



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS

PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN
CHILE

OCTUBRE DE 2009



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVO GENERAL DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL EN 3CV	5
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROGRAMA PILOTO “USO BIOETANOL EN CHILE”	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
5. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL EN 3CV - CHILE	13
5.1 PROGRAMA DE ENSAYOS.....	13
5.2 MÉTODOS DE ENSAYO Y EQUIPAMIENTO.....	14
5.2.1 <i>Emissiones de Escape</i>	14
5.2.2 <i>Emissiones Evaporativas</i>	15
5.3 COMBUSTIBLES.....	16
5.4 RESULTADOS.....	16
5.4.1 GASES DE ESCAPE (CICLO FTP-75).....	16
5.4.2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE EMISIONES REALIZADAS EN CHILE PARA DISTINTAS MEZCLAS DE GASOLINA Y BIOETANOL.....	23
5.4.3 EMISIONES DE LA MOTOCICLETA.....	26
5.4.4 PRUEBAS EVAPORATIVAS.....	28
6. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL EN BRASIL	32
6.1 PROGRAMA DE ENSAYOS.....	32
6.2 MÉTODOS DE ENSAYO Y EQUIPAMIENTO.....	33
6.3 COMBUSTIBLES.....	33
6.4 RESULTADOS.....	34
6.4.1 GASES DE ESCAPE Y RENDIMIENTO (CICLO FTP-75).....	34
7. COMENTARIOS	39
8. CONCLUSIONES	42
ANEXO 1: VEHÍCULOS ENSAYADOS EN 3CV	43
ANEXO 2: FACTORES DE DETERIORO	47
ANEXO 3: ESPECIFICACIÓN DE CALIDAD DE COMBUSTIBLES	48
ANEXO 4: ESPECIFICACIÓN EQUIPOS UTILIZADOS	50
ANEXO 5: LISTADO DE ACRÓNIMOS	52
ANEXO 6: INFORME DE RESULTADOS VEHÍCULOS ENSAYADOS EN BRASIL	53



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN CHILE

Página 3 de 100

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al informe final del programa experimental "Uso de Bioetanol en Chile" y contempla los resultados de:

- Emisiones de escape para los contaminantes regulados HC, HCNM, CO, NOx, emisiones evaporativas y resultados de consumo de combustible obtenidos por el Laboratorio de Emisiones del Centro de Control y Certificación Vehicular (3CV), dependiente de la Subsecretaría de Transportes, en los ensayos realizados entre Octubre de 2008 y Marzo de 2009 utilizando gasolina base y mezclas de ésta con bioetanol al 5% y 10% (E0, E5 y E10 respectivamente).
- Emisiones de escape para los contaminantes HC, HCNM, CO, NOx y aldehídos (HCO) obtenidos utilizando gasolina base y mezclas de ésta con bioetanol al 5% y 10% (E0, E5 y E10 respectivamente), obtenidos en Brasil por los siguientes fabricantes de vehículos:

General Motors do Brasil Ltda., ensayos realizados entre el 27 de Mayo y 24 de Junio del presente año, en el Campo de Provas Cruz Alta, Indaiatuba, Sao Paulo.

Fiat Automóveis S/A, ensayos realizados entre el 2 y 12 de Febrero del presente año, en FA Powertrain Ltda. Laboratorio de Emisiones e Consumo, Betim, Minas Gerais.

Ford Motor Company Brasil Ltda., ensayos realizados entre el 10 y el 25 de Junio del presente año, en el Campo de Provas de Tatuí, Sao Paulo.

Parte importante en este estudio tienen las filiales nacionales de estos fabricantes: General Motors Chile, Comercial Itala y Ford Motor Company Chile, cuya participación fue principalmente la coordinación para la ejecución de los ensayos e interacción en los requerimientos de información.

Otras entidades que tuvieron participación en la realización de este programa experimental, fueron:

Generado por:	Aprobado por:
Nombre: Pamela Olivo Becerra	Nombre: Alfonso Cádiz Soto
Cargo: Coordinadora laboratorio de Combustibles	Cargo: Secretario Técnico 3CV



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN CHILE

Página 4 de 100


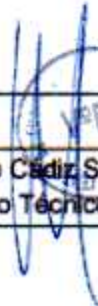
Empresa Nacional del Petróleo de Brasil PETROBRAS, encargada de preparar y proporcionar el bioetanol puro utilizado en esta experiencia.

Empresa Nacional del Petróleo ENAP, encargada de preparar y proporcionar la gasolina base, cuya especificación correspondía a combustible nacional comercial.

Copec, encargada de preparar las mezclas E5 y E10 y enviarlas a 3CV, participando además en el transporte del combustible desde Chile a Brasil,

Comisión Nacional de Energía CNE, cuya participación fue la colaboración en la gestión del envío del combustible a los fabricantes de vehículos en Brasil a través de PROCHILE.

