.2. Instalaciones necesarias para abastecer de GNC a autobuses

Las instalaciones necesarias para poder cargar el combustible en los vehículos son las siguientes:

- Instalación de succión.
- Instalación de compresión y almacenamiento.
- Instalación de carga.

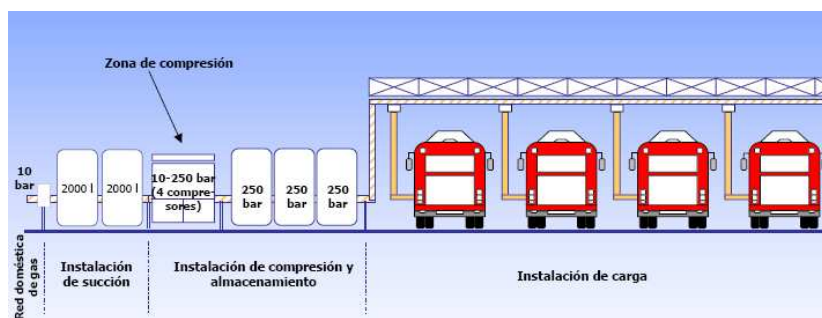


Figura 1 Instalaciones necesarias para carga de GNC en automóviles

7.3. Potencia y rendimiento

De acuerdo a estudios realizados, el vehículo mostró una ligera pérdida de potencia al utilizar GNC, del orden del 15%, y se manifiesta mayormente en el arranque y en cuestas pronunciadas. Con un motor trabajando en ciclo Otto, con GNC, el rendimiento no supera nunca el 35%. Es decir, si se quema 100 unidades de combustible se obtendrá energía por 35 unidades.

8. BIOCOMBUSTIBLES

8.1. Normas de emisiones (nacionales / internacionales)

Las emisiones producidas por el biodiesel se regulan por las normas de emisiones para vehículos gasoleros vistas anteriormente. En cuanto a requisitos de calidad y métodos de ensayo para el biodiesel, comercialización y suministro, existen normas dictadas por IRAM, como así como también, la Resolución 129 de la Secretaría de Energía y Combustibles, que fija aspectos técnicos a cumplir por los biocombustibles.

8.2. Comparación de emisiones contaminantes

Tabla 5 Comparación de emisiones

Compuesto	Unidad	Biodiesel mezcla 30/70	Biocombustible 100%	Diésel 100%
CO ₂ máximo por combustión	Kg./l	2,62	2,44	2,64
CO ₂ (70% recombinado)	Kg./l	2,00	0,73	2,64
Hidrocarburos sin quemar	g/kWh	0,33	0,40	0,43
Compuestos de nitrógeno	g/kWh	2,26	2,37	2,24
Monóxido de carbono	g/kWh	1,68	1,59	1,90
Compuestos de azufre	Kg./l	0,59	-	0,84
Opacidad de gases	Escala Bosch	1,06	0,58	1,30

Fuente: IRAM - ASTM

9. Matriz de Selección Final

Tabla 6 Matriz de Selección Final

	Ponderador	V. Eléctrico		V. Biocomb.		V. GNC	
		Puntaje	Puntaje ponderado	Puntaje	Puntaje ponderado	Puntaje	Puntaje ponderado
Viabilidad	0.15	1	0.15	10	1.5	5	0.75
Posibilidad de conversión	0.15	1	0.15	10	1.5	5	0.75
Adaptación del sistema de reabastecimiento	0.07	1	0.07	10	0.7	1	0.07
Impacto sobre la infraestructura urbana	0.07	5	0.35	10	0.7	10	0.7
Reducción de GEI	0.35	10	3.5	5	1.75	10	3.5
Desarrollo de la tecnología	0.21	5	1.05	1	0.21	10	2.1
SUMATORIA	1		5.27		6.36		7.87

Puntaje	Referencia
10	Si cumple con un alto grado de aceptación las expectativas planteadas en la primera columna de la matriz.
5	Si cumple medianamente ó tiene algunas consideraciones especiales que hacen una ponderación mas baja que la máxima.
1	Si no cumple las expectativas o tiene elevado grado de inconvenientes.

Fuente: Elaboración Propia

Esta segunda matriz de selección de tecnologías busca dejar atrás las alternativas que no permitan alcanzar los límites prácticos de factibilidad efectiva del tipo tecnológico, económico y social, y/o no satisfagan los objetivos anteriormente mencionados. Sobre las posibles tecnologías a implementar, se observa que existen diferentes argumentos que favorecen o no las tecnologías descriptas, en comparación con los sistemas diesel convencional, las cuales fueron expuestas según las diferentes fuentes consultadas.

10. TECNOLOGÍA PROPUESTA

Si bien, la solución más simple consiste en comprar una flota nueva de autobuses, se debe tener en cuenta el costo elevado que supondría esta sustitución. Por tal razón, se propone una solución mas rentable y razonable, haciendo el cambio de motor en el caso de buses de menos de 10 años, se recomienda la compra de autobuses a GNC. Para los buses de más de 10 años de antigüedad, cumpliendo de esta forma con las reglamentaciones vigentes a nivel Nacional y permitiendo que las empresas transportistas puedan financiar progresivamente su flota.

