



Editorial de la Universidad
Tecnológica Nacional

Tesis para la Maestría en Ingeniería Ambiental

***Una solución tecnológicamente viable para
la reducción de las emisiones en vehículos
de inyección electrónica secuencial,
propulsados a gas natural***

Eduardo A. Quiroga Ramos

Director de tesis: Ing. Mario Rosato

Jurado: Dr. Vicente Lescano
Dr. Jorge Reyna Almandos
Ing. Juan Sacco

Facultad Regional La Plata
Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N.
Argentina

2012

Información sobre el Autor y la Tesis 

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir la producción cultural y el conocimiento generados por docentes universitarios y autores auspiciados por las universidades, pero que estos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

INDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	5
1. INTRODUCCION	6
1.1 EL PROBLEMA QUE SE ABORDA	6
1.2 OBJETIVOS	8
1.3 HIPOTESIS	8
1.4 CONTENIDO DE LA TESIS	9
2. COMBUSTIBLES FOSILES DE USO AUTOMOTOR	11
2.1 DESCRIPCION Y PROPIEDADES	11
2.2 IMPACTOS EN EL AMBIENTE Y LA SALUD	18
2.3 MARCO REGULATORIO. NORMATIVA	28
3. MOTORES	47
3.1 MOTORES NAFTEROS DESEMPEÑO AMBIENTAL	47
3.2 NUEVAS ALTERNATIVAS DE PROPULSION	73
4. EL GAS NATURAL COMPRIMIDO	97
4.1 ANTECEDENTES	97
4.2 TECNOLOGIAS EN EL MUNDO	101
4.3 EL GNC EN NUESTRO PAIS	106
4.4 INYECCION SECUENCIAL DE GAS	114
5. TECNOLOGIA PROPUESTA	124
5.1 MARCO TEORICO HIPOTESIS DE TRABAJO	124
5.2 RELACIONES USADAS PARA EL DISEÑO	131
5.3 DESARROLLO DE UN PROTOTIPO	138
5.4 PRUEBAS Y MEDICIONES	144
5.5 GENERALIZACION DE LA APLICACIÓN	158
6. COLOFON	162
6,1 CONCLUSIONES	162
6.2 DISCUSION Y RECOMENDACIONES HACIA EL FUTURO	162
6.3 ANALISIS CRITICO DE LA METODOLOGIA UTILIZADA	163
6.4 REFLEXION FINAL	164
BIBLIOGRAFIA	166
ANEXO	170

RESUMEN

El Gas Natural Comprimido GNC es un combustible amigable para el ambiente y no tóxico para la salud. Está compuesto principalmente por metano, un combustible limpio, que puede producirse mediante procesos sustentables.

Resulta necesario controlar y reducir el volumen de metano que se libera, ya que su presencia en la atmósfera, tiene importante influencia en el conjunto de los Gases de Efecto Invernadero. El uso del GNC como combustible puede ayudar a su reducción. Su aplicación a vehículos como combustible, enfrenta hoy un gran desafío, la necesidad de dar un salto tecnológico que permita generalizar su utilización en los motores modernos, con confiabilidad y optimizando su desempeño ambiental.

Los equipos de conversión clásicos presentan serias limitaciones para adaptarse a los nuevos motores de inyección electrónica de combustible y tienen un bajo desempeño ambiental. Las tecnologías modernas de conversión presentan costo elevado y limitaciones, en cuanto a los requerimientos de capacitación e instrumental para los talleres de conversión así como tiempos de instalación prolongados.

En este trabajo abordamos desde una nueva propuesta tecnológica, el desarrollo de un equipo de GNC de inyección electrónica multipunto secuencial, de bajo costo, fácil instalación y gran adaptabilidad, que mejora el desempeño ambiental y que puede introducirse en los vehículos de fábrica con mucha sencillez.

ABSTRACT

Compressed Natural Gas CNG is an environmentally friendly fuel not toxic to health. It is mainly composed of methane, a clean fuel that can be produced by sustainable processes.

It is necessary to control and reduce the volume of methane that is released because its presence in the atmosphere has an important influence on the set of Greenhouse Gases. The use of GNV as fuel can help to reduce them. Its application to fuel vehicles today faces a great challenge: to make a technological leap that allows extending its use on modern engines with reliability and optimizing its environmental performance.

The classic conversion kits have serious limitations to adapt to new electronic injection engines and have a low environmental performance. Modern conversion technology presents high costs and limitations as to the personnel training requirements and conversion instruments and extended installation times.

In this paper we look at the development of electronic injection sequential multipoint CNG equipment. It is low-cost, easy to install, has great adaptability, improves environmental performance and can enter factory vehicles very simply.

DEDICATORIA

*A mi compañera Selenia,
a mis hijos Martín, Mariela, Victoria, Vivian y Jassiel
a mi nieto Thiago.*

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a todos los que me formaron y a Descartes (Cartesius), que nos enseñó a usar la duda como método.

Al Ing. Roberto Ulibarri y al Ing. Eduardo Brizuela PhD, por sus valiosas contribuciones.

A Juan José Mainero de Camuzzi Gas Pampeana por sus aportes.

Al personal de mecánicos de la empresa Cayber por su trabajo y por su importante colaboración.

A mi Director Ing. Mario Rosato, por su participación en este trabajo, pero más por su aporte a la formación de tantos profesionales.

Al personal del Laboratorio de Máquinas Térmicas de la UNLP y del Laboratorio de Ensayo de Motores de la Facultad Regional Santa Fe UTN.

Al Sr. José Randazzo por la confianza dispensada en este trabajo.

CAPITULO 1 INTRODUCCION

1.1 EL PROBLEMA QUE SE ABORDA

El siglo XXI encuentra al mundo frente a fuertes cambios ambientales que modificarán sensiblemente la forma en que el hombre continuará interactuando con el planeta. Se discute aún, cuanto de estos cambios resulta consecuencia de la actividad antrópica, pero lo que ya no se discute, es que existe una relación causal, de mayor o menor impacto sobre el clima, generada por las emisiones de los llamados gases de efecto invernadero (GEI) y sobre la salud humana, como consecuencia de las emisiones gaseosas de sustancias tóxicas^{1,2}.

Los GEI, la mayoría de los cuales están presentes de forma natural en nuestra atmosfera, han aumentado su concentración en ella desde el inicio de la era industrial³. Si bien algunos de estos gases parecen haberse presentado, en altas concentraciones en otras épocas de la historia de la tierra contribuyendo también entonces, a situaciones de cambio climático, es hoy en que se presentan con una simultaneidad que potencia su efecto.

¹ **Barros, V., Menéndez, A. N., Nagy G.** El Cambio Climático en el Río de la Plata, CIMA, Buenos Aires, 2005.

² **Pittock, A.B.** *Climate Change: The Science, Impacts and Solutions*. Second Edition. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 2009.

³ **NOAA.** Emissions of Potent Greenhouse Gas Increase Despite Reduction Efforts U.S. Dept. of Commerce, Washington DC. 2010

La combustión de derivados fósiles ha sido sin duda el motor de la era industrial y aún lo es hoy, el aprovechamiento del calor de combustión y su transformación en trabajo, fue la clave del desarrollo industrial con el advenimiento de la máquina térmica.

Es la transformación de estos combustibles fósiles en calor y la consecuente emisión de gases a la atmósfera, una de las principales responsables del incremento de los GEI y de otros subproductos que afectan la biosfera⁴.

Las fuentes de emisión de gases se suelen clasificar en estacionarias y móviles, de acuerdo a que tengan o no la posibilidad de desplazarse. Las estacionarias, plantas de energía termo-eléctrica, industrias etc..., generan grandes volúmenes de gases, pero también ofrecen por su carácter puntual y concentrado, la posibilidad de tratamientos de reducción, mitigación y controles eficientes de la autoridad. Las fuentes móviles (vehículos) por su misma naturaleza son dispersas lo que dificulta el seguimiento y el control de sus emisiones.

Entre los combustibles que pueden utilizar los automóviles, se destaca el gas natural como uno de los que menor impacto produce sobre el ambiente y las personas⁵. En este trabajo nos centraremos en su análisis, recorreremos las tecnologías de aplicación y propondremos una nueva solución tecnológica que ayude a la generalización de su uso, en forma

⁴ **DEGOBERT, P.** Automobiles y Pollution Editions Technips 1995 Paris

⁵ **EPA** 420-F-00-033, Marzo 2002.

confiable y económica para los motores modernos, con una reducción de las emisiones cuantificable.

1.2 OBJETIVOS

En este trabajo se estudiará y desarrollará un sistema de inyección secuencial de gas natural comprimido (GNC) para aplicar a motores naftenos de ciclo Otto con inyección electrónica secuencial de combustible, utilizando una tecnología innovadora que permita

- Reducir las emisiones de los vehículos mediante el uso del GNC
- Disminuir los actuales inconvenientes técnicos en las conversiones a GNC
- Reducir los costos y tiempos de instalación de los equipos de GNC.
- Facilitar a los mecánicos la instalación de los equipos y su mantenimiento.
- Poner a disposición de las terminales automotrices una tecnología que permita en forma sencilla y económica la dualización de los vehículos desde su fabricación.

1.3 HIPOTESIS

Para poder alcanzar el objetivo propuesto plantearemos como hipótesis de trabajo que:

Es posible, bajo condiciones especiales de presión y caudal, inyectar por unidad de tiempo una cantidad de gas al motor, en la secuencia correcta

qué, sin alterar las condiciones cartográficas del computador original del auto, permita obtener un rendimiento adecuado de marcha con emisiones mínimas.

Este planteo busca verificar si las similitudes que presentan como combustibles para los motores ciclo Otto las naftas y el gas natural⁶, son suficientes para extender las ventajas ambientales, que los modernos computadores de los autos llevan implícita en su cartografía, sin alterarla.

Si es así, veremos cual es el rendimiento y condiciones en que el motor puede funcionar. En particular analizaremos y mediremos los gases de escape, en su composición y temperatura para establecer comparaciones con las naftas.

1.4 CONTENIDO DE LA TESIS

En el capítulo 1 se describen brevemente los objetivos y la hipótesis de trabajo, en el marco de la finalidad buscada, que no es otra, sino la de aportar una aplicación tecnológica a la reducción de los GEI y de otros contaminantes producidos por los vehículos propulsados a nafta.

El segundo capítulo se centra en los diversos combustibles fósiles y su desenvolvimiento ambiental. Normativa en el mundo y en Argentina.

El capítulo 3 analiza los nuevos motores de inyección de nafta, las tecnologías alternativas para los vehículos, su estado en el mundo y qué se espera de su desarrollo.

⁶ NNAND, W.J. y ROE, G.E. Gas Flow in the Internal Combustion Engine. Foulis. 1974.

El cuarto capítulo se analiza al GNC como combustible limpio y se recorre su historia y la actualidad de la tecnología en el mundo y en nuestro país.

El capítulo 5 abarca la comprobación de la hipótesis planteada a través del desarrollo del prototipo desde su marco teórico, implementación, pruebas, mediciones y aplicaciones. Su desarrollo comercial.

El capítulo final plantea las conclusiones del trabajo, las recomendaciones hacia el futuro y el análisis de la metodología utilizada.

CAPITULO 2 COMBUSTIBLES FOSILES DE USO AUTOMOTOR

2.1 DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES

La historia del automóvil se inicia en 1769 cuando José Nicolás Cugnot diseña un vehículo a vapor que fue construido por el mecánico M. Brezin, alcanzó 2 millas por hora sobre piso empedrado. En 1784 W. Murdock utilizando el regulador de vapor de Watt construye un triciclo que supera a su predecesor.

Hasta aquí el trabajo mecánico para mover el vehículo, era obtenido por expansión de vapor. Es en 1862 cuando, Alphonse Beau de Rochas desarrolla un motor que obtenía trabajo mecánico por la expansión producida en un cilindro al combustionarse gas. En 1876 Nikolas Otto patenta el ciclo termodinámico que fuera desarrollado por de Rochas.

Estos fueron los primeros vehículos automotores, por las características de sus llantas y del empedrado, resultaban incómodos y no era posible, por estas limitaciones, aumentar su velocidad.

Es el invento de Dunlop, la llanta neumática, el disparador del desarrollo del automóvil tal como lo conocemos hoy.

Gottlieb Dailmer, ex empleado de Otto, continúa desarrollando el ciclo con gas hasta que en 1886 Karl Friedrich Benz construye el primer vehículo con motor ciclo Otto a gasolina⁷.

⁷ Taylor, C.F. The internal combustion engine in theory an practic, MIT, 1982.

Resulta ser entonces que el gas, es el más antiguo de los combustibles usado en motores de combustión interna para vehículos. Su aplicación como tal, vuelve a aparecer durante la segunda guerra mundial, cuando los combustibles líquidos debían asignarse a vehículos de combate.

Los combustibles fósiles más usados en vehículos han sido el gasoil, especialmente aplicado al transporte pesado, las naftas, para vehículos medianos y pequeños de uso particular y el gas, Gas Natural Comprimido (GNC) básicamente Metano y el Gas Licuado de Petróleo (GLP) que es una mezcla de Propano y Butano .

Resulta importante destacar que de los combustibles nombrados sólo el gas natural, o su componente fundamental el metano (95%), es obtenible desde fuentes no fósiles y por lo tanto es el único que resulta sustentable.

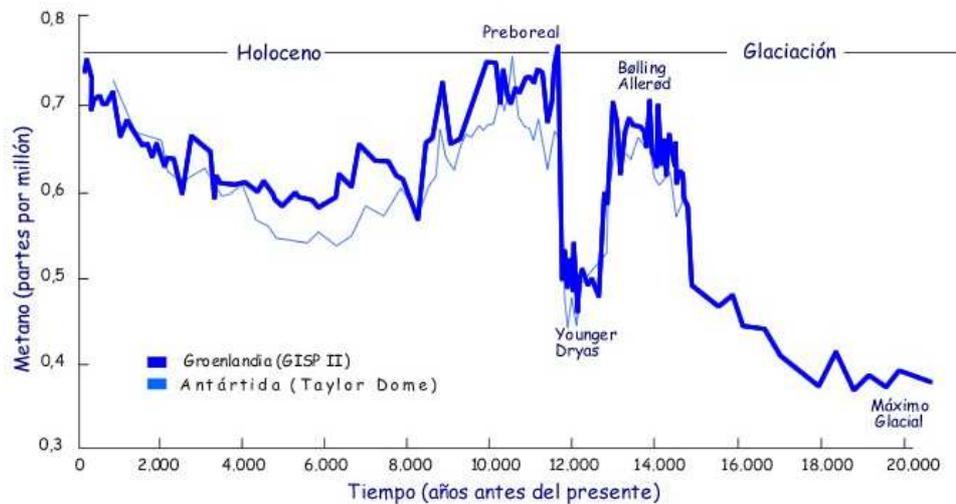
El gas natural se obtiene normalmente desde yacimientos exclusivos o compartidos con el petróleo pero, su componente principal, el metano reconoce también otras fuentes fósiles y no fósiles.

Dado que el metano es un producto de la degradación anaeróbica de la materia orgánica, siempre que ésta aparezca, habrá presente metano.

La ganadería con los flatos de los rumiantes, los arrozales y las marismas, son las principales fuentes de producción y emisión de metano no fósil a la atmósfera, alcanzan el 50% de las emisiones totales de metano, unos 300 millones de toneladas año⁸, a ellas se suman el metano producido en biodigestores de residuos orgánicos, ampliamente difundidos hoy en el

⁸ Schiermeier Q. The methane mystery, Nature. 2006

mundo⁹. En general se considera que el advenimiento de la agricultura, hace unos 5.000 años es el disparador del metano atmosférico.¹⁰



Respecto a otras fuentes de origen fósil del metano citaremos los claratos o hidratos de metano, sólidos formados por agua congelada que en su estructura cristalina contienen altísimas cantidades de metano. Estos claratos atrapados bajo el permafrost del ártico y en el fondo oceánico costero de zonas tropicales, a baja temperatura y a unos 400 mts. de profundidad, resultan hoy una preocupación y una esperanza.

El metano tiene un Potencial de Calentamiento Global (GWP) muy elevado, casi 21 veces superior al CO₂ y si bien su vida en la atmósfera es menor (12 años), es considerado uno de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) mas importantes. Por esto, su liberación desde los claratos, como consecuencia del aumento de temperatura de los océanos y del

⁹ **Smith PH, Bordeaux FM, Wilkie A, Yang J, Boone D, Mah RA, Chynoweth D, Jerger D.** Microbial aspects of biogas production. En: Methane from biomass: a systems approach. Smith WH, Frank JR, AbelsonPH, eds. Elsevier Applied Science Publishers, Barking, Essex, 1988

¹⁰ **Brook E.** On the origin and timing of rapid changes in atmospheric methane during the last glacial period, Global Biogeochemical Cycles. 2000

derretimiento del casquete ártico, resulta muy preocupante. Científicos del National Oceanography Centre Southampton, University of Birmingham, Royal Holloway London y IFM-Geomar (Alemania) concluyen que el calentamiento del Ártico de los últimos 30 años ha disparado la liberación de metano procedente de los claratos. Han encontrado más de 250 fuentes de burbujas de este gas en el lecho marino, en el margen continental al oeste de la isla de Spitsbergen (anteriormente conocida como Spitzberg Occidental) la mayor de las islas del archipiélago de Svalbard, situada en la confluencia entre el océano Ártico, el mar de Barents y el mar de Groenlandia, a una profundidad de entre 150 y 400 metros.

Según la teoría del fusil de metano¹¹, el episodio de extinción masiva de la vida en océanos y sobre la superficie terrestre, ocurrido en el período Pérmico Triásico, hace 251 millones de años, pudo haberse debido a un radical cambio climático acelerado por la liberación de metano de los claratos. Estos episodios se han repetido en la historia de la tierra varias veces en magnitud menor.

Los claratos de metano representan una fuente de provisión de metano para aprovechamiento como combustible de un volumen que se estima, en unidades de energía, resulta el doble del total de petróleo y gas de las reservas descubiertas. Japón e India están realizando grandes inversiones en este tema.

¹¹ **Kennett JP, Cannariato KG, Hendy IL, Behl RJ.** Methane Hydrates in Quaternary Climate Change: The Clathrate Gun Hypothesis. Washington, DC: Am Geophys Union. 2002

Otra fuente fósil de producción de metano, actualmente en pleno desarrollo es el Coal Bed Methane (CBM) que básicamente es gas metano atrapado en fisuras y poros de los mantos de carbón¹², en 2001 representó el 7% del gas producido en EEUU. El gas se libera por un proceso de desorción al bajar la presión hidrostática de las aguas subterráneas presentes en el manto de carbón. Se estima que en Magallanes podrían existir unos 5.000 millones de toneladas de mantos de carbón con un contenido de 7 a 12 M³ / ton¹³ . La empresa Layne Energía de Chile S.A. ha solicitado al gobierno autorización para la explotación de gas (CBM) en la península de Arauco. Chile ha avanzado mucho en la investigación de la explotación de gas de claratos de metano y de CBM.

Otras técnicas de extracción de gas de origen fósil están en pleno auge, podemos citar el shale gas o gas de esquistos y el tight gas o gas de arenas compactadas. Estas nuevas técnicas han permitido nuevas explotaciones en áreas que se descartaban para las técnicas convencionales.

Los costos crecientes del petróleo permiten abordar ahora métodos de exploración y técnicas de explotación que antes resultaban de imposible aplicación.

Recordemos que en nuestro país, treinta años atrás, el gas era un producto casi sin valor y su salida a la atmósfera era una consecuencia de la explotación del petróleo. Durante años se lo venteo e incineró en boca de

¹² **Joyne Somers PhD.** Coalbed Methane Outreach Program (CMOP) EPA Febrero 2007

¹³ **Mancilla Ernesto A** Ing. Civil Mec. (UTE). Comisión de Energía del Colegio de Ingenieros de Chile (AG)

pozo. Hoy su valor le da un nuevo horizonte, con reservas desconocidas aún.

PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES

Resulta interesante destacar aquí algunas diferencias entre las características de la nafta y el metano o gas natural, que resultarán importantes para este trabajo.

De su poder calorífico surge la relación entre metro cúbico de gas y litro de nafta. Esta relación es aproximadamente 1,10 litros de nafta por metro cúbico de gas, decimos aproximadamente dado que el gas natural no presenta siempre el mismo poder calorífico.