Finalmente es importante también agradecer a los importadores de vehículos en Chile que pusieron a disposición de 3CV los vehículos que formaron parte de la flota de evaluación, Derco S.A., Distribuidora Automotriz Marubeni Ltda., Kia Chile S.A., Toyota Chile S.A., General Motors Chile, Industria Automotriz Ltda. y Honda Motor Chile S.A.

Generado por:		Aprobado por:	
Nombre: Pamela Olivo Becerra		Nombre: Alfonso Cádiz Soto	
Cargo: Coordinadora laboratorio de Combustibles		Cargo: Secretario Técnico 3CV	



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN CHILE

Página 5 de 100

2. OBJETIVO GENERAL DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL EN 3CV



Evaluar el efecto del uso de mezclas de gasolina con bioetanol en el nivel de las emisiones contaminantes de gases escape, emisiones evaporativas y en el consumo de combustible, en vehículos livianos, en el contexto del Programa Piloto "Uso de Bioetanol en Chile"

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROGRAMA PILOTO "USO BIOETANOL EN CHILE"

a) Determinar el nivel de emisiones de gases de escape y evaporativas para los contaminantes regulados en Chile (HCT, CO, NOx, HCNM), en vehículos livianos usando gasolina con mezclas de bioetanol al 5% (E5) y 10% (E10. %), conforme procedimientos estandarizados utilizados en el procedimiento de homologación para vehículos nuevos.

b) Determinar el nivel de emisiones de Aldehídos, en vehículos livianos usando gasolina con mezcla de bioetanol al 5% (E5) y 10% (E10).

Nota: el objetivo específico a) fue llevado a cabo en el laboratorio de emisiones de 3CV y el objetivo b) fue llevado a cabo en los laboratorios de los fabricantes de vehículos en Brasil.

Generado por:		Aprobado por:	
Nombre: Pamela Olivo Becerra		Nombre: Alfonso Cadiz Soto	
Cargo: Coordinadora laboratorio de Combustibles		Cargo: Secretario Técnico 3CV	



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN CHILE

Página 6 de 100



4. REVISIÓN DE LITERATURA

La búsqueda de combustibles limpios, que permitan disminuir las emisiones de gases efecto invernadero, ha llevado a la utilización de mezclas de etanol con gasolina (desde 5 a 100% de volumen) en países de la Unión Europea, EEUU y Brasil. El etanol se presenta como un combustible renovable, producido por la fermentación de azúcares (caña de azúcar, principal materia prima en Brasil), almidón (como maíz, soja.) o celulosa (residuos forestales).

El bioetanol se promueve como un combustible con emisiones cero, ya que la cantidad de CO₂ emitido en la combustión es la misma que captó la planta para crecer. Además porque al introducir más oxígeno a la mezcla aumenta la eficiencia de la combustión. Por el contrario existen cuestionamientos del aporte real de la reducción de gases de efecto invernadero, dado que el ciclo de vida del etanol es más extensa que el crecimiento de la planta, ya que se debe considerar el uso de tierra, la fertilización de esta, las emisiones procedentes de la producción de la materia prima (tractores y demás maquinaria empleada), las emisiones del transporte de esta materia prima y del etanol hacia las estaciones de servicio, y por último, la emisión procedente de la combustión interna en el motor del vehículo¹; provocando emisiones netas que pueden ser significativas. Incluso, un estudio realizado en vehículos Toyota y Tercel-3A se encuentran incrementos de un 7,5%² en las emisiones de Dióxido de Carbono.

¹ Mark A. Delucchi, Lifecycle Analyses of Biofuels, Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, 2006.

² M. Al-Hasan, Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission, Energy Conversion and Management 44 (2003) 1547-1561.

Generado por:		Aprobado por:	
Nombre: Pamela Olivo Becerra		Nombre: Alfonso Cádiz Soto	
Cargo: Coordinadora laboratorio de Combustibles		Cargo: Secretario Técnico 3CV	



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN CHILE

Página 7 de 100

La reducción de emisiones de Hidrocarburos Totales (THC) y de CO son considerables; Al-Hasan reporta una reducción de 46.5% y 24.3% como promedio para CO y THC; otro reporte del medio ambiente de Australia³ presenta una disminución entre 14%-25% para las emisiones de CO y 16%-27% para las de THC, utilizando el ciclo de conducción FTP 75. Por su parte un estudio de Bang-Quan He, muestra drásticas disminuciones de las emisiones de CO y THC para mezclas gasolina/etanol⁴. Finalmente, reducciones de un 20.2% y 30.01% para emisiones de THC y CO son reportadas en un estudio de Ceviz⁵.