10.1. Buses menores a 10 años de antigüedad

La implementación de GNC para los buses con menos de 10 años de antigüedad, se puede ejecutar a través de la propuesta hecha por el Sr. Luís Grossi, el cual desarrolló un motor a GNC, que fue probado por la Empresa de Transporte Urbano de la ciudad, 7 de Marzo S.R.L. El prototipo utilizado para la prueba fue un vehículo 04 1314, marca: Mercedes Benz, Modelo: 1990.

10.1.1. Resultados obtenidos de la prueba

El bus de referencia se desempeño en la línea N° 16 de Transporte Público de la Ciudad de Santa Fe y su recorrido urbano constó de 26 (Km).

La prueba se inicio el día 05/03/05, habiendo cumplido con 2353 horas acumuladas de servicio ininterrumpido. Según los registros de la Empresa "7 de marzo", el consumo de gas promedio fue de 8 (m³/h) de GNC. El promedio de consumo del resto de los buses que se desempeñan en esa línea es de 11 litros de gasoil por hora.

10.1.2. Opinión sobre la prestación

Después de un periodo inicial de 30 días, personal de la empresa manifestó su total conformidad con las prestaciones del motor. La potencia y el torque fueron suficientes, a bajas revoluciones por minuto (rpm), comparativamente con el motor diesel sustituido, además de ser

más elástico por no tener limitaciones en el número de revoluciones por minuto, ya que puede alcanzar las 3200 (rpm) sin dificultad.

La autonomía con 6 tubos de 15 (m³) de GNC era de 10 horas, lo que le permitía cubrir sus requerimientos de 8 horas de trabajo más un plus para la recarga. Dicha recarga de combustible se realizó en una estación de servicio común y con un solo pico de carga, requiriendo de 15 a 18 minutos aproximadamente para realizar la misma.

10.2. Evaluación del motor en el banco de pruebas del UTN – FRSF

Potencia máxima medida: 123,25 (KW), equivalente a 168,85 (HP) a 3180 (r.p.m.)

Torque máximo medido: 37,7 (Kgm) a 3030 (r.p.m.)

Tabla 7 Resultados de la evaluación del motor en banco de pruebas UTN–FRSF

Gases contaminantes					
Parámetros		GNC		GASOIL	
		Unidad	Valores finales	Unidad	Valores finales
Contaminación atmosférica	CO*	gr / 1000	26	gr / 1000	32,5 (25 A 30 % + GNC)
	HC*	PPM	170	PPM	335 (97 % + GNC)
	O ₂ *	gr / 1000	61	gr / 1000	60
	Lambda*	-	1,246	-	1,5
Ruido		dB	106,8 ⁽¹⁾	dB	96,4
Gases de efecto Invernadero	H ₂ O*	N/D	N/D	N/D	N/D
	CO ₂ *	gr / 1000	94	gr / 1000	108 (10 a 15 % + GNC)
	CH ₄ *	N/D	N/D	N/D	N/D
	NO _x *	PPM	139	PPM	220 (58 % + GNC)
	O ₃ *	N/D	N/D	N/D	N/D

* Valores obtenidos a 1465 RPM con 32 Kgm de carga con el motor Grossi.

(1) Valor obtenido sin silenciador.

Fuente: Elaboración Propia

10.3. Buses mayores a 10 años de antigüedad

Existe una importante oferta en el país de buses, propulsados a GNC, dado por la unión de las empresas Cummins (motorización) y El Detalle (chasis y carrocería), las cuales ofrecen un bus, también probado en el país, con muy buenos resultados. A su vez los dueños de empresas de transporte, pueden adosarle al motor de GNC descrito en el título anterior, alguna carrocería, eligiendo el que mejor se adapte a sus necesidades y posibilidades.

11. ANÁLISIS DE COSTO

11.1. Descripción de los actores que asumen los costos del transporte.

En el modelo de reparto de costos del TPP, una parte la asumen los usuarios a través del abono del boleto, otra parte estaría la soportan los empresarios del sector y por último, están los costos externos. Los dos primeros son los que comúnmente se consideran en el análisis de

costos-beneficios, sin embargo, los costos que claramente no se perciben son las externalidades (Contaminación atmosférica, Ruido, Emisiones de GEI, Accidentes, impactos sobre el medio natural, Congestión)

11.2. Costos de implementación

11.2.1. Sin estación de recarga propia

Resúmenes porcentuales de distribución de costos del sistema convencional versus sistema GNC.