Properties of Fuels (a)									
Property	Gasoline	No.2 Diesel Fuel	Methanol	Ethanol	MTBE	Propane	Compressed Natural Gas	Hydrogen	Biodiesel
Chemical Formula	C4 to C12	C8 to C25	CH3OH	C2H5OH	(CH3)3COCH3	C3H8	CH4 (83-99%), C2H6 (1-13%)	H2	C12-C22 FAME
Molecular Weight	100-105	~200	32.04	46.07	88.15	44.1	16.04	2.02	~292(g)
Composition, Weight %									
>Carbon	85-98(b)	87(g)	37.5	52.2	68.1	82	75	0	77(g)
>Hydrogen	12-15(b)	13(g)	13.1	13.1	13.7	18	25	100	12(g)
>Oxygen	0	0(g)	49.9	34.7	18.2	-	-	0	11(g)
Specific gravity, 60° F/60° F	0.72-0.78(b)	0.85(g)	0.796(h)	0.794(h)	0.744(k)	0.508(m)	0.424	0.07(c)	0.88(g)
Density, lb/gal @ 60° F	6.0-6.5(b)	7.079(g)	6.63(b)	6.61(b)	6.19(k)	4.22	1.07(n)	-	7.328(g)
Boiling temperature, °F	80-437(b)	356-644(g)	149(h)	172(h)	131(h)	-44(m)	-263.2 to -126.4(m)	-423(m)	599-662(g)
Reid vapor pressure (100° F), psi	8-15(c)	<0.2	4.6(i)	2.3(j)	7.8(l)	208	2400	-	<0.04(r)
Heating value (2)									
>Lower (Btu/gal) (d)	116,090	128,450	57,250	76,330	93,540	84,250	-	-	119,550
>Lower (Btu/lb) (d)	18,676	18,394	8,637	11,585	15,091	19,900	20,263	52,217	16,131
>Higher (Btu/gal) (d)	124,340	137,360	65,200	84,530	101,130	91,420	-	-	127,960
>Higher (Btu/lb) (d)	20,004	19,673	9,837	12,830	16,316	21,594	22,449	59,806	17,266
Octane no.(1)									
>Research octane no.	88-98(c)	-	-	-	-	112	-	130+	-
>Motor octane no.	80-88(c)	-	-	-	-	97	-	-	-
Cetane no.(1)	-	40-55(g)	-	0-54(f)	-	-	-	-	48-65(g)
Freezing point, °F	-40(e)	-40-30(4)	-143.5	-173.2	-164(h)	-305.8(m)	-296	-435(p)	26-66(q)(7)
Viscosity, mm ² /s									
>@104 °F	-	1.3-4.1(g)	-	-	-	-	-	-	4.0-6.0(g)
>@68 °F	0.5-0.6(f)	2.8-5.0(f)	0.74(f)	1.50(f)	0.47(f)	-	-	-	-
>@-4 °F	0.8-1.0(f)	9.0-24.0(f)	1.345(f)	3.435(f)	0.77(f)	-	-	-	-
Flash point, closed cup, °F	-45(b)	140-176(g)	52(i)	55(i)	-14(c)	-156(m)	-300	-	212-338(g)
Autoignition temperature, °F	495(b)	~600	867(b)	763(b)	815	842(m)	900-1170(m)	932(m)	-
Water solubility, @ 70° F									
>Fuel in water, volume %	Negligible	Negligible	100(h)	100(h)	4.8(f)	-	-	-	-
>Water in fuel, volume %	Negligible	Negligible	100(h)	100(h)	1.5(f)	-	-	-	-
Flammability limits, volume%									
>Lower	1.4(b)	1.0	7.3(j)	4.3(j)	1.6(c,e)	2.2	5.3	4.1(e)	-
>Higher	7.6(b)	6.0	36.0(i)	19.0(i)	8.4(c,e)	9.5	15	74(c)	-
Latent heat of vaporization									
>Btu/gal @ 60° F	~900(b)	~710	3,340(b)	2,378(b)	863(5)	775	-	-	-
>Btu/lb @ 60° F	~150	~100	506(b)	390(b)	138(5)	193.1	219	192.1(p)	-
Specific heat, Btu/lb °F	0.48(e)	0.43	0.60(j)	0.57(j)	0.50(j)	-	-	-	-
Stoichiometric air/fuel, weight	14.7	14.7	6.45	9.00	11.7	15.7	17.2	34.3(e)	13.8(g)
Volume % fuel in vaporized stoichiometric mixture	2.0 (b)	-	12.3(b)	6.5(b)	2.7(i)	-	-	-	-

Sources:

- (a) The basis of this table and associated references was taken from: American Petroleum Institute (API), Alcohols and Ethers, Publication No. 4261, 3rd ed. (Washington, DC, June 2001), Table B-1.
- (b) "Alcohols: A Technical Assessment of Their Application as Motor Fuels," API Publication No. 4261, July 1976.
- (c) Petroleum Product Surveys, Motor Gasoline, Summer 1986, Winter 1986/1987, National Institute for Petroleum and Energy Research.
- (d) Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation (GREET) Model, Argonne National Laboratory, accessed 11-20-06
- (e) "Status of Alcohol Fuels Utilization Technology for Highway Transportation: A 1981 Perspective," Vol. 1, Spark-Ignition Engine, May 1982, DOE/CE-56051-7.
- (f) American Petroleum Institute (API), Alcohols and Ethers, Publication No. 4261, 3rd ed. (Washington, DC, June 2001), Table 2
- (g) J. Tuttle and T. von Kuegelgen, Biodiesel Handling and Use Guidelines--Third Edition, National Renewable Energy Laboratory, 2004.
- (h) Handbook of Chemistry and Physics, 62nd Edition, 1981, The Chemical Rubber Company Press, Inc.
- (i) API Technical Data Book - Petroleum Refining, Volume I, Chapter I, Revised Chapter 1 to First, Second, Third and Fourth Editions, 1988.
- (j) "Data Compilation Tables of Properties of Pure Compounds," Design Institute for Physical Property Data, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1984.
- (k) API Monograph Series, Publication 723, "Teri-Butyl Methyl Ether," 1994.
- (l) ARCO Chemical Company, 1987.
- (m) Praxair, Inc. Material Safety Data Sheets for Propane, CNG, and Hydrogen. September 2004. Danbury, CT USA.
- (n) Value at 80 degrees F with respect to the water at 60 degrees F (Mueller & Associates).
- (o) C. Borusbay and T. Nejat Veziroglu, "Hydrogen as a Fuel for Spark Ignition Engines," Alternative Energy Sources VIII, Volume 2, Research and Development (New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1989), pp. 559-560.
- (p) Technical Data Book, Prepared by Gulf Research and Development Company, Pittsburgh, PA, 1962.
- (q) National Biodiesel Board, "Soybean Methyl Ester Formula and Molecular Weight". Accessed at www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/Weight&Formula.PDF on 11-20-06
- (r) National Biodiesel Board, "Biodiesel Fact Sheet", accessed at www.biodiesel.org.au/biodieselfacts.htm on 11-20-06.

Notes

- (1) Octane values are for pure components. Laboratory engine Research and Motor octane rating procedures are not suitable for use with neat oxygenates. Octane values obtained by these methods are not useful in determining knock-limited compression ratios for vehicles operating on neat oxygenates and do not represent octane performance of oxygenates when blended with hydrocarbons. Similar problems exist for cetane rating procedures.
- (2) Since no vehicles in use, or currently being developed for future use, have powerplants capable of condensing the moisture of combustion, the lower heating value should be used for practical comparisons between fuels.
- (4) Pour Point, ASTM D 97 from Reference (c).
- (5) Based on cetane.
- (6) For compressed gas at 2,400 psi.
- (7) Cloud Point

La composición y por tanto el poder calorífico del gas que se distribuye en nuestro país varía estacionalmente y regionalmente dependiendo de los

aprovechamientos petroquímicos que traten el gas natural antes de llegar a los puntos de consumo.

Otra característica importante del gas natural es su peso específico que resulta un 43 % inferior al del aire por lo que no se acumula y se difunde verticalmente en forma rápida. Esto le confiere seguridad ante fugas.

El número de octanos es otra diferencia importante de este combustible. Los octanos dan una idea de la resistencia que un combustible ofrece a detonar por compresión. Se define como referencia para ésta propiedad en el iso-octano el valor 100 y 0 para el n-heptano.

En cuanto a los límites de explosión se nota un rango más amplio que el de las naftas.

2.2 IMPACTOS EN EL AMBIENTE Y LA SALUD

Los impactos ambientales que genera la utilización de los combustibles fósiles han sido ampliamente abordados y existen hoy distintas posturas, pero se reconoce que su utilización genera Gases de Efecto Invernadero y las emisiones contaminantes de algunos de estos combustibles fósiles, afectan directamente la salud humana.¹⁴

Es oportuno recordar en este punto que los gases de efecto invernadero, como su nombre lo indica, generan una capa en nuestra atmosfera capaz de permitir el ingreso de la radiación infrarroja pero no así su salida (efecto invernadero). Gracias a la presencia de estos gases la temperatura media

¹⁴ **McMichael, Anthony J y otros.** Climate change and human health: risks and responses. World Health Organization. 2004

del planeta en su superficie lo hace habitable. Si este efecto invernadero no existiera, la temperatura en la superficie rondaría los 18° C bajo cero.¹⁵¹⁶

Volvamos a la combustión. Los principales productos de combustión son CO₂ (dióxido de carbono) y H₂O (agua), pero dependiendo del combustible y de la calidad de la combustión también están presentes otros compuestos, algunos de los cuales son tóxicos para la salud humana y/o nocivos para el ambiente:

CO Monóxido de Carbono

NO_x Oxidos de Nitrógeno

H_xC_y Hidrocarburos no quemados

COV Compuestos Orgánicos Volátiles

SO₂ Dióxido de Azufre

HAP Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos

MP Material Particulado

Además de los productos de la combustión, el uso de los combustibles fósiles puede liberar a la atmósfera emisiones evaporativas:

BTEX Benceno Tolueno Etilbenceno Xileno

MTBE Eter metil tert-butílico

CH₄ Metano

El dióxido de carbono (CO₂) es un componente natural de la atmosfera imprescindible para la vida y por tanto no es un contaminante sino que,

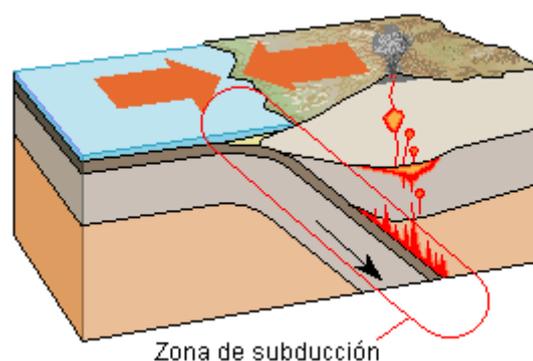
¹⁵ **Horstmeyer Steven L.** The Weather Almanac. Jhon Wiley & Sons. 2011

¹⁶ **Veal William R. Cohen Robert A.** Project Earth Science National Science Teachers Association 1994

ambientalmente se lo considera como un Gas de Efecto Invernadero. Muchos estudios entienden que el aumento de éste y otros gases es responsable del calentamiento global de las últimas décadas.

En efecto, la concentración de este gas en la atmósfera ha aumentado desde la revolución industrial¹⁷ pero, también unos aumentos han existido en otras épocas de la historia de la tierra como así también han existido períodos con aumentos de la temperatura promedio del planeta.¹⁸

En general puede decirse que el dióxido de carbono en gran medida es introducido a la atmósfera por las erupciones volcánicas, las que liberan enormes cantidades de este gas. Son los océanos con los procesos de fotosíntesis en el plancton, los encargados de recapturar el dióxido de carbono, que termina conducido al fondo de los mares al morir los seres que, en la cadena trófica lo asimilan desde el plancton. Desde allí, los movimientos de las placas oceánicas a través de procesos de subducción, vuelven a introducir el dióxido de carbono en la corteza terrestre, desde donde nuevamente será liberado por los volcanes.



¹⁷ **Hans-Joachim Leimkühler**, Managing CO2 Emissions in the Chemical Industry. John Wiley & Sons, 2010

¹⁸ **International Energy Agency**, CO2 Emissions from Fuel Combustion 2010

La mayoría de los estudios coinciden en la necesidad de reducir sus emisiones para evitar el aumento de la temperatura global.

El monóxido de carbono (CO) es un gas constituyente natural de la atmósfera, tóxico en concentraciones altas, dada su capacidad de combinarse con la hemoglobina de la sangre para formar carboxihemoglobina (COHb), en esta condición la hemoglobina no transporta oxígeno. Presenta una afinidad 200 veces superior al oxígeno para combinarse con la hemoglobina.

Puede producirse en los procesos de combustión incompletos por falta de oxígeno. Si bien es un gas presente en la atmósfera en concentraciones de 0,1 ppm, por encima de estas concentraciones constituye un contaminante¹⁹ que resulta peligroso incluso a concentraciones bajas. El 6% del CO emitido a la atmósfera lo es por causas de la actividad humana²⁰.

En centros urbanos y en horarios pico, las concentraciones de CO pueden alcanzar 50-100 ppm.

La principal afectación a la salud se da cuando se presentan exposiciones prolongadas a altas concentraciones. A bajos niveles, el CO puede causar falta de aliento, náusea y mareos ligeros.

Óxidos de Nitrógeno (NO_x) En los procesos de combustión aparecen mayoritariamente, el óxido nítrico NO y también el dióxido de nitrógeno

¹⁹ **Novelli, Paul** Carbon monoxide in the atmosphere Hoboken, NJ, EU 2003

²⁰ **Manahan, Stanley E.** Introducción a la Química Ambiental Reverté-UNAM 2007

NO₂. Se producen a altas temperaturas. La química de los óxidos de nitrógeno y otras especies nitrogenadas inorgánicas reactivas, es muy importante en la atmósfera en ámbitos como la formación del neblumo o smog fotoquímico, la producción de lluvia ácida y el agotamiento del ozono estratosférico.

El NO al igual que el CO se adhiere a la hemoglobina reduciendo la eficiencia del transporte de oxígeno por sangre. La exposición aguda al NO₂ puede ser muy dañina para la salud humana afectando el tejido pulmonar, pudiéndose llegar a la bronqueo litis fibrosa obliterans, de condición fatal.²¹

Hidrocarburos no quemados (H_xC_y) Se producen en la combustión incompleta por mezclas ricas (falta de oxígeno). Son carcinogénicos y mutagénicos, participan como catalizador en la formación de lluvia ácida. Producen irritación de vías respiratorias y nauseas. Los HC participan de la formación del neblumo o smog. Su reactividad está basada en la interacción con el radical hidroxilo siendo el Metano el HC menos reactivo en fase gaseosa.

Los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) Son todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a la temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura (a 293,15° K presentan una presión de vapor de al menos 0.01 kPa) . Suelen presentar una cadena con un número de carbonos inferior a doce y contienen otros

²¹ **Ignarro Louis J.** Nitric oxide: biology and pathobiology. Academic Press 2000

elementos como oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Son contaminantes que participan activamente en la formación de otros contaminantes secundarios como el ozono troposférico y debido a sus características tóxicas²² y mutagénicas, representan un riesgo a la salud del humana²³. Presentan elevada liposolubilidad lo que los hace bioacumulativos. Los COV también juegan un rol en la lluvia ácida, ya que contribuyen a la generación de los radicales responsables de la conversión de los óxidos de azufre en ácido sulfúrico. Similar situación se da con respecto a los óxidos de nitrógeno y el ácido nítrico, así como en la formación de peróxidos que influyen en las formaciones ácidas de las nubes. Algunos COV llegan incluso a fases de transformación en aerosoles, con la consiguiente disminución de visibilidad.

Los Hidrocarburos Aromáticos Poli cíclicos (HAP) son un grupo numeroso de sustancias que químicamente son derivados poliméricos del benceno. Algunos de ellos son; Naftaleno, Acenaftileno ,Acenafteno, Fluoreno, Fenantreno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno
Benzo (a) antraceno, Criseno, Benzo (b) fluoranteno, Benzo (k) fluoranteno, Benzo (a) pireno, Dibenzo (a,h) antraceno, Benzo (g,h,i) perileno, Indeno (1,2,3-c,d) pireno.

²² **Lippmann Morton**, Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects. Jhon Wiley & Sons. 2009

²³ **Seoáñez Calvo Mariano** Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión. Mundiorense libros. 2002

Son una de los primeros agentes químicos reconocidos como carcinogénicos²⁴, se forman en los procesos de combustión.

El Material Particulado (MP) es el único contaminante atmosférico que no tiene composición química definida, teniendo como componentes principales: polvo, hollín, plomo, sulfatos e hidrocarburos. Aproximadamente un 40 % del material particulado está compuesto por partículas de tamaño menor a 10 micras y el 70% de éste son emitidas por los motores diesel. Las partículas menores a 10 micras son las más peligrosas para la salud humana.

El material particulado es uno de los contaminantes ambientales más importantes en los centros urbanos. El producido por vehículos lo es, casi en su totalidad, generado por la combustión del gasoil.

Las partículas más pequeñas logran pasar a través del sistema respiratorio alcanzando los alvéolos pulmonares donde se van fijando. El material particulado en la atmósfera puede alcanzar incluso a pasar a los fluidos corporales. Los pulmones poseen mecanismos de eliminación de estas partículas que pueden ser removidas por los macrófagos, estos las transportan hasta la región ciliada de los pulmones, para luego terminar en el tracto gastrointestinal. En Londres, en 1952, como consecuencia de una inversión térmica de 5 días de duración, en una atmósfera cargada de

²⁴ Crawford, J. H, Bradshaw, J.D., Davis, D. D., Liu, S.C. Nitrogen Oxides and Other Reactive Nitrogen Species. John Wiley & Sons, Inc. 2003

partículas de carbón y compuestos de azufre oxidados se produjeron unas 4.000 muertes que se consideran fueron causadas por el incidente.²⁵

BTEX Benceno Tolueno Etilbenceno Xileno son un grupo de compuestos orgánicos volátiles pertenecientes a la familia de hidrocarburos aromáticos que se caracterizan por encontrarse en forma de vapor a temperatura ambiente y por ser insolubles en agua y muy solubles en otras sustancias orgánicas. Están presentes en las naftas y en otros subproductos del petróleo. En particular el Benceno es carcinogénico y es el primer cancerígeno regulado por las Directivas Europeas de Calidad del Aire (2000/69/CE). Catalogado cancerígeno Categoría A por la International Agency for Research on Cancer (IARC 1987).

Se han descrito para estas sustancias otros daños a la salud por la exposición prolongada; como problemas respiratorios (asma), hematológicos (anemia, trombocitopenia, leucopenia, pancitopenia, anemia aplásica), inmunológicos, neurológicos, reproductivos y de desarrollo.²⁶ Es importante destacar que los BTEX están presentes sin necesidad de combustión, por lo que se desprenden de las naftas en los procesos de carga y desde los tanques de combustible, son parte de las llamadas emisiones evaporativas.

²⁵ **Hunt, Andrew, Abraham, Jerrold L., Bret, Berry, Colin L**, 2003 "Toxicologic and epidemiologic clues from the characterization of the 1952 London smog fine particulate matter in archival autopsy lung tissues" *Environmental Health Perspectives*, 111,1209-1214

²⁶ **Agency for Toxic Substances and Disease Registry** ATSDR 2007.

MTBE Eter metil tert-butílico El éter metil tert-butílico es un líquido inflamable de olor característico desagradable. Se fabrica combinando sustancias químicas como isobutileno y metanol, se ha usado desde los 80 como aditivo para lograr mejorar el octanaje de las naftas sin plomo. No hay ninguna evidencia de que el MTBE produzca cáncer en seres humanos. Un estudio en ratas encontró que respirar altos niveles de MTBE por largo tiempo puede producir cáncer de los riñones. Otro estudio en ratones encontró que respirar altos niveles de MTBE por períodos largos puede producir cáncer del hígado. No ha sido clasificado como cancerígeno por la IARC pero la exposición al MTBE puede producir irritación en vías respiratorias, náuseas, mareos y vómitos. Es una sustancia considerada posiblemente peligrosa para la salud humana (ATSDR). Pertenece al grupo de las emisiones evaporativas y presenta una alta solubilidad en agua. Cualquiera que sea la ruta de exposición, una cantidad alta de MTBE inalterado es eliminada en el aliento. El MTBE que no es eliminado en el aliento es transformado a otras sustancias químicas tales como el alcohol butílico, alcohol metílico, formaldehído, ácido fórmico y dióxido de carbono. Estas sustancias químicas también abandonan el cuerpo rápidamente, en el aire que se exhala o en la orina. El MTBE no permanece mucho tiempo en ningún órgano del cuerpo. La mayor parte del MTBE y de sus productos de degradación abandonan el cuerpo en 1 ó 2 días. Su uso se encuentra prohibido en 20 estados de los EEUU.

CH₄ Metano este gas puede considerarse al igual que el dióxido de carbono, como no tóxico para la salud pero es uno de los gases que más

contribuye al efecto invernadero. Dependiendo del autor se estima que resulta unas 22 veces más perjudicial como GEI que el dióxido de carbono, si bien su vida media en la atmósfera es muy corta.

En los vehículos propulsados a GNC el metano es emitido por el escape sin combustionarse. Su presencia no es detectada por los analizadores de gases más comunes, ya que estos miden HC no metanos y no se encuentran preparados para el Metano, que es considerado un gas presente o de fondo, común en la naturaleza y cuya existencia en los gases de combustión de vehículos naftenos y diesel es descartada.

Ahora bien al referirnos al uso del Gas Natural en motores, resulta importante tener en cuenta éste GEI en las emisiones de estos motores .

2.2 MARCO REGULATORIO. NORMATIVA

A partir de los años 70, en California EEUU, se inició la tarea de generar normas que impusieran límites a las emisiones contaminantes de los vehículos²⁷. La generación de una norma de este tipo, necesariamente está vinculada también a una metodología de determinación.

Los distintos países han ido adoptando diferentes procedimientos y estableciendo los máximos admisibles para cada categoría de vehículos.

Cuando se analizan los contaminantes vertidos a la atmósfera por los vehículos, la determinación de los mismos debe no solo ser cualitativa sino

²⁷ **Cranor, Carl F.** Regulating Toxic Substances: A Philosophy of Science and the Law. Oxford University Press. 1993

también cuantitativa. Si bien la composición de la emisión instantánea que produce un vehículo nos brinda mucha información, a los efectos de normar para fijar límites, resulta necesario adoptar procedimientos que permitan también establecer comparaciones. Por esto, los contaminantes en casi toda la normativa mundial son determinados en [gr/km] o en otra relación de unidades de masa por distancia recorrida, según el sistema de unidades que el país adopta.

La determinación en masa por distancia recorrida, incluye entonces tanto las emisiones instantáneas del motor como también el consumo del vehículo. Un motor de mayor consumo puede tener unas emisiones instantáneas menores en porcentaje de volumen que otro, pero a la vez y debido a que consume más, presentar una mayor masa de gases emitidos por kilómetro recorrido.

Las normas establecen límites en general para CO, HC, NO_x, Material Particulado y formaldehído HCHO. El CO₂ como ya dijimos, no es considerado en sí un contaminante y por esto no lo incluye la normativa. Su determinación, si se realiza en algunos países con el fin de promover, por vía de impuestos o incentivos, la utilización de vehículos con bajas emisiones de CO₂, que sí es un GEI que produce consecuencias ambientales importantes²⁸.

La Unión Europea, con el objeto de alcanzar los valores de reducción de los GEI, fijados en la Tercera Conferencia de las Partes de la Convención

²⁸ **Directiva Europea 1999/94/CE** Real Decreto 837/200213 Guía de Vehículos Turismo de venta en España, con indicación de consumos y emisiones de CO₂ Directiva IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía 2003

Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, realizada en Kioto en diciembre de 1997, genera una serie de acciones tendientes a incentivar el uso eficiente de la energía y la reducción del CO₂ que se emite en los distintos países miembros.

Es así como en España se ha establecido una escala en la tasa de impuestos que abonan los vehículos, que tiene en cuenta las emisiones de CO₂, otorgando beneficios:

- Para emisiones de CO₂ hasta 120 g/km se aplica un tipo impositivo del 0%
- Entre 121 y 159 g/km se aplica un tipo del 4,75% (3,75%en Canarias)
- Entre 160 y 199 g/km se aplica un tipo del 9,75% (8,75%en Canarias)
- Para emisiones de CO₂ de 200 g/km en adelante el tipo es del 14,75% (13,75% en Canarias).

Según la eficiencia energética y el consumo, se califican en España los vehículos en categorías, estas son indicadas mediante letras en una oblea que permite al comprador de un vehículo, conocer cuan eficiente energéticamente es éste y cuál es su emisión de CO₂.

Estas obleas que indican la eficiencia energética, son usadas en nuestro país en electrodomésticos.

En general la categorización refiere a la desviación, que el producto presenta en consumo de energía, frente a la media para los de características similares.

En las obleas para vehículos se cita, no solo el consumo expresado en lts. cada 100 km sino también las emisiones de CO₂ en grs/km.