Con respecto a las emisiones de NOx los resultados son disímiles. Estudios realizados para la administración Sueca de carreteras⁶ informan la disminución de emisiones de NOx al aumentar la proporción de etanol en las mezclas (con ciclos de conducción NEDC y Artemis), igual conclusión a la que llegan Bang-Quan He y col. y Magnusson & Nilson⁷ es sus respectivas investigaciones. Por el contrario Hu et al⁸, West et al⁹ (con un ciclo de

³ Orbital Engine Company, A Literature Review Based Assessment on the Impacts of a 20% Ethanol Gasoline Fuel Blend on the Australian Vehicle Fleet, 2002.

⁴ Bang-Quan He*, Jian-Xin Wang, Ji-Ming Hao, Xiao-Guang Yan, Jian-Hua Xiao, A study on emission characteristics of an EFI engine with ethanol blended gasoline fuels, Atmospheric Environment 37 (2003) 949-957.

⁵ M.A. Ceviz *, F. Yu** ksel, Effects of ethanol-unleaded gasoline blends on cyclic variability and emissions in an SI engine, Applied Thermal Engineering 25 (2005) 917-925.

⁶ Claes de Serves. Emissions from Flexible Fuel Vehicles with different ethanol blends, para Swedish Road Administration, Octubre 2005.

⁷ R. Magnusson, C. Nilsson. Emissions of Aldehydes and Ketones from a Two-Stroke Engine Using Ethanol and Ethanol-Blended Gasoline as Fuel, ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY / VOL. 36, NO. 8, 2002.

⁸ Hu et al (2004). Economics, environment, and energy life cycle assessment of automobiles fueled by bio-ethanol blends in China.

Generado por:	Aprobado por:
Nombre: Pamela Olivo Becerra	Nombre: Alfonso Gádiz Soto
Cargo: Coordinadora laboratorio de Combustibles	Cargo: Secretario Técnico 3CV



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN CHILE

Página 8 de 100



conducción LA-92, el cual posee tasas de aceleración y velocidad superiores al ciclo FTP 75), junto a otros autores¹⁰, han encontrado un incremento en las emisiones de NOx, de combustible a base de etanol, comparado con gasolina común.

Para las emisiones de aldehídos, la literatura reporta importantes aumentos, como es el caso de estudio realizado en Australia, donde se encontró un incremento mayor al 100% para las emisiones de acetaldehído (con ciclo FTP 75), a conclusiones similares llegan West et al., Bang-Quan He. Por otra parte, Magnussson reporta un aumento de 6% a 20%, en las emisiones de acetaldehído y 20% a 40% de formaldehído respectivamente.

En las tablas 1 y 2 se muestran emisiones de aldehídos generadas por el uso de diferentes combustibles en diferentes modelos de automóviles. En la Tabla 1 se observa un aumento de las emisiones de acetaldehído con respecto a la utilización de gasolina para todos los automóviles, por lo contrario, las emisiones de formaldehído para el 90 Ford Taurus con gasolina son las mismas que para los automóviles con combustible E85.

⁹ Brian West, Keith Knoll, Wendy Clark, Ronald Graves, John Orban, Steve Przesmitzki, and Timothy Theiss, Effects of intermediate ethanol blends legacy vehicles and small non-road engines, report 1., Energy Efficiency and Renewable Energy, 2008.

¹⁰ W. Ocampo. ¿Es la biogasolina una alternativa ambiental en Colombia?, revista Facultad de ingeniería N° 38, pp. 7-19, septiembre 2006.

Generado por:		Aprobado por:	
Nombre: Pamela Olivo Becerra		Nombre: Alfonso Cádiz Soto	
Cargo: Coordinadora laboratorio de Combustibles		Cargo: Secretario Técnico 3CV	



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN CHILE

Página 9 de 100

Tabla1. Tasas de emisión de vehículos a etanol y gasolina comparados con vehículos similares.¹¹

Tasas de Emisión FTP (g/km)			
Vehículo	Combustible	Formaldehído	Acetaldehído
92 Chevy Lumina VFV	E85	0.003	0.013
91 Chevy Lumina VFV	E85	0.003	0.013
91 VW Jetta FFV	E85	0.003	0.014
89 Olds Delta 88	Gasolina	0.0006	0.0006
90 Ford Taurus	Gasolina	0.003	0.001

En la tabla 2 se presentan las variaciones en las emisiones de formaldehído y acetaldehído para automóviles pre y post 1986, se observa que aunque las tasas de emisiones en g/km disminuyen considerablemente para los automóviles pre y post 1986 (los post 86 cumplen norma vehículos EPA Tier 0), el cambio en % entre la utilización de gasolina y E10 se mantiene, obteniéndose un incremento de emisiones de formaldehído cercano al 25% y de acetaldehído cercano al 200%.

¹¹ Pitsstick M. Emissions from ethanol and LPG fueled vehicles. Center for transportation research. Argonne National Laboratory.