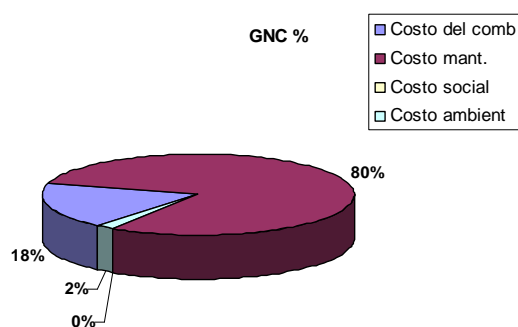


Figura 2 Costos de implementación GNC sin estación de recarga propia

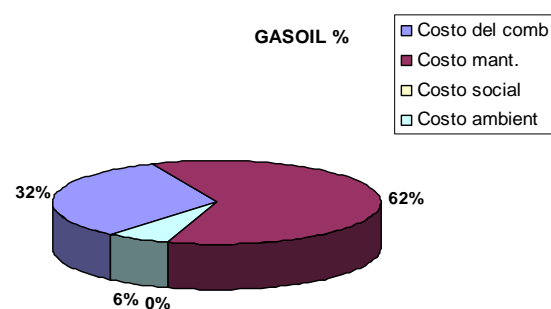


Figura 3 Costos de implementación GAS OIL sin estación de recarga propia

En base al estudio de costos el ahorro bruto producido por la implementación de GNC es del 30 (%)

Observaciones: el costo está estimado sin considerar el costo de la estación de reabastecimiento ni el subsidio a los combustibles para el TPP.

11.2.2. Con Estación de recarga propia

El modelo de costos anteriormente planteado no considera el costo por la implementación de la estación de recarga de combustible propia.

El costo de una "planta compresora" oscila desde los \$ 300.000 a los \$ 450.000 completa, según su capacidad. A los efectos de este trabajo no se trasladó el costo de la estación al modelo de costos, pero ésta puede ser amortizada con los ahorros devengados del modelo, en un tiempo finito.

Gasto operativo de la estación

La metodología de este punto es evaluar los costos operativos de la estación de reabastecimiento y cargarlos al costo del GNC en boca de línea; por lo tanto, el valor obtenido en el trabajo, que adicionaremos al costo del GNC en boca de línea es: $0.126828 (\$/m^3) + 0.0476 (\$/m^3) = 0.1744 (\$/m^3)$. Por lo tanto, este es el valor que estimamos del GNC con estación de servicio propia.

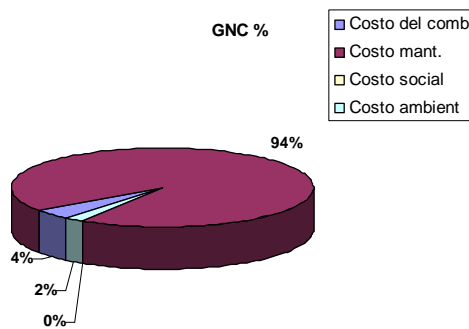


Figura 4 Costos de implementación GNC con estación de recarga propia

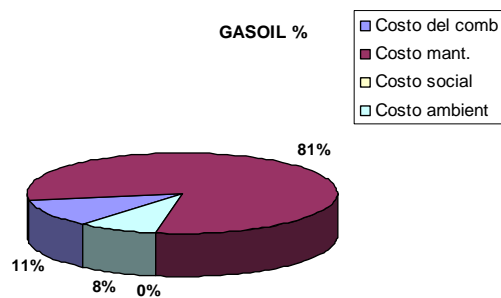


Figura 5 Costos de implementación GAS OIL con estación de recarga propia

En base al estudio de costos el ahorro bruto producido por la implementación de GNC es del 22 %

Observaciones: el costo esta estimado considerando el costo de la estación de reabastecimiento y el subsidio a los combustibles para el TPP.

12. CONCLUSIÓN

En virtud de lo expuesto anteriormente, se concluye que los beneficios devengados por el uso del GNC en el TPP son no solamente de orden económico-financiero hacia las empresas de TPP sino también de lograr beneficios ambientales importantes tanto en la calidad de vida en la ciudad, como a la emisión de gases de efecto invernadero que afectan en orden mundial.

13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fuente: ME-43A TERMOTECNIA – Roberto Román L. – Departamento de Ingeniería Mecánica – UNIVERSIDAD DE CHILE.
- [2] ME-43A TERMOTECNIA - Roberto Román L. - Departamento de Ingeniería Mecánica - UNIVERSIDAD DE CHILE
- [3] REVISTA "Ignición" – Edición Especial 2000 – Venta A- La Industria Automotriz
- [4] REVISTA "Consumer Eroski" – Nº 66 mayo 2003
- [5] GAS NATURAL, Características, distribución y aplicaciones industriales – E. Borrás Brucart. Ed Técnicas Asociados. Barcelona (1987).
- [6] VOLVER A PENSAR EL SECTOR HIDROCARBUROS - Jorge Lapeña- Clarín - Suplemento Económico, 26 de febrero de 2006
- [7] LA CUESTIÓN ENERGÉTICA ARGENTINA - Para Escenarios alternativos - Jorge Lapeña- <http://www.iae.org.ar/archivos/escenarios.pdf>
- [8] "TECNOLOGIA DE COMBUSTIBLES" I. Combustibles sólidos", "Tecnología de combustibles II. Combustibles líquidos", CANSECO MEDEL, A., Fundación Gómez-Pardo, Madrid 1974.
- [9] "GAS NATURAL", Editores técnicos asociados, Barcelona, 1986, BORRÁS BRUCART, E.