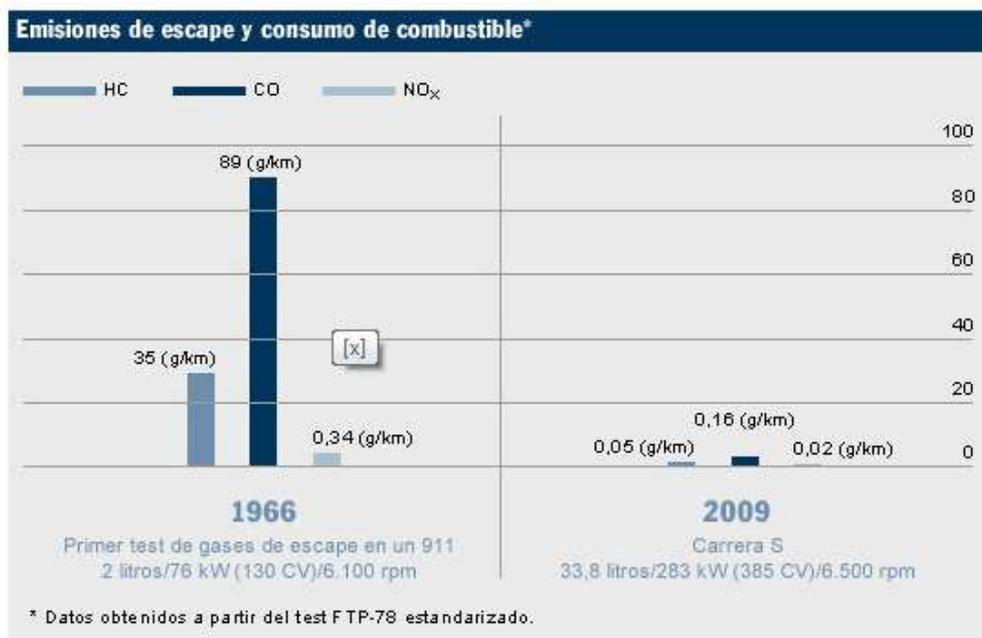
Muestra de la etiqueta voluntaria:

Eficiencia Energética	
Marca	X
Modelo	Y
Tipo Carburante	Gasolina
Transmisión	Manual
Consumo de carburante (litros por cada 100 kilómetros)	6 litros/100 km
Equivalencia (kilómetros por litro)	16,7 km/litro
Emisión de CO ₂ (gramos por kilómetro)	144 g/km
Comparativa de consumo (con la media de los coches de su mismo tamaño a la venta en España)	
Baja consumo	
<-25% A	
15-25% B	
5-15% C	
media D	
-5-5% E	
+5-15% F	
+25% G	
Alto consumo	

* En todos los puntos de venta puede obtenerse gratuitamente una guía sobre el consumo de combustible y emisiones de CO₂ en la que figuran los datos de todos los modelos de automóviles de turismo nuevos.
 * El consumo de combustible y las emisiones de CO₂ no sólo dependen del rendimiento del vehículo, también influyen el comportamiento al volante y otros factores no técnicos. El CO₂ es el principal gas de efecto invernadero responsable del calentamiento del planeta.

Para tener una idea más precisa de los valores de emisiones de CO₂, en la tabla siguiente pueden verse los autos más eficientes de Europa, con sus emisiones y consumos. Como puede verse todos estos motores se encuentran en una franja de 60 a 70 HP de potencia.

Cuando las potencias y por consiguiente el consumo aumenta, también lo hacen las emisiones, pero resulta evidente que en los motores de mayor potencia se han realizado mejoras notables para reducir las emisiones.



Mejoras ambientales motor Porsche

Como puede verse en el caso de Porsche, la introducción de mejoras continuas en los sistemas de inyección y control de emisiones así como el aumento del rendimiento de los motores con el objeto de reducir el consumo, han dado excelentes resultados.

Como explicamos antes, resulta fundamental para la reducción de la masa total de emisiones, la reducción del consumo. Esto se torna particularmente difícil cuando se trata de motores de alta potencia.

En este listado aparecen los 30 coches disponibles en el mercado español, atendiendo a sus características de menor consumo, mejor clasificación energética y menores emisiones, por este orden.

Marca,
Modelo
y Versión

Cilindrada
(cm³)
Cambio (*)
Potencia
CV (kW)

Consumo
(l/100km)
Emisión CO₂
(g/km)
Clasificación
por consumo

Mayor eficacia energética - GASOLINA						
Smart fortwo 45 mhd pure coupé manual (softip)	999	M	61,14 (45)	4,2	97	C
Smart fortwo 52 mhd pure coupé manual (softip)	999	M	70,65 (52)	4,2	97	C
Toyota IQ 1.0	998	M	67,93 (50)	4,3	99	B
Smart fortwo 52 mhd pure cabrio manual (softip)	999	M	70,65 (52)	4,3	99	C
Smart fortwo 52 mhd pure coupé automático (softouch)	999	A	70,65 (52)	4,3	98	C
Smart fortwo 45 mhd pure coupé automático (softouch)	999	A	61,14 (45)	4,3	98	C
Nissan Pixo 1.0(68CV) MT	996	M	67,93 (50)	4,4	103	A
Honda INSIGHT 1.3 i-VTEC IMA ELEGANCE CVT	1339	A	88 (65)	4,4	101	A
Smart fortwo 52 mhd pure cabrio automático (softouch)	999	A	70,65 (52)	4,4	100	D
Peugeot 107 3P URBAN 1.0 68	998	M	67,98 (50)	4,5	103	B
Peugeot 107 5P URBAN 1.0 68	998	M	67,98 (50)	4,5	103	B
Citroën C1 1.0i 12v Airdream	998	M	68 (50)	4,5	106	B
Peugeot 107 5P TRENDY 1.0 68	998	M	67,98 (50)	4,5	103	B
Peugeot 107 3P TRENDY 1.0 68	998	M	67,98 (50)	4,5	103	B
Toyota Aygo 1.0	998	M	67,93 (50)	4,5	106	B
Honda CIVIC 4P. 1.3 i-DSI HYBRID	1339	CVT	115,6 (85)	4,6	109	A
Honda INSIGHT 1.3 i-VTEC IMA EXECUTIVE CVT	1339	A	88 (65)	4,6	105	A
Peugeot 207 SW OUTDOOR 1.6 HDI 92 FAP	1560	M	92,45 (68)	4,6	119	A
Peugeot 107 5P TRENDY 1.0 68 2-TRONIC	998	M	67,98 (50)	4,6	106	B
Citroën C2 1.0i 12v SensoDrive Airdream	998	Otros	68 (50)	4,6	107	B
Toyota Aygo 1.0 CONFORTDRIVE	998	A	67,93 (50)	4,6	107	B
Citroën C1 1.0i 12v SensoDrive	998	A	68 (50)	4,6	109	B
Toyota IQ 1.0 MULTIDRIVE	998	A	67,93 (50)	4,7	110	C
Kia PICANTO f/i 1.0 SOCH CONCEPT 5pl	999	M	63 (46)	4,8	114	B
Kia PICANTO f/i 1.1 SOHC ACTIVE/EMOTION 5pl	1086	M	65 (48)	4,8	114	B

Nota: Se han incluido como el mismo coche los del mismo modelo cuando sólo cambia el número de puertas, el acabado exterior u otras características siempre y cuando tengan igual clasificación.

(1)Nota: Símbolos utilizados en el tipo de cambio.

M: manual; A: automático seleccionable; CVT: transmisión variable continua; O: otros

Ferrari						
Ferrari 430 Scuderia M ó F1	4308	Otros	506 (372)	15,7	360	G
Ferrari 612 Scaglietti M ó F1	5748	Otros	540 (397)	20,5	470	G
Ferrari F430 / F430Sp M ó F1	4308	Otros	489,6 (360)	18,3	420	G
Ferrari F599 GTB M ó F1	5999	Otros	620 (456)	17,9	415	G

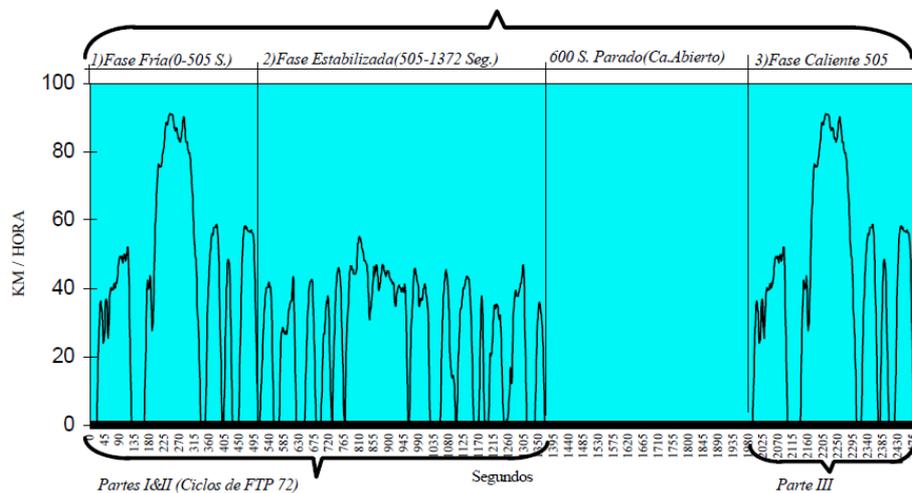
Las normas que determinan los máximos para los distintos contaminantes tienen gran especificidad según sea el tipo de motor y de servicio que presta, así existen normas para vehículos livianos de turismo, para

vehículos pesados de transporte público, camiones, barcos, locomotoras, pequeños motores etc...

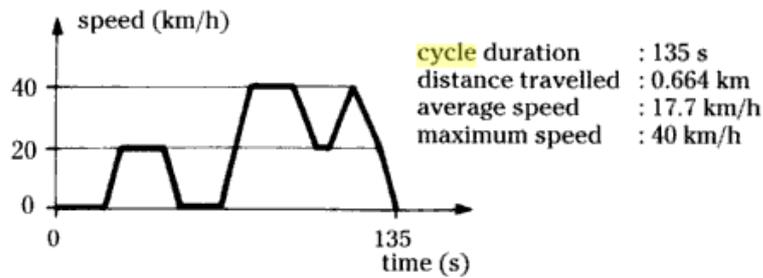
Par realizar los ensayos, cada norma determina el método de ensayo, en general se trata de determinar por medición, las emisiones generadas durante un ciclo de marcha que resulte representativo del uso normal del vehículo. El ensayo debe cumplir con protocolos de preparación específicos respecto al vehículo, combustible y demás condiciones.

El ciclo se lleva a cabo sobre un dinamómetro de rodillos en el que el vehículo, a partir de la detención, realiza una serie predeterminada de ciclos de marcha y detención a distinta velocidad durante un tiempo predeterminado. Existen gran cantidad de ciclos de marcha para la medición de gases, solo como ejemplo se indican aquí el ciclo FTP 75 y los ciclos 10 y 11 modos

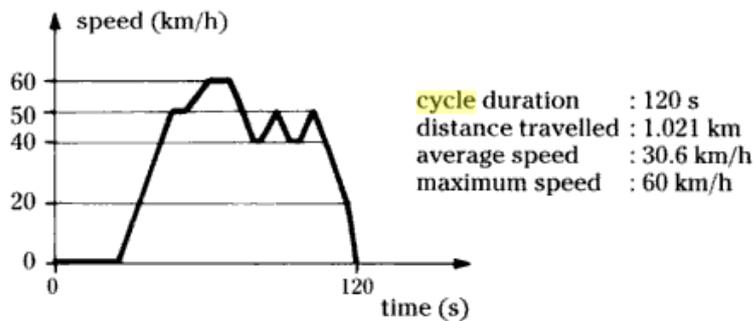
Grafica Velocidad vs Tiempo



CICLO FTP 75



a: 10-mode cycle (urban traffic after warm start)



b: 11-mode cycle (urban expressway after cold start)

CICLOS 10 Y 11 MODOS

Los gases emitidos durante el ensayo son capturados y sobre ellos se realizan las determinaciones por diversos procedimientos, a fin de individualizar la cantidad de masa emitida de cada gas.

Los distintos países del mundo han ido adoptando normativas que responden parcial o totalmente a los siguientes grandes grupos:

- CARB California Air Resources Board.
- EPA Environment Protection Agency.
- Normativa del Japón.
- Normativa UE Unión Europea.

CARB California Air Resources Board.

Los valores límites se establecen en las normas LEV I y LEV II, la normativa LEV I cubre los vehículos turismos y los industriales livianos

hasta 6000 lbs fabricados desde 1994 a 2003, la norma LEV II cubre todos los vehículos hasta 8500 lbs desde el 1 de enero del 2004 en adelante.²⁹

La normativa fija límites para:

CO, NO_x, NMOG gases orgánicos sin contenido de metano, formaldehidos (LEV II) y partículas.

Para los ensayos se utiliza el ciclo de marcha FTP 75 (Federal Test Procedure).

Los fabricantes, según los resultados de los ensayos, pueden ubicar los autos que fabrican según las siguientes categorías:

Tier 1: vehículo común

TLEV: vehículo transicional a bajas emisiones

LEV: vehículo de bajas emisiones

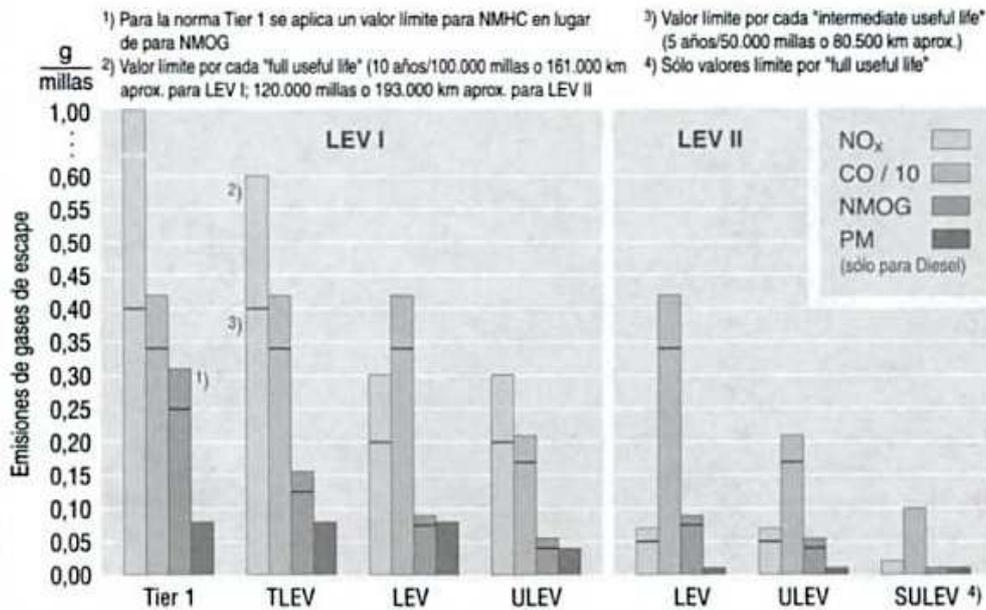
ULEV: vehículo de ultra bajas emisiones

SULEV: vehículo de super ultra bajas emisiones

ZEV: vehículo con cero emisiones

PZEV: vehículo parcialmente cero emisiones. Equivale a SULEV pero con conservabilidad.

²⁹ **Karl-Heinz Dietsche** Manual de la técnica del automóvil Ed Reverte 2001.



El concepto de conservabilidad en esta normativa está referido al plazo en kilómetros recorridos o en tiempo, en el que las emisiones certificadas en la fabricación se mantienen. Así para que los fabricantes puedan expresar este concepto, el cumplimiento de los límites puede certificarse para:

50.000 millas (80.500 km) Intermediate useful life.

100.000 millas (161.000 km) LEV I o 120.000 millas (193.000 km) LEV II o 10 años para Full useful life.

EPA Environment Protection Agency.

Estas normas se aplican en los estados de Norteamérica que no adhieren a las normas CARB. Las normas CARB han sido adoptadas además de por California por otros estados como Maine, Massachusetts y Nueva York entre otros.

Hasta 2004 existía un nivel 1 de esta norma (Tier1) y a partir de 2004 entró en vigencia el Nivel 2 (Tier 2)

La normativa fija límites para:

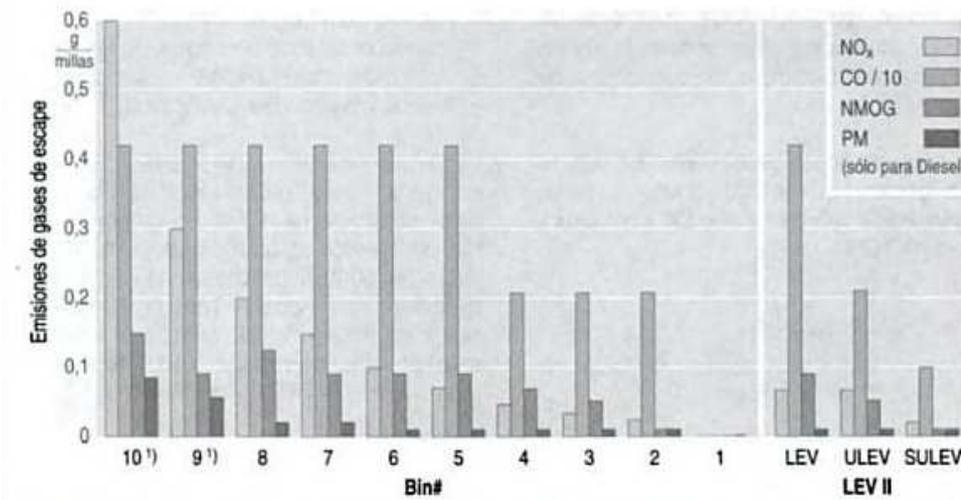
CO, NO_x, NMOG gases orgánicos sin contenido de metano, formaldehidos y sustancias sólidas.

Para los ensayos se utiliza el ciclo de marcha FTP 75 (Federal Test Procedure). Desde 2002 se aplica además la norma SFTP que fija ensayos suplementarios que deben también cumplirse.

Los límites para ciclo Otto y Diesel son los mismos en Tier 2. Los límites en Tier 1 eran para cada sustancia nociva, en Tier 2 se establecen 10 niveles con distintos límites llamados Bin siendo el bin 10 el menos exigente, a partir de 2007 dejaron de tener vigencia el bin 10 y el bin 9.

Tanto en California como en el resto de EEUU, los fabricantes deben realizar una determinación de consumo del vehículo nuevo, de superar éste el consumo de 8,5 l/ 100km, deben abonar por una escala, un impuesto adicional para ese vehículo.

Valores límite de los gases de escape Tier 2 de la normativa EPA en comparación con los valores límite CARB (valores válidos para turismos Otto y Diesel, valores PM sólo para Diesel).
1) Interim-Bin, válido hasta 2007.

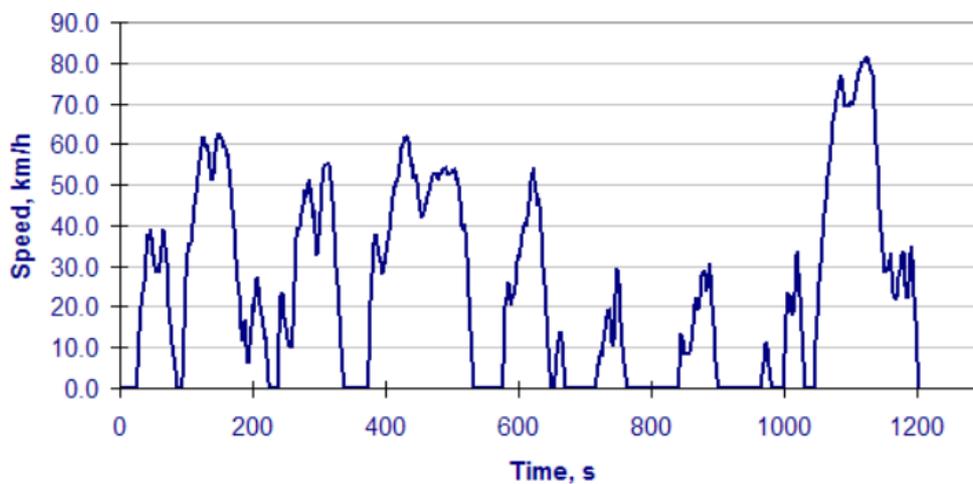


Normativa del Japón.

A partir de 2005 se han reducido en Japón los máximos permitidos para todas las categorías que su normativa define; Turismos LDT, hasta 1,t ton LDV y MDV hasta 2,5 ton.

Se establecen máximos para : CO, NO_x, HC, partículas y humos (sólo en Diesel). Hasta 2005 las emisiones se determinaban por el modo 10-15 modificado con arranque en frío. A partir de 2005 se utiliza el ciclo JC08.

También es obligatorio el OBD en todos los autos desde 2002



CICLO JC 08

		PM	NO _x	NMHC	CO	Achievement Timing
Passenger Cars	Small-sized	0.013	0.14	0.024	0.63	2005
	Medium-sized	0.014	0.15	0.024	0.63	2005
Trucks & Buses	Light-duty (Less than 1.7tons in GVW)	0.013	0.14	0.024	0.63	2005
	Medium-duty (over 1.7tons and less than 3.5tons in GVW)	0.015	0.25	0.024	0.63	2005
	Heavy-duty (Over 3.5tons in GVW)	0.027	2	0.17	2.22	2005

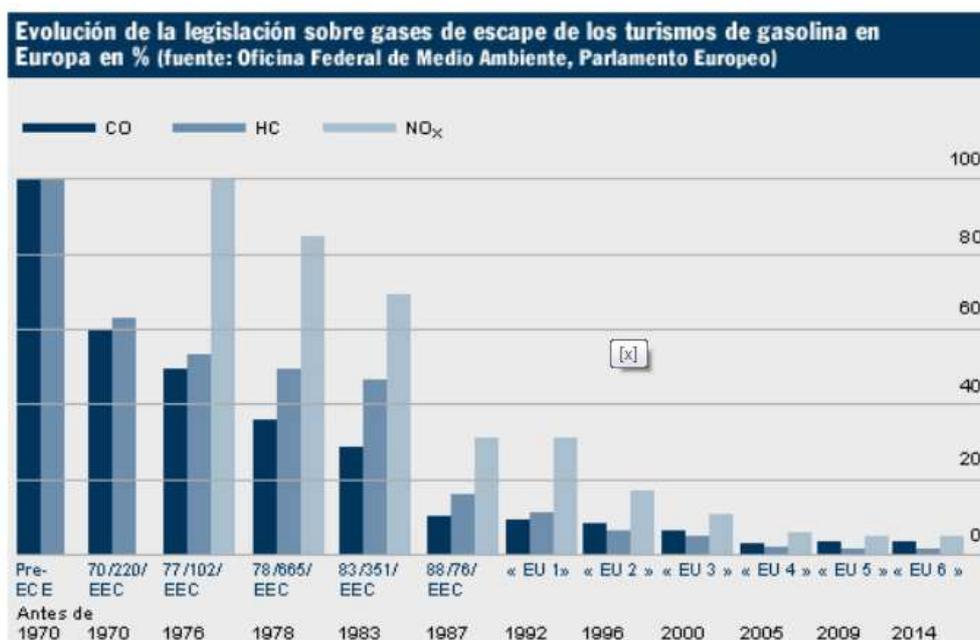
Los límites de emisión en Japón a partir de 2005 se indican en la tabla.