Generado por:		Aprobado por:	
Nombre: Pamela Olivo Becerra		Nombre: Alfonso Cádiz Soto	
Cargo: Coordinadora laboratorio de Combustibles		Cargo: Secretario Técnico 3GV	



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN CHILE

Página 10 de 100

Tabla 2. Emisiones de Aldehídos para automóviles pre y post 1986¹²

	Automóviles Pre 1986			Automóviles post 1986		
	Gasolina	E10	%	Gasolina	E10	%
Formaldehído (g/km)	0.031	0.039	26.19	0.005	0.006	25
Acetaldehído (g/km)	0.008	0.024	220.5	0.002	0.006	193

En la tabla 3 se presentan las normas de emisión de aldehídos en Brasil, USA federal y California.

Tabla 3: Normas emisión Aldehídos.¹³

	Durability	HCHO (g/km)
USA federal	50 k	0.009
	120 k	0.011
California	50 k	0.009
	120 k	0.011
Brasil		0.030

¹² APACE Research Ltd, Intensive field trial of ethanol/petrol blend in vehicles: volume 1 main report, Sydney, 1998, p. 37.

¹³ Delphi, Worldwide emissions standards, Passenger cars & Light duty trucks, 2009.

Generado por:	Aprobado por:
Nombre: Pamela Olivo Becerra	Nombre: Alfonso Cádiz Soto
Cargo: Coordinadora laboratorio de Combustibles	Cargo: Secretario Técnico 3CV



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN CHILE

Página 11 de 100

Desde el punto de vista de su impacto en la calidad del aire y salud, el formaldehído y acetaldehído son clasificados como probables carcinógenos humano por la IARC y los EE.UU.



Los compuestos orgánicos volátiles (COV's), junto con los NO_x son precursores del Ozono troposférico, compuesto altamente dañino para la salud humana y la vegetación debido a su poder oxidante. Provoca irritación en los ojos y mucosas, penetra eficazmente a regiones pulmonares provocando la reducción en su función, ocasionando de esta manera incrementos en hospitalizaciones y visitas a salas de emergencias.

Es de importancia entonces hacer notar que la presencia de aldehídos en la atmósfera aumenta la formación del radical OH debido a la fotólisis, entre otras sustancias, del formaldehído. El radical hidroxilo es uno de los compuestos más reactivos presentes en la atmósfera, permitiendo aumentar la formación de radicales libres, con mayor capacidad oxidativa, como son los peróxidos HO_2 y RO_2 . Estos últimos son también altamente reactivos provocando cambios en la composición química y en las estructuras celulares. Por ejemplo envejecimiento de la piel por la disminución del colágeno.

Un ejemplo de esto es la oxidación del acetaldehído por el OH produce radicales peroxiacetil, que en presencia de NO_2 provoca la formación de Nitrato de Peroxiacetilo (PAN), un compuesto que produce alteraciones menores en la función pulmonar e irritación ocular en el ser humano. Estudios realizados en la Región Metropolitana^{14 15 16} han mostrado en forma

¹⁴ Rappenglück B, Oyola P, Olaeta I, Fabian P. The Evolution of Photochemical Smog in the Metropolitan Area of Santiago de Chile. Journal of applied meteorology. Vol 39. 1998.

¹⁵ Rappenglück B, Schmitza R, Bauerfeinda M, Cereceda-Balich F, von Baerc D, Jorquerad H, Silvae Y, Oyola P. An urban photochemistry study in Santiago de Chile. Atmospheric Environment. Vol 39, 2913–2931, 2005.

Generado por:		Aprobado por:	
Nombre: Pamela Olivo Becerra		Nombre: Alfonso Cadiz Soto	
Cargo: Coordinadora laboratorio de Combustibles		Cargo: Secretario Técnico 3CV	



GOBIERNO DE CHILE
SUBSECRETARÍA DE TRANSPORTES
CENTRO DE CONTROL Y CERTIFICACIÓN
VEHICULAR

INFORME DE RESULTADOS PROGRAMA EXPERIMENTAL USO DE BIOETANOL EN CHILE

Página 12 de 100

muy clara el alto potencial fotoquímico que presenta la atmósfera de Santiago. El ingreso masivo de vehículos que usen biocombustibles en la Región Metropolitana, sin duda, potenciará la formación de estos radicales (OH, HO₂, RO, RO₂ entre otros).

¹⁶ Rubio M, Oyola P, Gramsch E, Lissi E, Pizarro J, Villena G. Ozone and peroxyacetylnitrate in downtown Santiago, Chile. Atmospheric Environment, Vol. 38, 4931-4939, 2004.

Generado por:	Aprobado por:
Nombre: Pamela Olivo Becerra	Nombre: Alfonso Cadiz Soto
Cargo: Coordinadora laboratorio de Combustibles	Cargo: Secretario Técnico 3CV