Prácticamente coinciden con la norma europea EURO 5.

Normativa UE Unión Europea.

La normativa europea establecida mediante la Directiva 70/156/CEE del Consejo, de 6 de febrero de 1970 incluye límites diferentes para las distintas categorías de vehículos y para gasolina y diesel.

Los contaminantes limitados son CO, NO_x, HC y partículas. También se requiere la determinación, en los nuevos vehículos, de la emisión de CO₂, ya que se han determinado metas de reducción a 120 gr/Km para 2012³⁰. Se discute ahora la forma de implementar esto, ya que para vehículos de menor consumo, la meta resulta próxima, no así para los vehículos de alta potencia.



³⁰ [Directiva 1999/94/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre de 1999, relativa a la información sobre el consumo de combustible y sobre las emisiones de CO₂ facilitada al consumidor al comercializar turismos nuevos.](#)

Cuadro 1: Límites de emisiones Euro 5

Categoría	Clase	Masa de referencia (MR) (kg)	Valores límite													
			Masa de monóxido de carbono (CO)		Masa total de hidrocarburos (HCT)		Masa de hidrocarburos no metanos (HCNM)		Masa de óxidos de nitrógeno (NOx)		Masa combinada total de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno totales (HCT + NOx)		Masa de partículas (MP)		Número de partículas (P)	
			L ₁ (mg/km)		L ₂ (mg/km)		L ₃ (mg/km)		L ₄ (mg/km)		L ₅ + L ₆ (mg/km)		L ₇ (mg/km)		L ₈ (#/km)	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI(*)	CI	PI	CI
M	—	Todos	1000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	5,0	5,0		
N ₁	I	MR ≤ 1305	1000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	5,0	5,0		
	II	1305 < MR ≤ 1760	1810	630	130	—	90	—	75	235	—	295	5,0	5,0		
	III	1760 < MR	2270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	5,0	5,0		
N ₂			2270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	5,0	5,0		

Clave: PI = encendido por chispa, CI = encendido por compresión

(*) Se establecerá una norma relativa al número lo antes posible y, a más tardar, tras la entrada en vigor de Euro 6.

(*) Las normas sobre normas de masa de partículas de los vehículos de encendido por chispa se aplican únicamente a los vehículos con motores de inyección directa.

Cuadro 2: Límites de emisiones Euro 6

Categoría	Clase	Masa de referencia (MR) (kg)	Valores límite													
			Masa de monóxido de carbono (CO)		Masa total de hidrocarburos (HCT)		Masa de hidrocarburos no metanos (HCNM)		Masa de óxidos de nitrógeno (NOx)		Masa combinada de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno totales (HCT + NOx)		Masa de partículas (PM)		Número de partículas (P)	
			L ₁ (mg/km)		L ₂ (mg/km)		L ₃ (mg/km)		L ₄ (mg/km)		L ₅ + L ₆ (mg/km)		L ₇ (mg/km)		L ₈ (#/km)	
			PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI(*)	CI	PI	CI
M	—	Todos	1000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	5,0	5,0		
N ₁	I	MR ≤ 1305	1000	500	100	—	68	—	60	80	—	170	5,0	5,0		
	II	1305 < MR ≤ 1760	1810	630	130	—	90	—	75	105	—	195	5,0	5,0		
	III	1760 < MR	2270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	5,0	5,0		
N ₂			2270	740	160	—	108	—	82	125	—	215	5,0	5,0		

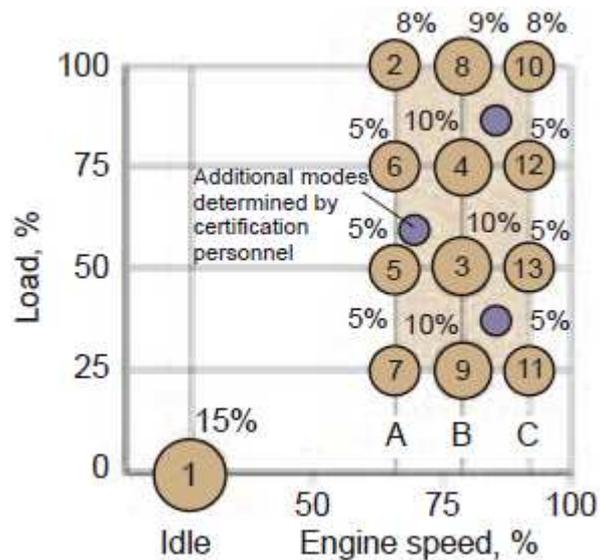
Clave: PI = encendido por chispa, CI = encendido por compresión

(*) Se establecerá una norma relativa al número para esta etapa.

(*) Las normas sobre normas de masa de partículas de los vehículos de encendido por chispa se aplican únicamente a los vehículos con motores de inyección directa.

Para las determinaciones en Europa se utilizó hasta EURO III el ciclo ECE R-49 a partir de allí para EURO IV y superiores, para motores de encendido por chispa se aplica el ciclo ESC European Steady-state Cycle, este es un ciclo de 13 modos o puntos de testeo a los que se suman 3 puntos aleatorios³¹.

³¹ Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo PE-CONS 3602/2/07 REV 2 2005



CICLO ESC

Para la determinación en motores Diesel se agregan a este ensayo los ciclos LRT Load Response Test y ETC Europea Transient Cycle.

Normativa en Argentina

En nuestro país los límites de emisión fueron definidos en el Art. 33 del Decreto 779/95 de la ley 24.449 Anexo 1. Allí se fijan tanto los máximos admisibles para los contaminantes CO, HC, NO_x, material particulado y emisiones evaporativas, tanto para vehículos nuevos fabricados en el país o importados como los máximos que se aplicarán para CO y HC en marcha lenta a los vehículos que circulan en las mediciones a realizar en las Verificaciones Técnicas Vehiculares. El decreto faculta también a la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable a actualizar mediante resoluciones los ensayos y normativa a aplicar.

Así inicialmente se fija para las unidades nuevas, a través de la Resolución 61/99 de la Secretaría de Medio Ambiente, la metodología de ensayo.

Básicamente los fabricantes deben realizar el ensayo en el laboratorio de la Secretaría, ubicado en Ezeiza, de todas las unidades nuevas elegidas por una metodología de muestreo y de los nuevos modelos a lanzar al mercado. Los fabricantes deben garantizar una durabilidad de 80.000 Km o 5 años.

En la Res. 61/99 se establece que los procedimientos de ensayo y medición deben estar de acuerdo con el US CFR (Code of Federal Regulations de los Estados Unidos de América) Título 40 -Protección del Ambiente Parte 86 Control de la Contaminación del Aire por Vehículos Automotores Nuevos y Motores para Vehículos Nuevos; Certificación y Procedimiento de Ensayo. Se adopta entonces el ciclo IM240 que se correlaciona mediante algoritmos al US FTP ya que aún en el país no se cuenta con la tecnología establecida por la norma US CFR40 part86.

El IM240 es un condensado de los 10 primeros minutos del ciclo FTP y por este motivo resulta posible correlacionarlo con él. La tecnología y controles de calidad para el test IM240 son descriptos detalladamente en EPA-AA-EPSP-IM-93-1 ("High-Tech I7M Test Procedures, Emission Standards Quality Control Requeriments and Equipment Specifications").

Es un ciclo transiente que incluye los primeros 240 segundos de los primeros 505 segundos del ciclo FTP 75 con arranque en frío, una etapa de parada de 10 minutos y luego la repetición ahora con arranque en caliente de la etapa de 240 segundos. El sistema de muestreo funciona con una dilución variable en aire ambiente de los gases con el fin de obtener un valor lo más constante posible del caudal.

A partir de 1999 los límites de emisión son:

CONTAMINANTE	VALOR LIMITE
MONOXIDO DE CARBONO	2,0 g/km
HIDROCARBUROS	0,3 g/km
OXIDO DE NITROGENO	0,6 g/km
MATERIAL PARTICULADO**	0,124 g/km
MONOXIDO DE CARBONO EN MARCHA LENTA*	0,5%
HIDROCARBUROS EN MARCHA LENTA*	250ppm

*Aplicable a vehículos equipados con motor ciclo Otto.

**Aplicable a vehículos equipados con motor ciclo Diesel.

Los máximos en marcha lenta se refieren a los requerimientos en las VTV de autos de calle.

No se admiten emisiones del cárter para vehículos nuevos y se fijan 2 grs., como límite máximo para las emisiones evaporativas.

La Res. 1270/2002 acepta los ensayos realizados por laboratorios internacionales certificados para vehículos importados y determina que a partir del 171/2004 la adopción de la normativa y límites europeos de acuerdo con Directivas Europeas 94/12/CE y 96/69/CE o Reglamento de Naciones Unidas R83/02 ECE y en concordancia con el resto de los miembros del Mercosur.

La Res. 731/2005 fija a partir del 1/1/2007 los ensayos y límites de acuerdo con la Directiva Europea 1998/69/CE (Etapa A) o Reglamento de Naciones Unidas R83/05/ECE, los que se detallan en la tabla.

Categoría	Clase	Masa de referencia (RW) (kg)	Valores límites										
			Masa del monóxido de carbono (CO)		Masa de hidrocarburos (HC)		Masa de los óxidos de nitrógeno (NO _x)		Masa combinada del hidrocarburo y los óxidos de nitrógeno (HC + NO _x)		Masa de las partículas ⁽¹⁾ (PM)		
			L ₁ (g/km)	L ₂ (g/km)	L ₁ (g/km)	L ₂ (g/km)	L ₁ (g/km)	L ₂ (g/km)	L ₁ (g/km)	L ₂ (g/km)	L ₁ (g/km)		
			Nafta	Diesel	Nafta	Diesel	Nafta	Diesel	Nafta	Diesel	Diesel		
A (2000)	M ⁽²⁾	-	todas		2.3	0.64	0.20	-	0.15	0.50	-	0.56	0.05
		N ₁ ⁽³⁾	I	RW ≤ 1305		2.3	0.64	0.20	-	0.15	0.50	-	0.56
	II		1305 < RW ≤ 1760		4.17	0.080	0.25	-	0.18	0.65	-	0.72	0.07
	III		1760 < RW		5.22	0.95	0.29	-	0.21	0.78	-	0.86	0.10
B (2005)	M ⁽²⁾	-	todas		1.0	0.50	0.10	-	0.08	0.25	-	0.30	0.025
		N ₁ ⁽³⁾	I	RW ≤ 1305		1.0	0.50	0.10	-	0.08	0.25	-	0.30
	II		1305 < RW ≤ 1760		1.81	0.63	0.13	-	0.10	0.33	-	0.39	0.04
	III		1760 < RW		2.27	0.74	0.16	-	0.11	0.39	-	0.46	0.06

⁽¹⁾ Para motores diesel

⁽²⁾ Salvo los motores cuya masa máxima sobrepase 2500 kg.

⁽³⁾ Y los vehículos de la categoría M especificados en la nota 2.

A partir del 1/1/2009 la resolución indica que serán exigibles los límites de la etapa B de la normativa europea. Con relación a los motores de fabricación nacional fija a partir del 1/1/2009 la aplicación de la Euro IV.

La Res. 35/2009 extiende los vencimientos de las certificaciones hasta fines del 2009 y determina que a partir del 1/6/2009 los ensayos y límites deberán estar de acuerdo a las etapas B1 de Directivas Europeas 1998/69/CE y 1999/96/CE (EURO IV para vehículos livianos y pesados) para nuevos modelos de vehículos livianos diesel N1, para los de la categoría M1 mayores de 2500 Kilogramos (Kg.) o con más de siete (7) asientos y los motores que equipan los vehículos pesados en toda la gama. También establece que a partir del 1/1/2012 entran en vigencia las etapas C y B2 de las Directivas Europeas 1998/69/CE y 1999/96/CE (EURO V para vehículos livianos y pesados). A partir del 1 de enero de 2014 ese requerimiento se extenderá a todo vehículo y/o motor que se fabrique o importe con destino a su comercialización en el mercado interno argentino.

De esta manera el marco normativo de nuestro país se ha ido actualizando y poniéndose en concordancia con nuestros países vecinos.



CAPITULO 3 MOTORES

3.1 MOTORES NAFTEROS, DESEMPEÑO AMBIENTAL

Desde los comienzos mismos del uso del motor de combustión interna en automotores, quedó claro que presentaban dos debilidades, por un lado su bajo rendimiento (esfuerzo aplicado vs. beneficio obtenido) que, en los motores de ciclo Otto alcanza como máximo del 25 a 30% y por otro la generación de contaminantes que su utilización conlleva. Estas dos limitantes están además en cierto modo relacionadas entre sí.

El rendimiento teórico del ciclo Otto puede expresarse como

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

Donde $r = V_a / V_b$ V_a : *Volumen inicial*

V_b : *Volumen final*

$\gamma = C_p / C_v$ C_p : *Cap. calorífica a presión constante*

C_v : *Cap. calorífica a volumen constante*

Como puede verse cuanto mayor sea r (relación de compresión) mayor resultará el rendimiento.

Si aumentamos la relación de compresión, se produce el aumento de las temperaturas y como consecuencia, auto detonación de la mezcla. Es necesario entonces elevar el octanaje de las naftas para evitar la auto detonación. Antiguamente esto se lograba mediante el agregado de $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$ tetra etilo de plomo, en la actualidad se logra mediante la

adición de $C_5H_{12}O$ MTBE Eter metil tert-butílico. Ambas sustancias son contaminantes.

Además de los citados contaminantes, ya en el capítulo anterior vimos los demás que están presentes en los humos que producen los motores.

También se han citado las normas que fueron poniendo límites cada vez más exigentes a los contaminantes.

La tecnología tuvo entonces que desarrollar estrategias para ir disminuyendo y controlando las emisiones. Este proceso de mejora continua comenzó en California a fines de la década del 60 y continúa hasta nuestros días.

Para lograr reducir la contaminación en los motores de combustión interna debemos lograr que como productos de la combustión solo se obtengan:



Este proceso así planteado resulta de contaminación nula. Recordemos que el CO_2 no es contaminante.

Todos los esfuerzos desde los 60, se han orientado a que el motor funcione según la relación citada.

Para alcanzar esta meta debemos obtener una combustión estequiométrica en todos los regímenes y condiciones de marcha del motor.

Estequiométrica se denomina a una relación de cantidades, en una reacción química, que garantiza que uno de los elementos que participan en ella (el que se encuentra en menor disponibilidad) habrá de reaccionar en forma total.

La estequiometria en los motores, expresa la relación Aire/Combustible y suele indicarse en la forma [grs]/[grs] o [%]/[%]. Para un motor naftero es aproximadamente 14,7 : 1 en [grs]. Se necesitan 14,7 gramos de aire para combustionar totalmente 1 gr de nafta. Veamos como se determina este valor.

Consideraremos al isoctano, solamente para simplificar. La reacción de combustión sería:



Masas atómicas C= 12 g; H= 1g ; O= 16g

1 mol de C_8H_{18} tiene una masa atómica de 114 g

1mol de O_2 tiene una masa atómica de 32 g

Aplicando el principio de Lavoisiere

$$2 \times 114 + 25 \times 32 = 16 \times 44 + 18 \times 18$$

2 moles de C_8H_{18} reaccionan completamente con 25 moles de O_2

luego 1 mol de C_8H_{18} reaccionará con 12,5 moles de O_2 .

Esto significa que 114g de C_8H_{18} requieren $12,5 \times 32 = 399$ g de O_2

luego 1 g de C_8H_{18} requerirá 3,5 g de O_2 .

Dado que el O_2 está presente en una proporción de 23,3 grs, cada 100 grs, de aire. Para obtener 3,5 grs de O_2 se requerirán:

$$(3,5 \times 100)/23,3 = 15 \text{ grs de aire}$$

1gr de C_8H_{18} requerirá 15 grs de aire para combustionarse totalmente.

Algunas relaciones estequiométricas:

Nafta 14,7/1 gr./gr.

Alconafta (conteniendo 22% de alcohol) 13,3/1 gr./gr.

Etanol E100 9/1 gr./gr.

Gasoil 15,2/1 gr./gr.

GLP 15,5/1 gr./gr.

GNC 17/1 gr./gr.

Hidrógeno 34,3/1 gr./gr.

A partir de este concepto básico, se trata, en todos los motores de lograr un funcionamiento estequiométrico.

En los motores con carburador, la mezcla aire-nafta se obtiene, en este dispositivo, mediante un aporte de nafta regulado por un Venturi, proporcional al caudal de aire que ingresa al motor. Las características de diseño de este Venturi serán las únicas que determinen cuan estequiométrica resulte la mezcla. En caso de que la mezcla se desviara de lo deseado, no hay forma de efectuar correcciones capaces de hacer que vuelva a la relación deseada.

Cuando no se está en el punto de estequiometria surgen dos estados de desviación; mezcla rica y mezcla pobre. Introduciremos ahora el concepto de: Relación Lambda (λ).

No siempre los cilindros reciben la mezcla aire/combustible estequiométrica que corresponde a la velocidad de rotación del motor, o al estado de carga. Entonces en algunas circunstancias la mezcla estará en otras relaciones.

Mezcla rica, es una relación aire : combustible, en la que la cantidad de aire que entra al motor es inferior al necesario para el combustible inyectado.

Mezcla pobre es una relación aire : combustible, en la que la cantidad de aire que ingresa es mayor al necesario para el combustible inyectado.

La relación lambda (λ) se define como:

$$\frac{\text{Masa de aire que ingresa}}{\text{Masa de aire ideal requerida}}$$

Cuando la masa de aire que ingresa es igual a la masa de aire ideal requerida, entonces $\lambda = 1$. Tenemos mezcla estequiométrica.

Cuando la masa de aire que ingresa es menor que la masa de aire ideal requerida, entonces $\lambda < 1$. Mezcla rica.

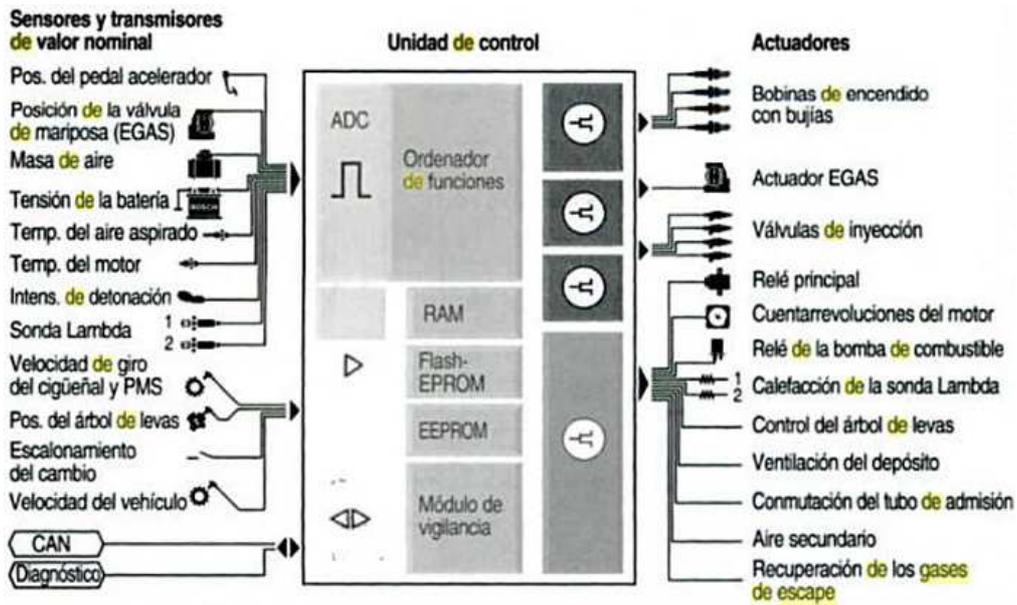
Cuando la masa de aire que ingresa es superior a la masa de aire ideal requerida $\lambda > 1$. Mezcla pobre.

Las variaciones de la relación (λ), producen un cambio en la composición de los gases de escape, haciendo que la concentración de los contaminantes aumente o disminuya.

En los gráficos puede verse como varían el CO, CO₂, HC y NO_x.

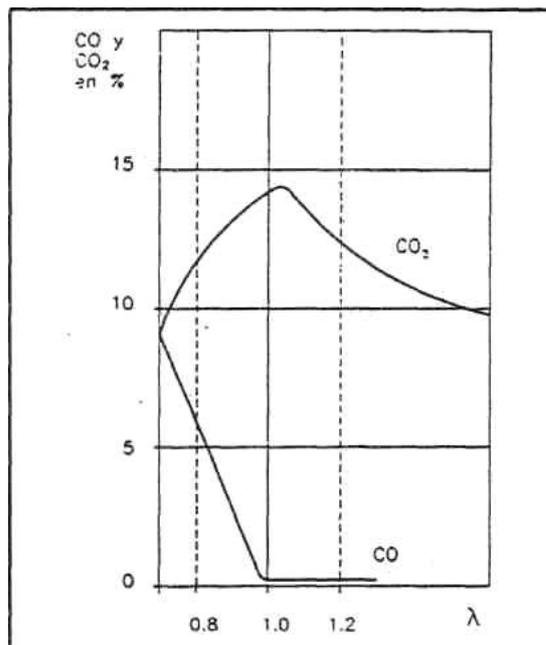
Como puede apreciarse, algunos aumentan su concentración, mientras que otros la disminuyen, para la misma variación de λ .

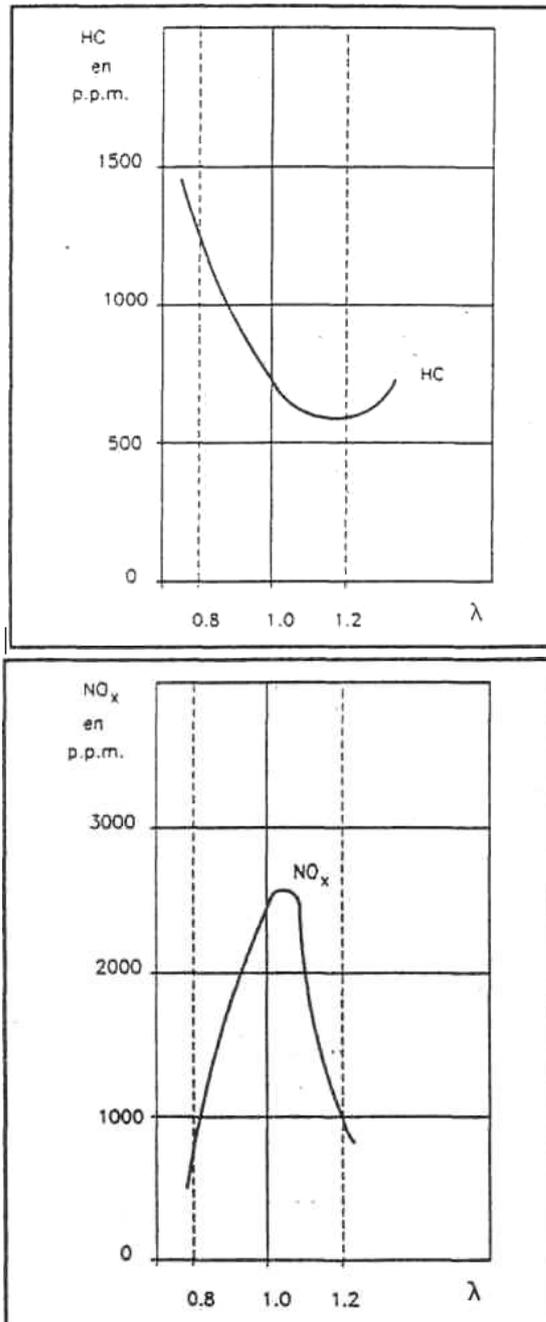
Los modernos sistemas de inyección además de controlar la cantidad de combustible según su cartografía, construida en base a mantener $\lambda=1$, son capaces de corregir en forma automática las desviaciones que se produzcan. Esto se logra mediante una realimentación negativa, provista por la ECU (Unidad de Control Electrónica) a través de un lazo cerrado, constituido por un sensor de oxígeno (sonda Lambda)



ESQUEMA DE LA UNIDAD DE CONTROL ELECTRONICO (ECU)

El sensor está ubicado en la salida de gases de escape y es capaz de informar a la ECU la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape para que ésta, determine en qué valor se encuentra instantáneamente λ y modifique la inyección de ser necesario.





De la lectura de los gráficos surge la imposibilidad de limitar al mismo tiempo los tres gases contaminantes principales: CO, HC y NO_x, actuando únicamente sobre la dosificación de la mezcla.

En efecto, en la zona de trabajo del motor ($\lambda = 0,9$ a $1,1$), los valores son mínimos para las emisiones de CO y HC y corresponde al valor máximo de NO_x.

Para conseguir al mismo tiempo una reducción de CO y NOx obteniendo un bajo valor HC, sería preciso garantizar una combustión completa con un factor lambda (λ) superior a 1,05.

Como se ve, para la relación $\lambda = 1$ el CO₂ resulta muy próximo al máximo, por esta razón resulta un indicador de una combustión correcta.

La industria automotriz ha desarrollado nuevos sistemas que tratan a la vez, de cumplir con las normas ambientales y de no afectar el desempeño de los motores. Para esto veremos distintos desarrollos tecnológicos:

- Controles que regulen la mezcla aire/combustible.
- Regulación del avance de encendido.
- Utilización de catalizadores introducidos en los tubos de escape.
- Control de la inyección de combustible en la faz de desaceleración.
- Control y manejo de los gases que se forman en el depósito de combustible y en el cárter.
- Recirculación de los gases de escape hacia las cámaras de combustión (EGR).
- Inyección adicional de aire en los múltiples de escape.

Regulación de la mezcla aire/combustible

En los motores nafteros, la mezcla se realiza como ya explicamos en un carburador o en los motores modernos con sistema de inyección indirecta, en la pre cámara. Hasta los 70, el carburador era el medio más usual de preparación de mezcla. Desde hace algunos años, sin embargo, aumentó la tendencia usar la inyección de combustible en el múltiple o colector de admisión. Esta tendencia se explica por las ventajas que presenta la inyección de combustible en relación con las exigencias de potencia, consumo, comportamiento de marcha, así como por la reducción de elementos contaminantes en los gases de escape, que puede alcanzarse. Las razones de estas ventajas residen en el hecho de que la inyección permite una dosificación muy precisa del combustible en función de los distintos estados de marcha y carga del motor.

Además, al asignar un inyector a cada cilindro se consigue una mejor distribución de la mezcla.

En los sistemas de inyección al no utilizarse el carburador, se puede optimizar la forma a los conductos de admisión de aire, permitiendo corrientes aerodinámicamente más favorables que mejoran el llenado de los cilindros, favoreciendo así el par motor y la potencia.

Con la utilización de carburadores, en los colectores de admisión se producen mezclas desparejas de aire: nafta para cada cilindro. Para poder formar una mezcla que alimente suficientemente incluso al cilindro más desfavorecido, en general, se debe dosificar una

cantidad de combustible demasiado elevada. La consecuencia de esto es un mayor consumo de combustible y una carga desigual de los cilindros. Al contar con un inyector cada cilindro, en el momento correcto y en cualquier estado de carga se asegura la cantidad de combustible, exactamente dosificada. Esto reduce el consumo.

Debemos destacar que la reducción del consumo implica una reducción cuantitativa de los contaminantes, medidos en Grs./Km, que son vertidos a la atmósfera, de allí que ésta reducción de consumo resulte tan importante.

La utilización de los sistemas de inyección permite optimizar la forma de los múltiples de admisión con el consiguiente mejor llenado de los cilindros³².

Actualmente incluso se aplican los diseños de múltiple variable a fin de reducir pérdidas de carga en regímenes altos. El resultado es una mayor potencia específica y un aumento del par motor.

La concentración de los elementos contaminantes en los gases de escape por otra parte, depende como ya lo vimos, directamente de la relación aire : nafta, en los sistemas de inyección puede garantizarse que la relación se mantendrá siempre en el valor correcto. También se logran mediante la exacta dosificación del combustible en función de la temperatura del motor y del régimen de arranque, tiempos de arranque más breves y una aceleración más rápida desde el ralenti.

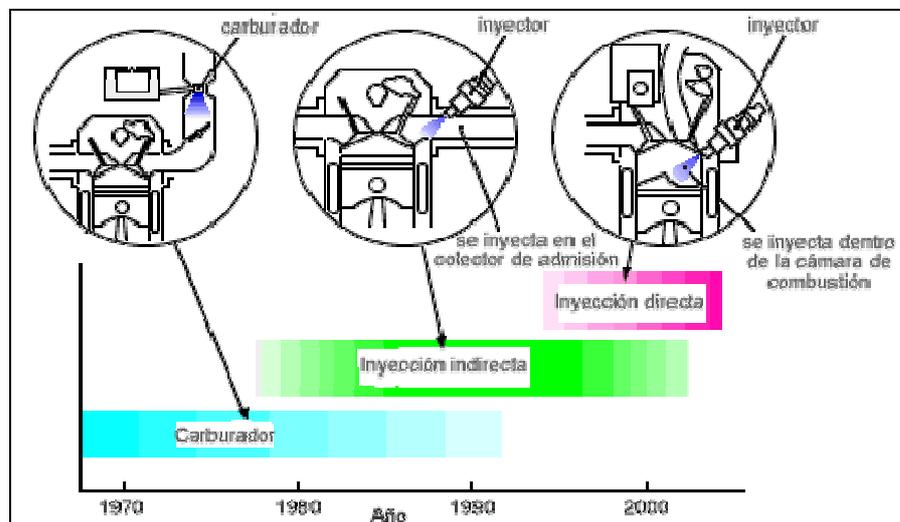
³² **Callejon, I. Alvarez, J. Civit, O.** La inyección en motores de encendido provocado. CPDA Barcelona 1996.

Los sistemas de inyección pueden clasificarse en función de cuatro características distintas³³:

1. Según el lugar donde inyectan.
2. Según el número de inyectores.
3. Según el número de inyecciones.
4. Según las características de funcionamiento.

1. Según el lugar donde inyectan:

Inyección directa: El inyector introduce el combustible directamente en la cámara de combustión. Este sistema de alimentación es el más novedoso y se está empezando a utilizar ahora en los motores de inyección a nafta como el motor GDi de Mitsubishi o el motor IDE de Renault.

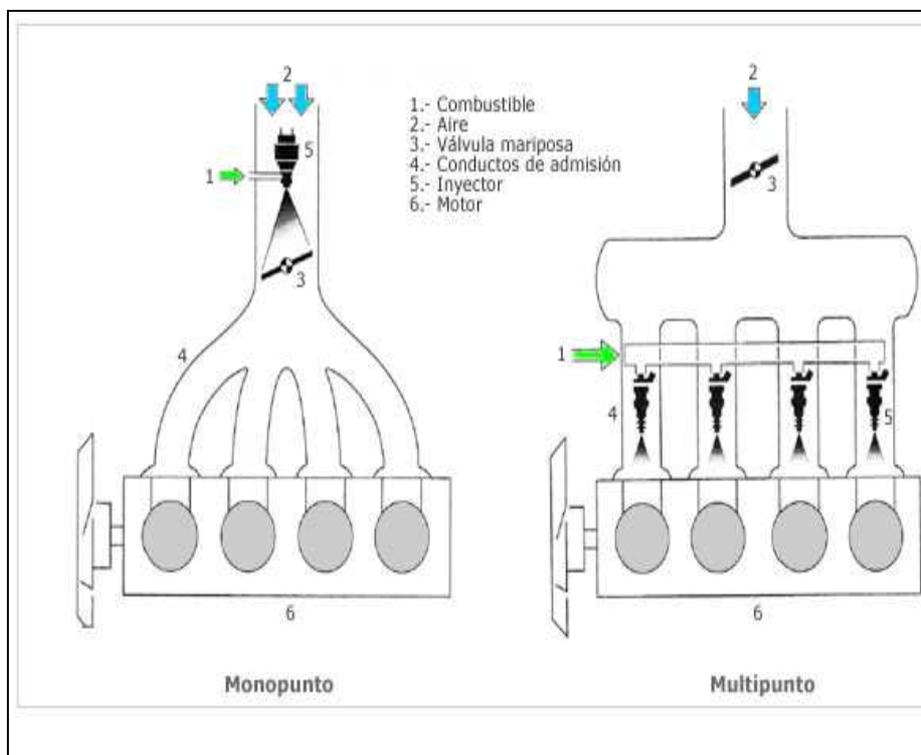


³³ **Marti Parera, A.** Inyección electrónica en motores de gasolina. Marcombo 1990

Inyección indirecta: El inyector introduce el combustible en el colector de admisión, junto a la válvula de admisión, que no tiene por qué estar necesariamente abierta. Es la más usada actualmente.

2. Según el número de inyectores:

Inyección mono punto: Hay solamente un inyector, que introduce el combustible sobre la mariposa del acelerador. En desuso actualmente.



Inyección multipunto: Hay un inyector por cilindro, pudiendo ser del tipo "inyección directa o indirecta". Es la actualmente más usada por ofrecer las mejores condiciones para el control de las emisiones.

3. Según el número de inyecciones:

Inyección continua: Los inyectores introducen el combustible de forma continua en los colectores de admisión, con control de dosificación y a presión, la cual puede ser constante o variable.

Inyección intermitente: Los inyectores introducen el combustible de forma intermitente, es decir; el inyector abre y cierra bajo control de una central de mando. La inyección intermitente se divide a su vez en tres tipos:

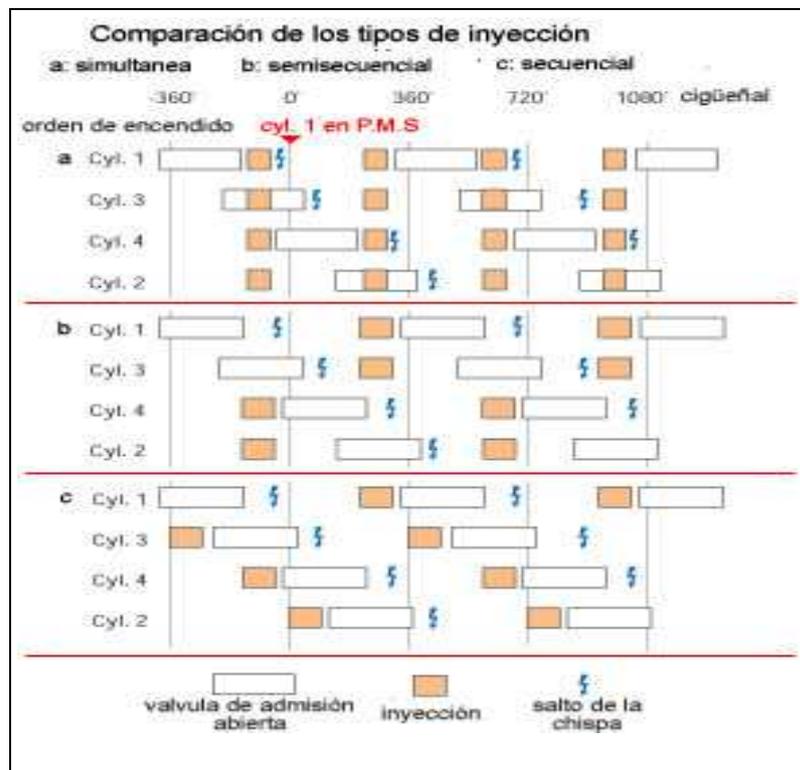
Secuencial: El combustible es inyectado en el cilindro que se encuentra con la válvula de admisión abierta, es decir; los inyectores funcionan de uno en uno de forma sincronizada.

Semisecuencial: El combustible es inyectado en los cilindros de forma que los inyectores abren y cierran de dos en dos.

Simultanea: El combustible es inyectado en los cilindros por todos los inyectores a la vez, es decir; abren y cierran todos los inyectores al mismo tiempo.(Full grup).

En el gráfico que sigue podemos ver la diferencia entre los distintos tipos de inyecciones descriptas y las formas en que actúan en función del ángulo de giro del cigüeñal.

En la actualidad en nuestro país, todos los automóviles están equipados con inyección electrónica multipunto secuencial, este sistema ha demostrado ser el más apto para alcanzar los límites de emisión que exigen las normas con un buen desempeño de consumo y potencia.



4. Según las características de funcionamiento:

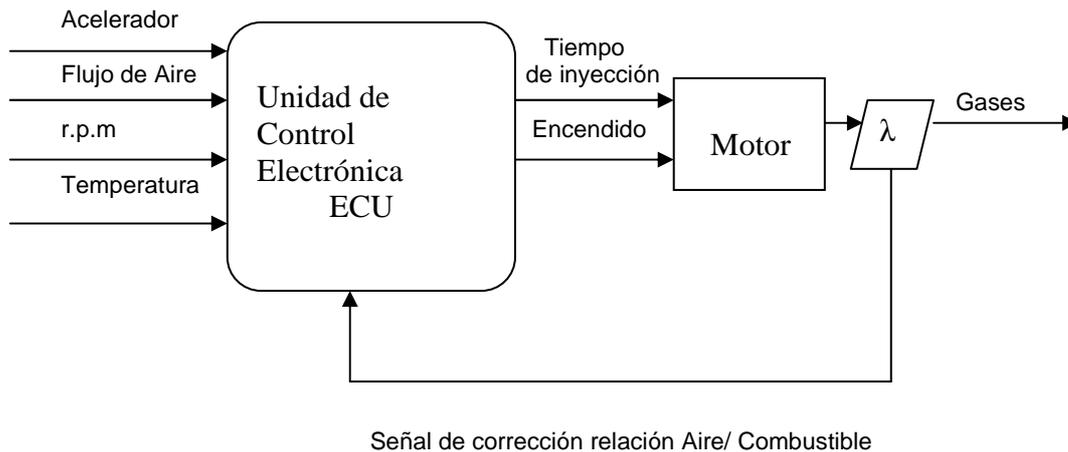
Inyección mecánica (K-jetronic)

Inyección electromecánica (KE-jetronic)

Inyección electrónica (L-jetronic, LE-jetronic, motronic, Dijijet, Digifant, etc.)

En los actuales sistemas de inyección electrónica, una ECU (Unidad de Control Electrónica) es la encargada de gestionar la inyección de combustible y el encendido (disparo de la chispa en la bujía). Ambos controles se realizan de forma cartográfica, esto es, en la memoria de la ECU se encuentran grabados mapas o matrices que, para los

distintos regímenes de marcha del motor indican tanto el tiempo de apertura del inyector (tiempo de inyección), como el instante de disparo de la chispa y el orden en que los disparos se realizan.



La ECU recibe señales de diversos sensores que le indican, posición del acelerador (TPS), carga del motor o flujo de aire que ingresa(MAP o MAF), velocidad y posición del cigüeñal (PMS) , posición de las levas que accionan las válvulas, temperatura del motor, temperatura del aire que ingresa etc... La ECU luego de procesar estas señales y determinar en qué punto de las matrices o mapas está el motor, generará señales a actuadores para determinar el régimen de marcha del motor a través de; inyectores, encendido, válvula de aire adicional (IAC), válvula de recirculación de gases (EGR) etc... También la ECU recibe una señal de realimentación proveniente del sensor o sonda Lambda, que le indica cuanto oxígeno hay presente en los gases de escape.

La inyección también puede realizarse mediante cálculo en tiempo real, instante a instante, de la cantidad de combustible requerido y del avance necesario. Los computadores modernos son capaces de procesar toda la información necesaria para esto. Este método se conoce como no cartográfico.

Existen varios disponibles como el HALETECH E6X o el RACE PRO 1Fi y otros que permiten calcular la inyección. En particular resulta interesante el estudio sobre la solución de los estados transitorios en estos sistemas, abordado en profundidad en la Tesis doctoral del Ing. Ernesto Gutiérrez González – Universidad Politécnica de Catalunya Julio 2002.

Regulación del avance de encendido.

El inicio y continuación del proceso de combustión de la mezcla aire/combustible, comprimida en una cámara de combustión de un motor de ciclo Otto, es producido por una corriente eléctrica que se establece entre los electrodos de una bujía, proceso cuyo inicio debe comenzar cuando el pistón se está acercándose a su punto muerto superior (PMS) en su carrera de compresión³⁴.

Por causa del retardo del avance del frente de llama durante la inflamación de la mezcla, el inicio del establecimiento de corriente y

³⁴ **Choid, S.B. Hedrick, J.K.** An observer-based controller design method for improving air/fuel characteristics of spark ignition engines. IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol 6, 1998

por tanto el inicio de la combustión, deben producirse en una posición del pistón lo más exacta posible, de modo que la combustión completa de la mezcla ocurra en el punto de máxima compresión, logrando así obtener el mayor rendimiento del motor.

El momento ideal para que se produzca la iniciación de la ignición varía en función de las revoluciones del motor y de la carga a la que está sometido.

El tipo de combustible que se utiliza determina así mismo el avance del encendido, cuanto mayor sea el índice octano del combustible, mayor será el avance (anticipo respecto del punto muerto superior) requerido en el disparo de la chispa.

Para cada régimen del motor existe un avance ideal, de modo tal que siempre se obtenga la máxima potencia, pero también existe un punto de avance límite (LDI Límite de Detonación Inferior) pasado el cual se producirá el fenómeno de detonación.

Los sistemas de encendido comandados por medio de la electrónica de a bordo, brindan la posibilidad de controlar el avance de ignición situándolo en un punto muy próximo al punto límite de avance inferior (LDI), punto que sería imposible de lograr en los antiguos sistemas de avance, controlados mecánicamente. En estos nuevos sistemas no se dispone por lo tanto de la posibilidad de lograr un aumento de la potencia por medio del desplazamiento del punto de avance, ya que la ECU lo ubicará siempre en el punto óptimo.

Utilización de catalizadores introducidos en los tubos de escape.

El catalizador es un componente insertado en el camino de los gases de escape, es también conocido como Conversor Catalítico.

Reduce alrededor de un 70% de los tres gases contaminantes principales producidos por los motores nafteros; CO, HC y NO_x.

La evolución tecnológica de estos elementos, dio como resultado los actuales catalizadores de tres vías, estos presentan una vida útil prolongada con las altas temperaturas de los gases de escape³⁵. El principal problema en estos dispositivos es la formación de depósitos de materiales tóxicos para el catalizador y que están presentes en los gases de escape, fósforo y zinc, provenientes del aceite lubricante que se quema.³⁶⁻³⁷ Darr sostiene que en motores que consumen aceite, la vida del catalizador se reduce notablemente por los depósitos de fósforo y zinc por lo que resulta necesario el desarrollo de lubricantes con bajos contenidos de estos elementos.

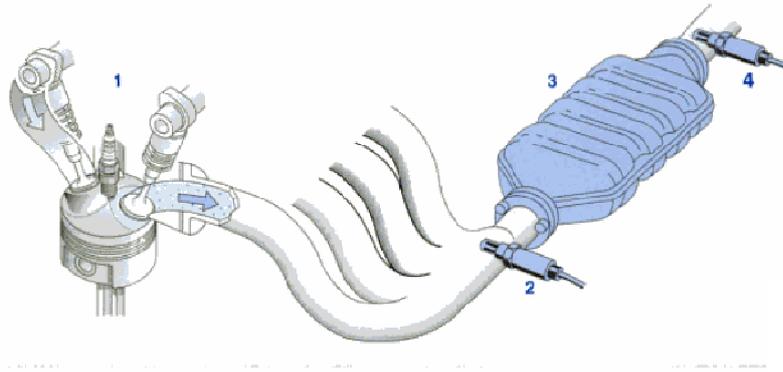
El catalizador posee dos elementos cerámicos conformados en nido de abeja los que tienen un tratamiento superficial de metales activos, esta conformación especial provee una gran superficie de contacto con los gases.

³⁵ **Bode Hans Prof. Dr. Ing.** Materials aspects in automotive catalytic converters. Villey-Vch 2001.

³⁶ **Thoss J, Rieck J y Benett C.** SAE Paper N° 1999-01-0308 (1999)

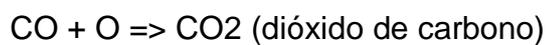
³⁷ **Darr S., Chosksi R., Hubbard C., Jhonson M. y Mc Cabe R..** SAE Paper N° 2000-01-1881 (2000)

- 1 Motor
- 2 Sonda lambda delante del catalizador (sonda de dos puntos o sonda lambda de banda ancha, según el sistema)
- 3 Catalizador de tres vías
- 4 Sonda lambda de dos puntos detrás del catalizador (sólo para sistemas con regulación por dos sondas lambda)



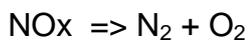
Los metales activos utilizados son el paladio (Pd) o el molibdeno (Mo) y el rodio (Ro). Son elementos que favorecen si participan, procesos químicos que permiten transformar los contaminantes. Estos metales activos son los que producen la oxidación (reacción de quemado a altas temperaturas, combinándolos con oxígeno) del CO y los HC y la reducción por reacción de separación del NO_x.

Los gases de escape con su contenido de CO y HC pasan a través del catalizador y cuando este ya se encuentra a temperaturas elevadas (350° C o más), el paladio (Pd) inicia un proceso de oxidación (combustión a alta temperatura) dando como resultado en combinación con el oxígeno :



Para controlar los óxidos de nitrógeno (NO_x), es necesaria una reacción química de separación de los gases que componen este elemento. En realidad la reacción que se produce es al revés que la oxidación (en la oxidación se adiciona oxígeno para lograr la

reacción), en este caso se separan los gases del compuesto quedando



Esta reacción química es producida por el molibdeno (Mo) o el rodio (Rd), según el metal que haya sido utilizado en la fabricación del catalizador.

En la reacción química que implica la oxidación se libera calor por lo que, los gases tendrán una temperatura de salida superior a la de entrada. El catalizador requiere una temperatura de trabajo para que opere con un rendimiento del 100%, de aproximadamente 350° C.

Esta temperatura nos está indicando que, durante el lapso de tiempo de calentamiento de un motor, el catalizador es ineficiente.

Otro factor que influye notablemente en el rendimiento del catalizador, es el estado de la mezcla en lo que se refiere a la relación estequiométrica ideal.

La relación Lambda (λ) debe estar comprendida entre 0,95 y 1,05 para que el rendimiento del catalizador sea óptimo.

Si la mezcla es muy rica será insuficiente el oxígeno presente para el proceso de oxidación, mientras que si es pobre, el exceso de oxígeno tornará ineficiente el proceso de separación del NO_x .

En particular los catalizadores de tres vías (TWC) resultan ineficientes para los motores de mezcla pobre. Para estos casos se aplican catalizadores de BaO/BaCO_3 sobre sustrato de Al_2O_3 , este tema ha sido desarrollado por Jhonson Matthey de Royston UK.

Control de la inyección de combustible en la faz de desaceleración.

En condiciones de desaceleración, cuando la mariposa está cerrada y las vueltas de motor son elevadas, caso en que se está requiriendo una potencia de motor casi nula, existen dos estrategias importantes para reducir la emisión de gases contaminantes.

Método de Cutt-Off

Esta estrategia es manejada por la ECU en el momento que reconoce la posición de mariposa cerrada, información que le brinda el TPS (sensor de posición de mariposa) y al mismo tiempo recibe información desde el captor de r.p.m. (revoluciones por minuto) y PMS (punto muerto superior) que le indica que el régimen de motor es alto, superior a un valor máximo que tiene registrado en su memoria sin requerimiento de potencia. En estas condiciones se debe realizar un empobrecimiento de la mezcla, condición que logra la ECU cortando la inyección y manteniendo al mismo tiempo un avance de ignición fijo. El sistema es mantenido por la ECU en estas condiciones hasta que se accione nuevamente el pedal del acelerador, lo que trae aparejado un cambio en la posición de la mariposa, o hasta que las revoluciones del motor caigan a un límite inferior, valor que también está registrado en la memoria de la computadora. Cualquiera de las dos situaciones que se produzca harán que la ECU deshabilite la estrategia de Cutt-Off.

Los límites de revoluciones del motor para la habilitación y deshabilitación de la estrategia de Cutt-Off, como ya se mencionó, están fijados en la memoria de la ECU. Pueden depender o no de la temperatura de motor, esta dependencia responde solamente a la electrónica implementada en cada tipo de ECU.

En los casos que en la electrónica de un computador determinado, se haya implementado la dependencia de la temperatura de motor para que se habilite o no la estrategia de Cutt-Off, el computador implementará dicha estrategia solamente cuando la temperatura de motor supere un valor preestablecido en su memoria. En estas condiciones, frente a situaciones cambiantes de temperatura de motor, la estrategia de Cutt-Off será habilitada o deshabilitada a distintas r.p.m. de motor de acuerdo a la temperatura a que éste se encuentre trabajando.

Observemos que la estrategia de Cutt-Off es muy importante también en la economía de combustible.

Estrategia Dash-Pot

Esta estrategia se adoptada para controlar la emisión de gases contaminantes en la fase de desaceleración del motor, acompañada de un bajo requerimiento de potencia del mismo. Es decir cuando estamos frente a una mariposa cerrada y r.p.m. de motor mucho más altas que en la condición de ralentí.

Cuando se presenta la condición de una desaceleración brusca, la presión en el múltiple de admisión cae a niveles muy bajos, por debajo

inclusive de los niveles normales que se tienen en la condición de ralentí. Esta condición favorece totalmente al incremento de la generación de HC en el proceso de combustión.

Para evitar esta condición, la ECU adopta la estrategia de mantener una entrada de aire mayor al múltiple de admisión (la mariposa está cerrada), ésta entrada de aire adicional se logra abriendo la válvula IAC (Válvula de entrada de aire al múltiple de admisión) o manteniendo una apertura controlada de la mariposa en caso de mariposa motorizada (acelerador electrónico), de esta forma evita que se produzca una brusca depresión en el múltiple de admisión y así continúa estando disponible el oxígeno necesario.

Control y manejo de los gases que se forman en el depósito de combustible y en el cárter.

En el cárter o depósito de aceite del motor encontraremos presencia de vapores del aceite y gases que han pasado desde los cilindros hacia el cárter. Estos gases pueden presentar una elevada concentración de HC, hasta 15.000 ppm, y no deben ser liberados a la atmosfera, por lo que se los reinyecta en la admisión para que sean quemados en las cámaras de combustión. Esta reinyección favorece í la formación de carbón en cilindros, válvulas, electrodos de las bujías y en los distintos componentes ubicados en el sistema de admisión. Estas incrustaciones de carbonos favorecen la auto detonación y pueden ocasionar daños. En particular en algunos motores con

acelerador motorizado, el carbón depositado en las paredes del cuerpo mariposa, pueden llegar a trabar mecánicamente la mariposa pudiendo producir la rotura de los dientes de los engranajes de transmisión.

Con los gases presentes en el tanque de nafta se realiza una técnica similar, pero los mismos son tratados antes de la reinyección en un depósito (canister) que contiene un filtro de carbón activado. La reinyección se hace a través de una electroválvula comandada por la ECU conocida como válvula de purga del canister. El instante de reinyección es determinado por la ECU para evitar desbalancear la inyección. En general se inyectan en los momentos de alta demanda de potencia.

Recirculación de los gases de escape hacia las cámaras de combustión (EGR).

Los NO_x se forman por la combinación del nitrógeno y el oxígeno presentes en el aire, a altas temperaturas. Una técnica para reducir su formación consiste en reintroducir parte de los gases de escape en las cámaras de combustión, con esto se logra reducir la temperatura y como consecuencia evitar la formación de los NO_x .

La recirculación de una parte pequeña de los gases de escape diluye la mezcla aire-combustible logrando reducir la temperatura. La válvula EGR es la encargada de controlar el paso de los gases de escape

hacia los cilindros. La EGR es controlada por la ECU, ésta, abrirá el paso en condiciones en las que el desbalance de la mezcla producido no altere las condiciones de marcha del motor de forma importante.

La ECU no actuará la EGR en las siguientes condiciones:

- Motor frío
- Carga del motor inferior al 25%
- Por sobre las 4000 rpm.

Esta tecnología presenta también algunos inconvenientes:

- Menor potencia del motor.
- Reducción de la eficiencia del aceite lubricante.
- Formación de incrustaciones en las bujías y válvulas.

Inyección adicional de aire en los múltiples de escape.

Mencionamos cuando nos referimos al funcionamiento en la vía de oxidación de los catalizadores, que estos requerían de oxígeno para poder convertir el CO y los HC. Esto quiere decir que después de la combustión deberá existir aún disponibilidad de oxígeno para que el catalizador pueda funcionar. Estaríamos entonces en presencia de una mezcla pobre (con exceso de aire) pero esto nos aleja de nuestra relación lambda 1 y aumentaría los NO_x. Entonces una solución resulta en inyectar aire en los gases de escape antes del catalizador, de esta forma aportamos el oxígeno adicional sin alterar la mezcla estequiométrica.

Por último mencionaremos que para uniformar el sistema de diagnóstico de fallas y parámetros, que tienen relación con el desempeño ambiental de los motores, se implementó un código universal llamado OBD (On Board Diagnostics) que permite al computador ECU detectar y dar aviso de fallas en los dispositivos anti contaminación. Estas fallas quedan registradas en la memoria de la ECU a fin de poder realizar las intervenciones correctivas necesarias. Actualmente los vehículos utilizan el sistema OBDII.

El sistema OBD II incluye una gran cantidad de códigos generales de problemas, junto con códigos específicos de los fabricantes. En los vehículos con OBD II los errores registrados y memorizados por la ECU, pueden ser leídos por medio de un Scanner con conector OBD II.



3.2 NUEVAS ALTERNATIVAS DE PROPULSION

Como hemos visto, a pesar de todos los avances tecnológicos que los límites normados han impulsado, y de la reducción del consumo en

los motores, el aumento geométrico del número de vehículos que circulan, convierte a todos estos esfuerzos en insuficientes.

Nuevas tecnologías se estudian y desarrollan en la actualidad para reducir e incluso hacer nulas las emisiones de los vehículos.

A continuación describiremos las principales y discutiremos su futuro, sus fortalezas y sus debilidades.

Las tecnologías que se exploran podrían clasificarse en tres grandes grupos según la forma en que obtienen la energía mecánica que se envía a las ruedas.

- Vehículos con motor de combustión interna usando combustibles alternativos.
- Vehículos con motores eléctricos.
- Vehículos con sistemas híbridos.

Puede decirse que todos los desarrollos actuales caen en alguno de estos tres grupos.

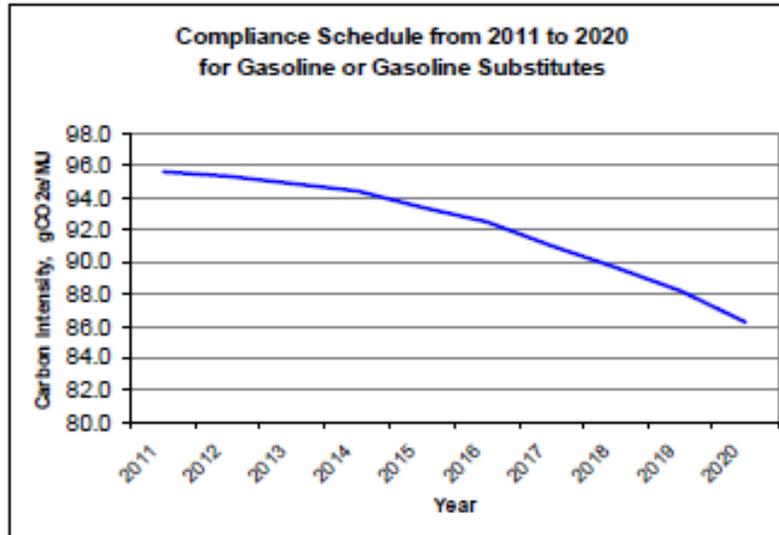
Al analizar los beneficios de cada fuente de obtención de la energía, debemos tener en cuenta no solo los beneficios directos en la reducción de contaminantes, sino también las emisiones asociadas a todo el ciclo de utilización, esto es, su producción, transporte y distribución. Deben considerarse también la afectación al medio ambiente que su producción implica; suelos, aire y agua.

Tendremos también diversas incidencias en los conceptos citados según cuál sea la procedencia de una misma energía.

El estado de California abordó este tema en profundidad introduciendo el concepto de un estándar para combustibles de bajo carbono

(LCFS). El objetivo buscado es la reducción, de los gases de efecto invernadero generados en los vehículos de carga, en 16 millones de toneladas para 2020. El trabajo fue realizado por la California Environmental Protection Agency y presentado en Marzo de 2009.

Determinaron bajo protocolos, las emisiones directas de diversos combustibles, naftas reformuladas, etanol, gas natural, gas licuado, hidrógeno y electricidad, asignándoles una cantidad llamada intensidad de carbono, ésta se expresa en grs. de CO₂/MJ. Este valor representa los gases de efecto invernadero asociados al uso del combustible así como a su proceso de producción, transporte y distribución. A este valor se adiciona un valor también en grs. de CO₂/MJ que tiene en cuenta el cambio de uso del suelo y la influencia en los mercados que el uso de esta energía produce, p.ej. el aumento en el precio de los alimentos por la utilización de productos agropecuarios para ser destinados a biocombustibles. Estas determinaciones fueron realizadas a través de modelizaciones por un staff de la Universidad Purdue y de la Universidad de California.



La reducción en la intensidad de carbono esperada para naftas y sustitutos puede verse en el gráfico.

Luego de describir las distintas alternativas veremos una comparativa de las intensidades de carbono.

Vehículos con motor de combustión interna usando combustibles alternativos.

Hemos visto algunas de las técnicas actualmente usadas para la reducción de emisiones en los vehículos nafteros, pero estos mismos motores, con algunas reformas pueden operar con otros combustibles menos contaminantes. Citaremos el Etanol, las naftas reformuladas, el Gas Licuado de Petróleo, el Gas Natural Comprimido y el Licuado y el Hidrógeno.

El etanol o alcohol etílico $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ se obtiene de distintas fuentes agrícolas principalmente maíz y caña de azúcar. Se fabrica mediante

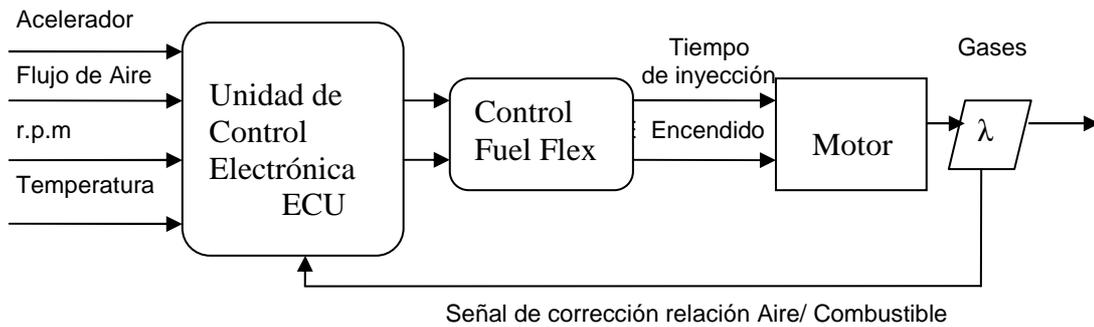
procesos de fermentación de azúcar, almidón o celulosa. Los principales productores son Brasil (caña) y EEUU (maíz), en Europa se fabrica a partir de la remolacha azucarera o del trigo.

En su utilización en motores de combustión se presenta combinado con nafta en proporciones, desde el 5 o 10 %, hasta el 100% de etanol. Cuando se utiliza en proporciones $\leq 5\%$, el motor naftero de inyección electrónica puede funcionar sin modificaciones. Cuando se lo usa al 100% se requieren modificaciones importantes por varias razones; el etanol presenta un octanaje superior al de las naftas y aporta oxígeno, por ésto los mapas de las ECU diseñadas para nafta, no contemplan el oxígeno adicional y no resulta posible efectuar las correcciones suficientes para mantener la estequiometría.

La proporción de etanol contenida en una nafta reformulada se expresa en el porcentaje de etanol que contiene, precedida por la letra E, E10 representa por ejemplo una nafta con 10% de etanol.

Muchos motores se preparan para adaptarse a porcentajes variados de etanol. Esta tecnología se conoce como Fuel Flex.

El dispositivo Fuel Flex es básicamente un computador capaz de modificar instante a instante las señales de control que genera la ECU original del vehículo.



Dado que el etanol aporta oxígeno, en una proporción del 3,5 % en mezclas con 10% de etanol en nafta, resultará necesario para mantener la estequiometría de la mezcla, reducir el aire que ingresa o aumentar el combustible a fin de contemplar este aumento de la presencia de oxígeno en la mezcla.

Es muy importante para nosotros analizar este caso pues presenta algunas similitudes con el gas.

Reducir el aire que ingresa al motor resulta bastante complicado por lo que veremos cómo variar el dosaje de combustible.

Dado que, tanto la nafta como el etanol son líquidos, el caudal de combustible que ingresa al motor para ser regulado por la inyección, es determinado por la presión de la bomba de nafta y por las secciones de paso que intervienen en el circuito de combustible. Podríamos variar estos parámetros, presión y secciones de paso para obtener mayor aporte de combustible y mantener así los mismos tiempos de inyección. O bien, deberíamos mantener el circuito de combustible como está y aumentar el ancho de los pulsos de inyección en un ΔT tal, que permita un aporte mayor de combustible capaz de compensar, en todo momento al oxígeno aportado por el

etanol. Esto último es lo que hace el sistema Fuel Flex que, además, es capaz de avanzar el encendido para contemplar también el aumento de octanaje producido por el aporte del etanol. Los vehículos equipados con este sistema se conocen como FFV.

La utilización del etanol puede reducir la formación de algunos gases de efecto invernadero pero su desempeño ambiental es fuertemente cuestionado en razón de que, su uso como combustible genera un aumento del Ozono superficial. Según concluye un estudio de afectación de la salud, realizado por Mark Jacobson profesor de Standford, su uso “no resulta ambiental en términos de polución pudiendo incluso ser aún más nocivo que la gasolina”³⁸.

El etanol presenta una limitación en el arranque en frío de los motores debido a que, el calor latente de vaporización es mayor en las naftas reformuladas con etanol, esto hace que el arranque en frío no sea bueno, especialmente en invierno. En zonas frías es necesario que estos vehículos cuenten con un tanque pequeño de nafta para utilizar en el arranque.

Su poder calorífico es inferior al de la nafta en un 23% de allí que el litro dealconafta rinda menos en kilómetros recorridos que el litro de nafta.

³⁸ **Environmental Science & Technology** 18 de Abril de 2007 y PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) Abril de 2007.

Debido a su afinidad con el agua, el almacenamiento y distribución del etanol presenta complicaciones que hacen necesarias precauciones especiales.

Los países donde su uso es masivo son EEUU y Brasil. Como combustible alternativo, debe considerarse más como un sustituto de del petróleo, que como un aportante de beneficios socio-ambientales. En efecto, además de la afectación a la salud, el aumento de la demanda de caña de azúcar y maíz para etanol ha contribuido al aumento de los precios de estos alimentos básicos, lo que golpea a los países más pobres. También el aumento de la superficie sembrada de caña para etanol (un metro cúbico de etanol requiere 12 a 13,5 toneladas de caña), ha generado deforestación de grandes áreas en Brasil. Su aplicación sí permite reemplazar como aditivo al MTBE que es un contaminante de aguas subterráneas, el etanol aportaría el oxígeno necesario a las naftas para la reducción de las emisiones de CO.

Muchos investigadores cuestionan el balance energético de producir este combustible, ya que, al considerar su ciclo completo es mayor la energía consumida en producirlo que la que de él se obtiene.

Como conclusión el etanol es un combustible de fácil aplicación a los modernos motores que reduce el consumo de petróleo pero no presenta demasiados beneficios ambientales; reduce las emisiones de CO, aumenta los VOCs (Compuestos Volátiles Organicos), y genera

emisión de Aldehídos (formaldehído y acetaldehído)³⁹ cancerígenos. También se ha demostrado un aumento en la temperatura de combustión al usar naftas con etanol de acuerdo al trabajo *Modelado de la combustión de mezclas gasolina-etanol en motores de combustión interna*, Tesis Doctoral, Juan Miguel Mantilla González, I.M, MSc Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas 2010, esto conlleva a mayor emisión de NOx y a la reducción de la vida útil de los lubricantes⁴⁰.

Gas Natural Comprimido o Licuefactado en ambos casos nos referimos al gas natural con una composición mayoritaria de Metano CH₄. Se utiliza en automotores, comprimido a 200 bar para poder obtener autonomías medias, ya que a esta presión se encuentra aún en fase gaseosa a temperatura ambiente.

Con el fin de facilitar el transporte y aumentar la capacidad de almacenamiento, en la actualidad se lo somete a un proceso de licuefacción criogénica que permite aumentar su densidad unas 600 veces. Para esto se requieren tratamientos especiales de separación para extraer el CO₂ y el agua, hasta reducirla a 1 ppm en volumen, con el fin de evitar su congelamiento. Posteriormente el metano es refrigerado hasta los -161 °C, punto en que se licua. Posteriormente es transportado a esta temperatura y a 1,08 bar de presión. En las plantas de destino es nuevamente gasificado para inyectarse a los

³⁹ **Hsieh W., Chen R., Wu T., Lin T.** Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels. Atmospheric Environment 2002

⁴⁰ **Lubrication Engineers Technical Department.** Motor Oil Degradation. In Techni/tips Number 68

gasoductos. Para su uso en automotores, (actualmente a nivel experimental) el mantenimiento de estas temperaturas es un inconveniente serio.

El metano como combustible tiene un desempeño ambiental muy favorable presentando el menor índice de bajo carbono, no es tóxico y su producción es sustentable ya que se puede producir a partir de fermentación anaeróbica. También el metano puede ser captado de fuentes naturales no fósiles donde se produce, y su uso correcto como combustible reduce las emisiones a la atmósfera de este gas que es un Gas de Efecto Invernadero.

La adaptabilidad de este combustible a los motores de combustión interna desarrollados para nafta es muy grande y será abordada en detalle en el capítulo 4. El gas natural es considerado el combustible de origen fósil que produce el menor perjuicio ambiental⁴¹.

Su utilización como combustible se ha generalizado en el mundo en los últimos 10 años siendo Argentina y Pakistán los países con mayor cantidad de vehículos propulsados a GNC.

Gas licuado de petróleo este gas se encuentra en fase líquida a 10 bar y a temperatura ambiente, está compuesto por propano C_3H_8 y butano C_4H_{10} en variadas proporciones. Se obtiene de procesos de refinación y de yacimientos de gas húmedo. Presenta un desempeño ambiental algo inferior al gas natural y su uso en vehículos requiere

⁴¹ **United States Environmental Protection Agency** EPA420-F-00-033 Marzo 2002

medidas extremas de seguridad dado que su densidad es superior a la del aire, lo que permite que se acumule a nivel del suelo.

Se adapta sin inconvenientes a motores nafteros. Su tecnología es similar a la que se aplica para el GNC. Presenta, dependiendo de los procesos de obtención y transporte, un gran número de impurezas lo que obliga a la utilización de filtros especiales que se intercalan antes de ser inyectado al motor o, a otros dispositivos sensibles.

Su uso como combustible automotor está muy difundido en Europa y países del Caribe.

El Hidrógeno puede ser utilizado en motores de combustión interna sólo o combinado con otro gas. Su uso como combustible exclusivo no produce contaminación alguna, dando como únicos productos de la combustión calor y agua. Es un combustible que se encuentra en forma abundante en el universo, simple, el más simple de todos.

El futuro de los vehículos quizás pase por el hidrógeno, no en ésta aplicación que abordamos aquí, pero si tal vez en su uso para celdas de combustible en vehículos eléctricos.

“Sí, amigos míos, creo que algún día se empleará el agua como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno de los que está formada, usados por separado o de forma conjunta, proporcionará una fuente inagotable de luz y calor. El agua será el carbón del futuro”. Julio Verne, de La isla misteriosa (1874).

Dada su elevada temperatura de autoencendido (585°C) requiere una fuente adicional de ignición o chispa, presenta un alto índice octano, 130 y su comportamiento en motores es muy similar al del GNC.

Presenta algunos problemas para su uso generalizado, especialmente la obtención del hidrógeno, que resulta costosa y compleja así como su distribución y almacenamiento.

Presenta un rango explosivo muy amplio; 4 a 75% lo que lo hace sumamente peligroso si bien su baja densidad evita la acumulación. Su bajísima energía de ignición 0,02 mJ hace que pueda encenderse incluso con chispas no visibles o hasta con descargas estáticas del cuerpo humano.

Su almacenamiento requiere considerar que el pequeño tamaño de la molécula de hidrógeno hace que pueda difundirse a través de lugares y materiales que resultan estancos para otros gases.

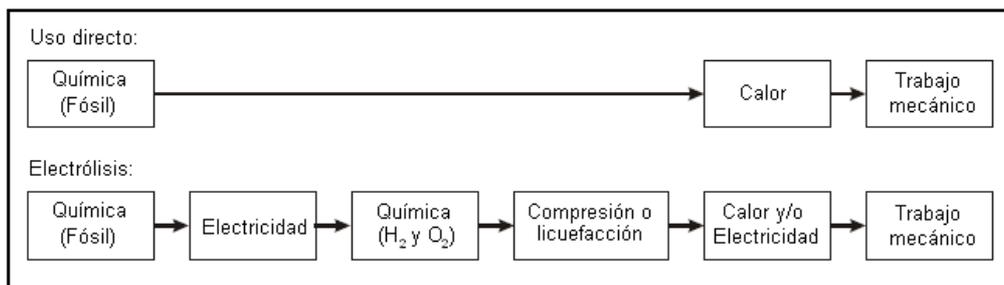
Los materiales puestos en contacto con el hidrógeno pueden sufrir un fenómeno que se conoce como fragilización por hidrógeno, que consiste en la pérdida de resistencia y ductilidad de algunos materiales al tener contacto con el hidrógeno, debe evitarse su contacto con aleaciones de hierro (ferrita, martensita y bainita), Titanio y aleaciones de titanio y algunas aleaciones de níquel.

Para obtener hidrógeno existen varios métodos;

- Reformado de hidrocarburos
- Electrólisis de agua
- Descomposición termoquímica del agua.
- Fotoconversiones.
- Procedimientos biológicos.
- Producción a partir de biomasa.
- Procedimientos industriales.

El reformado de hidrocarburos es el método más usado y uno de los más económicos pero estos procesos generan contaminantes y utilizan energía de origen no renovable.

Los procesos que resultan necesarios para llegar a disponer de energía mecánica son más complejos que con los combustibles fósiles.



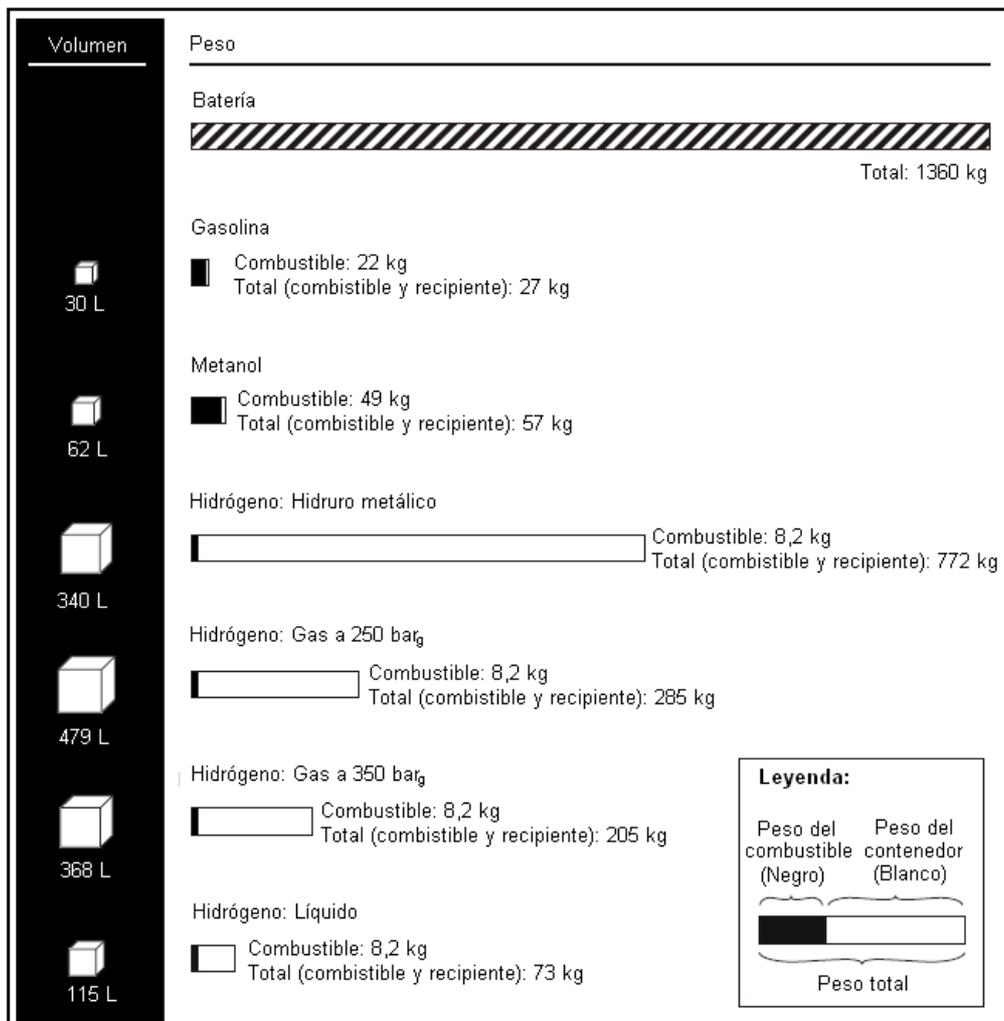
De los procesos mencionados, la electrólisis del agua parece ser el más indicado para la producción de volúmenes importantes pero requiere gran cantidad de energía eléctrica.

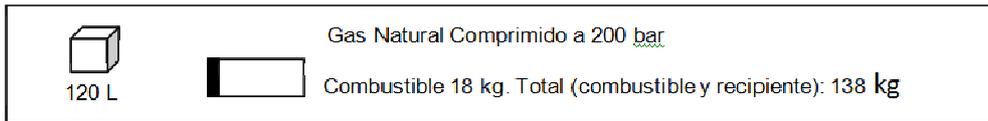
La historia del hidrógeno está ligada al agua, Antoine Lavoisier lo llamo así por su capacidad de formar agua al quemarse, del griego *υδρῶ*, “agua” y *γένεος-ου*, “generar”.

Como dijimos, el hidrógeno tiene una muy baja densidad, como gas o en forma líquida, esto implica que presente también una baja densidad de energía siendo necesario destinar grandes volúmenes para obtener autonomías razonables. Se lo puede disponer en estado gaseoso, comprimido a presiones de unos 250 bar o líquido a -253 °C.

Para tener una idea de cuan baja resulta su densidad de energía veamos un ejemplo. Supongamos un auto que dispone de un depósito de nafta de 50 litros, es decir, unos 42 kg en peso y 1580 MJ de

energía almacenada. Para almacenar la misma cantidad de energía, harían falta 13,2 kg de hidrógeno, que a 15°C y 1 bar de presión ocuparían 158 m³. Naturalmente, este volumen no es viable para ser transportado a bordo de un coche, por lo que hay que aumentar la densidad del gas. Resulta necesario comprimirlo o licuarlo para que esta cantidad de hidrógeno pueda viajar en un auto. Tanto para almacenarlo a presión como para mantenerlo líquido, resulta necesario recipientes sumamente especiales. Veamos dimensiones necesarias cuando queremos almacenar 1044500 kJ





Los motores para hidrógeno requieren por las características particulares de este combustible, un diseño especial. Si bien son muy similares a los de nafta trabajan con una relación de compresión mayor, tienen medidas más grandes en sus mecanismos de transmisión, sistemas de encendido especiales, aros especiales que reduzcan al mínimo el pasaje al cárter del hidrógeno, diseños especiales de refrigeración etc...

Si bien estos motores no producen CO₂, CO, HC si producen NO_x, dado que requieren gran cantidad de aire (estequiometria 34:1) y tienen elevada temperatura de autoencendido, habrá también cantidades elevadas de NO_x.

Los automóviles que se han desarrollado para hidrógeno son duales permitiendo marchar a nafta o a hidrógeno, entre otros citaremos; BMW 750 hL, BMW Hydrogen 7, Ford Model U. Si bien se requieren ciertas modificaciones en los motores, al operar a hidrógeno, no se precisa estar en estequiometria para reducir contaminantes lo que junto al amplio rango de inflamación permiten que el motor opere bastante bien aunque con sacrificio de rendimiento y potencia. Mazda lleva 15 años de desarrollo del motor rotativo de hidrógeno y presentó en 2006 su modelo RX Hydrogen 8 RE, un deportivo que a nafta desarrolla una potencia de 210 CV y un par máximo de 222 Nm, siendo capaz de recorrer 550 kilómetros gracias a su tanque de nafta

de 61 litros. Si se cambia el modo de funcionamiento del motor para que pase a consumir hidrógeno, éste desarrollará una potencia de 109 CV y un par de 140 Nm, valores inferiores a los obtenidos con gasolina, aunque suficientes como para permitir circular con agilidad. Su tanque de hidrógeno de 110 litros le da una autonomía de 100 kilómetros.

Vehículos con motores eléctricos (EV).

El motor eléctrico presenta para su utilización en vehículos, grandes ventajas; alto rendimiento, posibilidad de acoplamiento directo a las ruedas, muy buen control de velocidad etc...

Los rendimientos de motores eléctricos se encuentran en el orden del 90%⁴² frente a un 30% en motores de combustión interna. No emiten contaminantes y presentan muy bajo nivel de ruido.

El control de tracción puede realizarse en forma electrónica de forma muy eficiente y hasta potencias de 500 HP pueden acoplarse directamente a las ruedas lo que elimina las pérdidas por transmisión.

El mayor inconveniente que presenta esta tecnología para imponerse, radica en la forma en que la energía eléctrica se almacena y el peso que agrega ese almacenamiento al vehículo. Los elementos destinados al almacenamiento de la energía eléctrica se denominan pilas.

⁴² **B. Adkins, R.G. Harley:** The general theory of alternating current machines Chapman & Hall, London, 1978

Las pilas se clasifican en:

Primarias. Las masas de los electrodos y del electrolito están determinadas de antemano (de este tipo son las pilas secas que utilizamos habitualmente).

Secundarias o acumuladores. Es posible regenerar los electrodos y el electrolito invirtiendo el sentido de la reacción. Para ello se suministra energía eléctrica (de este tipo son las actuales baterías de coches y pilas recargables)

De combustible. Funcionan como una pila primaria, pero la masa de los electrodos se renueva desde el exterior, de forma que su funcionamiento se alarga indefinidamente.

Tipos de baterías:

Plomo-ácido; son actualmente las más usadas en vehículos eléctricos, resultan económicas y fáciles de reciclar pero presentan una baja energía específica y baja densidad de carga por lo que resultan grandes y pesadas (pueden llegar a representar el 40% del peso total de un vehículo eléctrico).

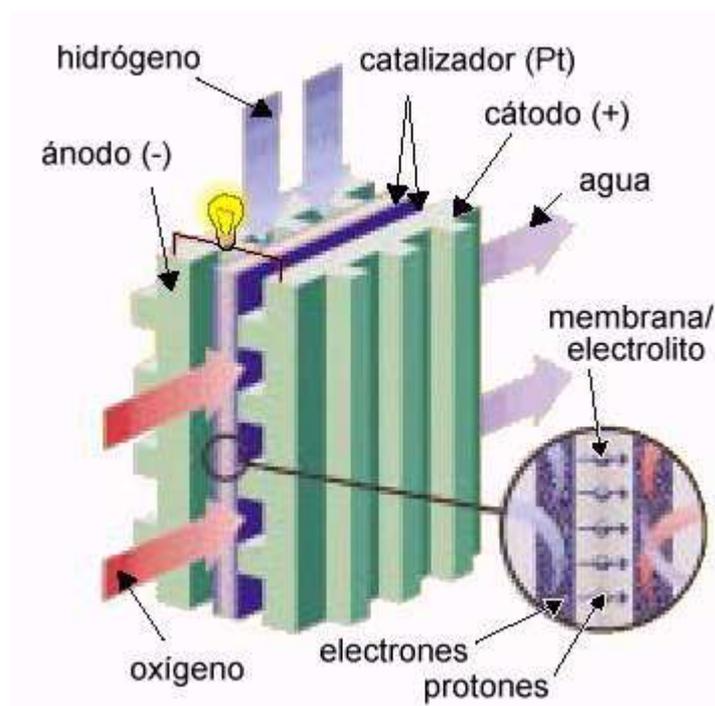
Niquel-cadmio o nicad; tienen mayor energía específica (55 Wh/kg) y mayor densidad de energía que las de plomo, sin embargo su uso fue prohibido en vehículos dado que el cadmio es un metal pesado contaminante. A partir de 2005 no pueden usarse en vehículos eléctricos en Europa.

Niquel-metal-hidruro; tienen una energía específica de 90 Wh/kg y ciclos de vida muy largos. Son reciclables y en lo ambiental,

relativamente benignas en razón de que el ánodo no está construido con metales pesados. Son de tamaño más reducido y se están usando actualmente en algunos vehículos híbridos.

Iones de litio; presentan una alta energía específica aproximadamente 150 Wh/kg y largos ciclos de vida. Se han usado en prototipos pero resultan económicamente prohibitivas.

En una pila de combustible, la energía química del "combustible" se convierte directamente en energía eléctrica a través de una reacción electroquímica, sin mediar proceso alguno de combustión, y la eficiencia llega a alcanzar valores de hasta un 70%. El dispositivo es conceptualmente muy simple; una celda de combustible individual está formada por dos electrodos separados por un electrolito que permite el paso de iones pero no de electrones. En el electrodo negativo tiene lugar la oxidación del combustible (normalmente H₂ aunque puede ser también metanol u otros) y en el positivo la reducción del oxígeno del aire.



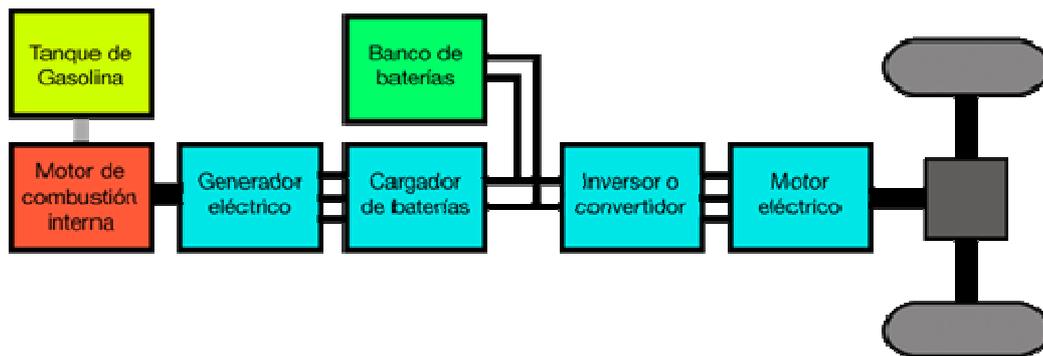
Constituyen la forma más apropiada de suministrar energía al motor eléctrico, pero, la celda de combustible debe ser reaprovisionada de hidrógeno, lo que nos vuelve a algunos inconvenientes sobre la producción, transporte y almacenamiento del hidrógeno que citamos más arriba.

En el análisis ambiental de los vehículos eléctricos, debe tenerse en cuenta que si bien su utilización no produce emisiones, resulta necesario considerar el ciclo completo tomando en cuenta también la fuente que produce la electricidad. Este ciclo puede ser de emisiones bajas si se utiliza una pila de hidrógeno, hasta resultar complejo con energía de origen fósil. A pesar de esto los vehículos eléctricos resultan notablemente menos contaminantes que los que utilizan combustibles fósiles.

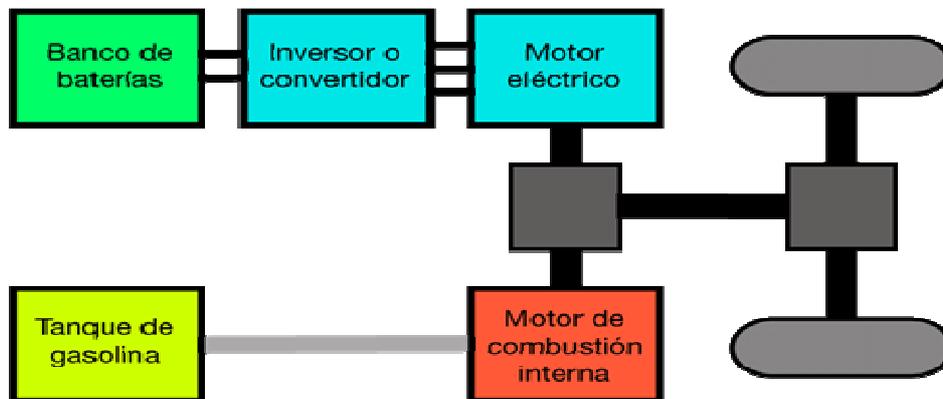
Vehículos con sistemas híbridos.

Un vehículo híbrido tiene dos motores, uno de combustión interna y el otro eléctrico, el objetivo es gestionar de forma eficiente un conjunto formado por un motor térmico, un generador eléctrico, un conjunto de baterías y un motor eléctrico. Constituyen según Anderson Curtis, el broche tecnológico de una centuria de tecnología vehicular.

Existe híbridos serie, en los que los motores están en serie entre sí:



Pero en general su configuración es en paralelo, estando ambos motores acoplados a la caja de transmisión:



La tracción es realizada por uno o los dos motores simultáneamente según los requerimientos. El motor térmico se detiene en las paradas mientras que el eléctrico lo ayuda en los arranques, el generador aprovecha la energía de frenado y recarga las baterías. De esta forma es posible optimizar el consumo y por lo tanto reducir las emisiones. Se encuentran hoy en el mercado varios modelos de distintas marcas, aún con un costo alto. Toyota fue la primera en producir un modelo en serie, el Prius en 1998 al que siguió Honda con el Insight en 1999.

Los híbridos varían mucho en tecnologías y eficiencia pero pueden agruparse de la siguiente manera:⁴³

Híbrido Stop-start el motor eléctrico no tracciona nunca al vehículo, su única función es arrancar el motor de combustión luego de cada detención en la que el motor térmico se detiene. Produce un ahorro de un 10% en combustible y son los híbridos de menor costo.

Híbridos ligeros el motor eléctrico proporciona potencia adicional al motor térmico en aceleraciones y pendientes siendo el térmico el que tracciona permanentemente, tienen la función Stop-start y freno regenerativo con el que la energía de frenado se transforma en electricidad para cargar las baterías. Honda usa esta tecnología IMA (Integrated Motor Assist) en los modelos Civic, Insight y Accord.

Híbridos puros estos vehículos cuentan con un sofisticado sistema de control que permanentemente selecciona cual motor tracciona, o si lo hacen los dos a la vez, de esta forma se consigue que el motor térmico opere el mayor tiempo posible en su régimen de mayor rendimiento, tiene también la función de recarga de batería. Esta tecnología es usada bajo el nombre de Hybryd Synergy Drive en los Toyota Prius, Toyota Auris HSD, Highlander Hybrid, Camry Hybrid, Lexus RX 400h, Lexus GS 450h y Lexus LS 600h/LS 600hL, Nissan Altima Hybrid .

⁴³ **Anderson, Curtis D. ; Anderson, Judy** . Electric And Hybrid Cars. Mcfarland & Co Inc Pub. 2005

Los híbridos utilizan una caja automática para optimizar aún más su desempeño y no se recargan de la red de electricidad pues esto requeriría baterías de mayor tamaño y peso. En el futuro los sistemas híbridos seguramente serán plug-in y permitirán cargar sus baterías desde la red logrando aumentar el uso del motor eléctrico.

Presentan una notable disminución de CO, HC y NOx lo que los hace especialmente adecuados para uso urbano.

En Junio de 2009 se iniciaron las pruebas en la ciudad de Buenos Aires de un colectivo híbrido diesel-eléctrico desarrollado íntegramente en nuestro país, el prototipo fue desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental porteña junto a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, la Cámara Empresaria de Autotransporte de pasajeros y la Empresa TAT S.A.⁴⁴

El bus híbrido presenta las siguientes ventajas:

Porcentaje de emisiones del híbrido respecto del diesel:

- Material Particulado (Humo negro) 75% menos
- Óxidos de Nitrógeno e Hidrocarburos no metánicos 43% menos
- Monóxido de Carbono 55% menos
- Gases de Efecto Invernadero 30 – 40% menos
- Consumo de Combustible 30 – 40% menos

En la ciudad de Nueva York circulan 825 unidades híbridas, Estocolmo, Madrid, Tokio y París cuentan ya con buses híbridos.

Finalmente veremos la comparación de la intensidad de carbono de los distintos sistemas propuestos.

⁴⁴ **Revista Ambiente**, Centro Argentino de Ingenieros Junio 2009

Vemos en el cuadro siguiente una comparativa de la intensidad de carbono de los distintos combustibles, realizada por la Agencia Ambiental de California.

Valores de Intensidad de Carbono de combustibles estandar y alternativos

Proposed Regulation to Implement the Low Carbon Fuel Standard

California Environmental Protection Agency

Release Date: March 5, 2009

Combustible	Descripción de su composición y origen	Intensidad de carbono gCO ₂ /MJ		
		Emisiones Directas	Uso suelo y otros	Total
Naftas	CARBOB- considerado el crudo promedio de California y la eficiencia promedio de las refinerías de California	95,86	0	95,86
	CaRFG-CARBOB reformulada con 10% de Etanol con un aporte en peso de 3,5% de Oxígeno Etanol de maíz	96,09		96,09
	CaRFG-CARBOB reformulada con 20% de Etanol con un aporte en peso de 3,5% de Oxígeno cada 10% de Etanol de maíz	95,85		95,85
Gasoil	ULSD- basado en un promedio del crudo producido en California y considerando una eficiencia promedio de las refinerías de California.	94,71	0	94,71
Etanol de maíz	Promedio del maiz producido en el medio oeste 80 % molienda en seco 20% molienda en húmedo	69,40	30	99,40
Etanol caña de azucar	Origen Brasil con un promedio de los procesos productivos	27,40	46	73,40
Gas Natural	Gas Natural del norte de los EEUU transportado por gasoductos y comprimido en California	68,00	0	68,00
	Comprimido Metano obtenido de Biogas comprimido en California	11,26	0	11,26
Electricidad	Promedio de producción eléctrica de California	124,10	0	124,10
	Mix de energía producida por gas natural y fuentes renovables	104,70	0	104,70
Hidrógeno	Comprimido, obtenido a partir de gas natural (incluye liquefacción y regasificación)	142,00	0	142,00
	Líquido obtenido a partir de gas natural	133,00	0	133,00
	Comprimido, obtenido a partir de gas natural (sin incluir liquefacción y regasificación)	98,80	0	98,80
	Comprimido en el sitio de obtención	98,30	0	98,30
	Comprimido en el sitio de obtención. Obtenido a partir de materia prima renovable	76,10	0	76,10

Como puede apreciarse el gas, cuando es producido a partir de biogas, constituye el combustible con menor intensidad de carbono en todo su ciclo.

CAPITULO 4 EL GAS NATURAL COMPRIMIDO

4.1 ANTECEDENTES

Como ya se explicó, el gas fue el primer combustible utilizado para motores de ciclo Otto. Desde su comienzo las distintas tecnologías fueron desarrollándose básicamente sobre la forma de ingresar y controlar el gas en el motor.

La etapa que nos interesa involucra la utilización del gas de redes o gas natural. Esto se hizo posible a partir de la aplicación de las técnicas de compresión del gas, dado que solo así resultaba posible lograr una autonomía razonable para los vehículos⁴⁵.

■ 1910's : Low-pressure bag carried on a trailer (USA)



■ 1930's Wood-Gas (Germany)



⁴⁵ Phip Murray, *The NGV Story*, Publisher: National Gallery of Victoria, Melbourne. ISBN: 9780724103393 , Mayo 2011

El gas natural permanece, a temperatura ambiente, en fase gaseosa aún a altas presiones, para su almacenamiento fue necesario también el uso de tanques que soportaran estas presiones. Finalmente los sistemas de utilización pública adoptaron presiones de compresión y almacenamiento del orden de los 200 bar (204 Kgr/cm²). Esto significa comprimir unas 200 veces el volumen del gas para almacenarlo.



Para poder ingresar el gas al motor se necesitará reducir su presión y controlar la dosificación. La reducción de presión ha sido más o menos común en todas las tecnologías, un reductor mecánico controlado por un diafragma que actúa contra un resorte calibrado, varía un área de pasaje del fluido, produciéndose allí, al pasar el gas una pérdida de carga (caída de presión) en una transformación politrópica de característica endotérmica. Esta reducción de presión se

realiza, según los niveles de trabajo que se requiera, en dos o tres etapas consecutivas.

La reducción de presión conlleva una absorción de calor, el calor necesario es aportado por el sistema de refrigeración del motor mediante la circulación del líquido refrigerante del motor a través del regulador de presión. Volveremos sobre este calentamiento mas adelante.

El GNC se ha generalizado como combustible vehicular en los últimos años y actualmente se cuenta con un parque automotor a gas muy numerosos, Pakistan 2.700.000, Iran 1.950.000, Brasil 1.700.000, India 1.000.000, Latino América 4.200.000 ⁴⁶.

Las aplicaciones de este combustible están ampliando actualmente su alcance en el mundo y se enfocan en el transporte pesado, de cargas y pasajeros.



⁴⁶ **International Association for Natural Gas Vehicles.** <http://www.iangv.org/tools-resources/statistics.html>. Retrieved 2011-08-02



Flota de 675 camiones recolectores de residuos. Madrid

“Su utilización debería generalizarse a todo el transporte pesado de Europa” Ing. Manuel Lage Marco PhD Premio Nicolas Cugnot Award 2009.

Se busca sustituir el uso del diesel para disminuir las emisiones en centros urbanos, especialmente de material particulado⁴⁷.

Francia, Italia, España y EEUU cuentan con una amplia experiencia en buses a gas que demuestra los beneficios de su uso⁴⁸.

El gas natural es reconocido mundialmente como un combustible limpio⁴⁹.

⁴⁷ **Masami Kojima.** Breathing clean: considering the switch to natural gas buses. World Bank Publications, 2001

⁴⁸ **Strategies for Low-Emission Vehicles.** OECD, OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. OECD Publishing, 2004

⁴⁹ **Clean Alternative Fuels: Compressed Natural Gas** EPA420-F-00-033 Marzo 2002

4.2 TECNOLOGIAS EN EL MUNDO

Con respecto a las clasificaciones de las tecnologías que se utilizan en GNC, existe una clasificación internacional sostenida por la Asociación del Gas Vehicular Europea (ENGVA) que divide las tecnologías en generaciones.

Four generations of CNG equipment Comparable to LPG

- **1st generation**
 - Carburetor vehicles without catalytic convertor
- **2nd generation**
 - Closed-loop carburetor and TBI / SPI engines (Euro 1 / 2)
- **3rd generation**
 - Closed-loop MPI engines (Euro 2 / 3)
- **4th generation**
 - Closed-loop and lean-burn sequential engines (Euro 3 / 4)

TBI = Throttle Body Injection

SPI = Single Port Injection

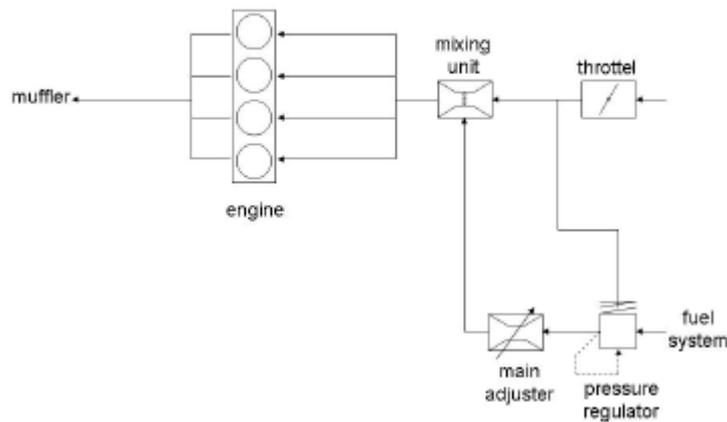
MPI = Multi Port Injection



La 1^a Generación involucra los vehículos con carburador sin convertidor catalítico.

En estos equipos, el gas luego de reducir su presión en el regulador, es inyectado sobre la entrada de aire al motor mediante un inyector biselado o un mezclador que, mediante un Venturi genera una depresión proporcional al aire que ingresa. Esta depresión actúa en el regulador, sobre un lado de un diafragma (del otro lo hace la presión atmosférica), que asociado a una palanca, abre o cierra el paso de gas obteniendo así la dosificación del combustible.

1st Generation



Dipl.-Ing. Dirk Hübner
Trier University of Applied Sciences
Mechanical Engineering
Schneidershof

Como se ve en la figura, un ajuste manual regula el gas.

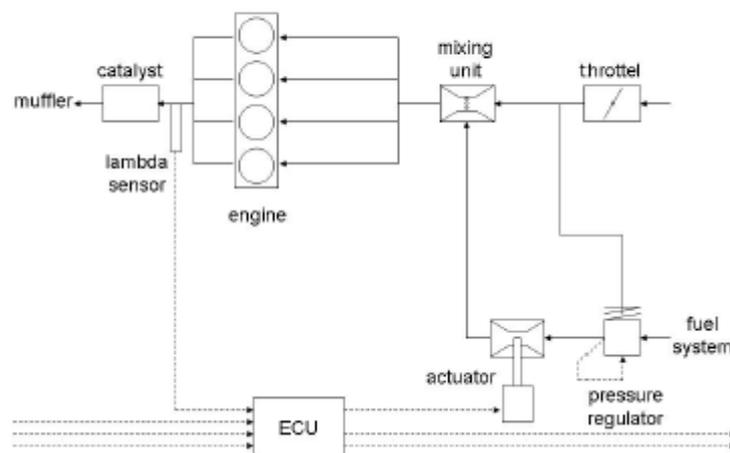
Estos equipos constituyen la gran mayoría de los que están instalados en nuestro país donde se usaron también para motores de inyección electrónica, presentaban una respuesta de marcha buena pero un pobre desempeño ambiental ya que no resulta posible, por funcionar a lazo abierto, mantener la estequiométrica de la mezcla en todos los regímenes de marcha. Su funcionamiento y rendimiento van muy ligados a la aptitud de quien lo calibraba y resultaba fluctuante según diversas condiciones variaran; presión atmosférica, estado del filtro de aire etc... Estos equipos requerían ajustes periódicos y cuando se instalaban en vehículos de inyección con catalizador, en muchos casos se producían desajustes con la computadora de control de inyección generando anomalías.

Los de 2^{da} Generación sumaban al equipo anterior un lazo cerrado que controlaba la regulación de gas de forma permanente mediante

un control paso a paso, en función de la riqueza o pobreza de la mezcla, medida ésta a través de la sonda de oxígeno original del vehículo. Se aplicaban a vehículos con inyección electrónica mono y multipunto. Aquí las condiciones de la mezcla resultaban más homogéneas en los distintos regímenes de marcha mejorando las prestaciones y reduciendo las emisiones. Pero seguían presentando las fluctuaciones de los de 1ª generación.

Ambas generaciones presentaban además la condición de tener el múltiple de admisión cargado siempre con mezcla explosiva a diferencia de la marcha en nafta, donde solo hay aire dentro del múltiple de admisión. Esto generaba la posibilidad de fuertes contra explosiones ante un retroceso de chispa.

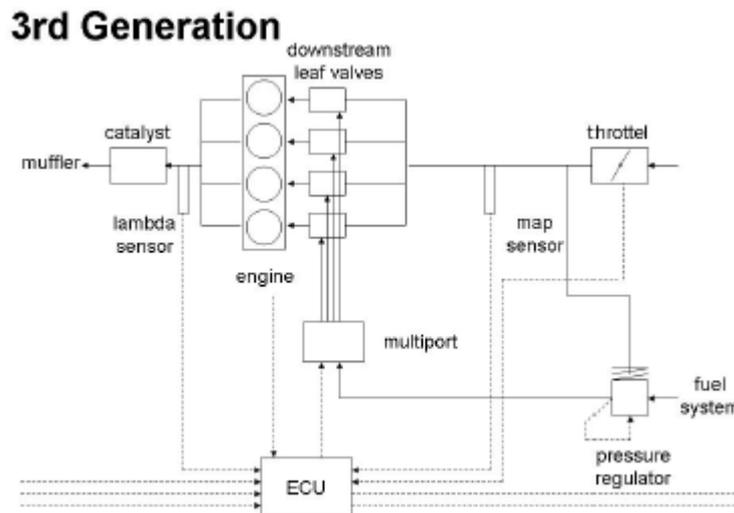
2nd Generation



Dipl.-Ing. Dirk Hübner
Trier University of Applied Sciences
Mechanical Engineering
Schneidershof

A partir de los equipos de 3ª generación la inyección de gas deja de efectuarse en la entrada de aire, para pasar a realizarse junto a la válvula de aspiración de cada cilindro. Los reguladores pasan a

trabajar con presiones de salida superiores a la atmosférica y el ingreso de gas no se produce más por aspiración (Venturi) sino por inyección a presión.



Dipl.-Ing. Dirk Hübner
Trier University of Applied Sciences
Mechanical Engineering
Schneidershof

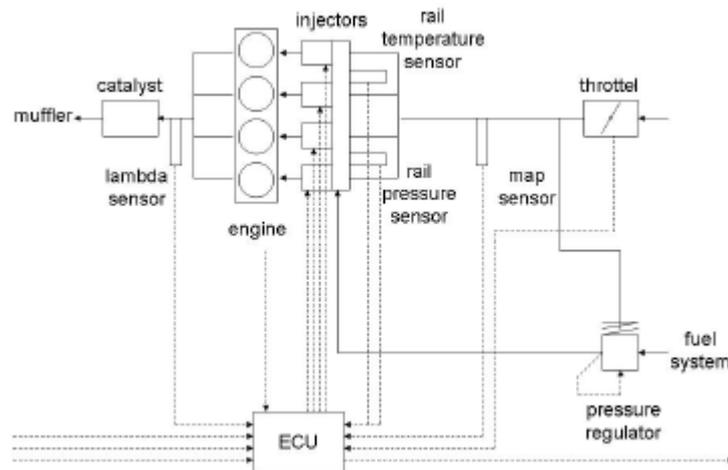
Un sistema multipuerto dosifica aquí, según el requerimiento del motor a través de su ECU (Unidad de Control Electrónica), y por intermedio de válvulas, el gas que ingresa al motor en forma continua y con lazo cerrado.

Este sistema no se ha usado en nuestro país y presenta respecto de los anteriores muchas ventajas y la imposibilidad de que existan contra explosiones. Su desempeño ambiental es notablemente superior, con mejor respuesta dinámica que los de 2^{da} generación.

Por último los sistemas de 4^{ta} generación que tienen con los de tercera una diferencia característica, son secuenciales, o sea aquí estamos con presión de regulador superior a la atmosférica (positiva), inyección del gas por medio de inyectores que, en la secuencia

correcta correspondiente al llenado del cilindro (carrera de aspiración), inyectan el gas solamente al cilindro que está en esa condición, bajo el comando de la ECU y con lazo cerrado.

4th Generation



Dipl.-Ing. Dirk Hübner
Trier University of Applied Sciences
Mechanical Engineering
Schneidershof

Esta última generación presenta sobre las anteriores importantes ventajas. Resulta el funcionamiento no fluctuante ya que todos los cambios en las variables como presión atmosférica, estado de filtros, temperatura del aire etc., son permanentemente tenidos en cuenta por la ECU tanto para marchar en nafta como a gas. La regulación no se hace necesaria ya que la dosificación es controlada por la ECU del vehículo en base a los requerimientos de carga del motor, la estequiometría correcta y a las correcciones que introduce el lazo cerrado por intervención de la sonda de oxígeno.

La inyección de gas secuencial, presenta un notable desempeño en la reducción de las emisiones y una respuesta de marcha dinámica en gas muy superior a las otras tecnologías.

Aquí es importante mencionar que todo este avance tecnológico ha tenido que ver con la necesidad de alcanzar los límites de emisión que las distintas normas EURO han ido aplicando, exigiendo niveles de contaminantes cada vez menores.

4.3 EL GNC EN NUESTRO PAIS

En Argentina el uso del Gas Natural Comprimido en automotores se inicia en 1984 con el Plan Nacional de Sustitución de Combustibles Líquidos, este proyecto movilizó por el entonces Ministro de Obras y Servicios Públicos, Conrado Storani, fue desarrollado por técnicos de YPF y de Gas del Estado. Se asignó a Gas del Estado la generación de la normativa y el contralor del sistema. Se tomó como referente tecnológico a Italia por su amplia experiencia en el tema.

Desde entonces la industria nacional ha sido capaz, con transferencia de tecnología de por medio, de abordar la fabricación de equipos, cilindros de almacenamiento y compresores para estaciones de carga y de liderar mundialmente la exportación de insumos para el GNC. Si bien han existido desarrollos tecnológicos propios, estos han sido pocos y la mayoría de las tecnologías que se aplican son de origen Italiano y Americano. Hoy Argentina cuenta con un parque de 1.900.000 vehículos a GNC ⁵⁰

En nuestro país han existido básicamente tres tecnologías:

⁵⁰ **ENARGAS** Ente Nacional Regulador del Gas Estadísticas Set 2011

- Equipos aspirados.
- Equipos aspirados con control Lambda.
- Equipos de inyección secuencial multipunto.

Los equipos aspirados, como su nombre lo indica dosifican el gas en función de la depresión que se produce en la vena del aire aspirado por el motor, al introducir un inyector biselado o un mezclador. Tanto el inyector como el mezclador, producen una variación forzada de velocidad del aire que ingresa al motor en un punto. Esta variación de velocidad genera una variación de presión que se trasmite a un diafragma, éste, trabajando contra la presión atmosférica se desplaza en función del diferencial de presión. El desplazamiento es convertido por una palanca en apertura de un orificio por el que el gas pasa.

El reductor es el elemento encargado de hacer descender la presión desde los 200 bar (presión máxima de almacenamiento en los tubos) a la presión de inyección al motor, además también se encarga, como se explicó más arriba, de dosificar la cantidad de gas que el motor requiere en función del aire que ingresa.

La reducción de presión en general se obtiene en tres etapas y el regulador es calefaccionado por el líquido refrigerante del motor para suministrar el calor requerido por la transformación poli trópica que se lleva a cabo al reducir la presión.

El diseño del regulador y del mezclador se realiza teniendo en cuenta la estequiometría de la mezcla deseada, 17: 1 grs/grs, pero resulta su

desempeño muy limitado dados los distintos regímenes de marcha a los que el motor se desenvuelve.

En estos equipos aspirados, el caudal máximo es determinado por una restricción regulable de sección que se coloca, antes del mezclador sobre la manguera de salida de gas del reductor.

Estos sistemas si bien han sido de uso generalizado por lo económico que resulta el gas en comparación con la nafta, han presentado un desempeño con algunos inconvenientes que conspiraron con la generalización de su uso.

Las fallas en los vehículos a gas se deben principalmente a que los equipos convencionales o aspirados presentan muchas variables de difícil control para sus posibilidades técnicas y que son capaces de alterar el funcionamiento del vehículo entre otras:

La presión atmosférica.

Los reguladores de gas, encargados de dosificar el gas al motor, lo hacen a través del desplazamiento de un diafragma de goma el que, por presión diferencial produce un desplazamiento proporcional a este diferencial que abre en un paso de gas. Este diafragma tiene en una de sus caras la presión del múltiple de admisión que depende del estado de carga del motor y en la otra cara la presión atmosférica. Cualquier cambio en la presión atmosférica variará la fuerza sobre el diafragma y el desplazamiento de éste y con ello, variará la respuesta del motor.

El estado del filtro de aire

Por la misma razón explicada, ahora sobre la otra cara del diafragma y para un mismo estado de carga del motor, la presión será distinta para los distintos estados del filtro de aire. A medida que transcurre el uso, el filtro va reduciendo el caudal de paso de aire y el regulador va variando su funcionamiento.

Estequiometría de la mezcla

La estequiometría de la mezcla está determinada en los equipos convencionales por su regulación, y fundamentalmente por el dispositivo mezclador. El mezclador combina el gas con el aire en la admisión, antes de la caja mariposa. El diseño de este elemento es de suma importancia a fin de garantizar la estequiometría de la mezcla, recordemos que la correcta relación aire combustible produce emisiones mínimas. La variabilidad del régimen de marcha hace que la estequiometría no pueda mantenerse, resultando entonces que el motor se encuentra siempre en situación de mezcla rica o pobre según fue regulado.

Regulación del equipo

La regulación del funcionamiento de un equipo de GNC depende de la capacidad del mecánico que la efectúa. Mezclas pobres de gas, por incorrecta regulación, incorrecto mezclador o para tratar de economizar, no son detectadas fácilmente entre otras razones porque el pistoneo del motor no se presenta en gas dado su alto nivel de octanos. Las mezclas pobres producen elevación de temperatura en los gases de escape que deterioran las válvulas de escape y

destruyen los catalizadores aumentando las emisiones de NOx, pueden incluso producir un daño serio al motor.

Estado del sistema de encendido

La combustión del gas requiere de mayor energía de encendido respecto de las naftas por lo que, un déficit en la calidad del encendido que no produce síntomas en el funcionamiento en nafta, si dará una falla notable en gas. Dado que el gas ingresa al flujo de aire antes de la caja mariposa, resulta que todo el múltiple de admisión contiene mezcla explosiva por lo que, una falla de encendido que produzca una detonación a destiempo puede terminar en una contra explosión con severos daños para el múltiple y la caja filtro.

ECU (Unidad de Control Electrónico)

En los motores de inyección electrónica, desarrollados a partir de la necesidad de reducir los niveles de emisión de los motores, una computadora (ECU) es la encargada, por medio de un software cartográfico y de las informaciones de varios sensores, de comandar la dosificación de combustible y otros parámetros, a fin de optimizar el rendimiento y reducir las emisiones. El control de emisiones surge de un lazo de retroalimentación negativo que permite, según una medición permanente del oxígeno presente en los gases de escape (sonda lambda o sensor de oxígeno), ajustar la inyección de nafta. Se busca así que los gases de escape, sean mantenidos en un orden de magnitud admisible. También para que el catalizador pueda llevar a cabo su función en forma eficiente (completar los procesos de

oxidación y reducción) y para que la mezcla se mantenga estequiométrica.

Cuando un auto de esta tecnología se convierte a gas con los reguladores tradicionales, el lazo cerrado de control deja de usarse dado que la dosificación de combustible solo depende del flujo de aire de la admisión.

Como primera consecuencia no hay forma de mantener los gases de forma continua, en los parámetros que requiere el catalizador. La sonda de oxígeno de funcionamiento binario, deja entonces de ciclar ya que la mezcla se establece en pobre o en rica según haya sido regulado el equipo. De permanecer en rica la mezcla, producirá gases con alto nivel de hidrocarburos (HC) no quemados, especialmente metano y altos niveles de monóxido de Carbono (CO) mientras que de estabilizarse en pobre producirá una emisión muy alta de óxidos de Nitrógeno (NOx). Este comportamiento de no ciclado de la sonda generará que la ECU intente corregir la mezcla, esto resulta imposible ya que la computadora no está asociada a la dosificación del gas. Surgen entonces en los distintos computadores, en especial en los más modernos que son adaptativos, consecuencias de mal funcionamiento en nafta e incluso el bloqueo del computador por este funcionamiento de la sonda (ECU Sagem 2000). En vehículos con más de una sonda (anterior y posterior al catalizador) resulta aún más complicado mantener un desempeño aceptable con estos equipos.

Como solución se colocan emuladores que simulan señales de ciclado de sonda, estos elementos en algunos vehículos son detectados por

la ECU indicando fallas, ya que, ciertos computadores también chequean la fase de la corrección de la inyección respecto de la fase del ciclado de sonda como así también qué, de existir más de una sonda, éstas también trabajen en fase entre sí.

Los aspirados con control Lambda son equipos a los que se les agrega un sistema de control de la dosificación de gas de lazo cerrado.

La restricción de sección en la manguera de salida del regulador que en los equipos convencionales se realiza por medio de un tornillo, es reemplazado por un pistón accionado por un motor paso a paso. La apertura o cierre del regule se realiza ahora en función de la señal proveniente de la sonda Lambda o sensor de oxígeno, de esta manera cuando se detecte mezcla rica, el regule se cerrará reduciendo la entrada de gas y lo opuesto sucederá si tenemos mezcla pobre en los gases de escape.

Estos sistemas si bien aportan una mejora en lo que respecta al control de la estequiometría, lo hacen en una forma muy parcial ya que el lazo de realimentación resulta muy largo. Recordemos que la efectividad de una realimentación depende del tiempo que transcurre entre la toma de la señal de corrección y la efectivización de la misma. Aquí estamos corrigiendo la mezcla antes de la mariposa del acelerador y tomando señal de corrección a la salida del múltiple de escape. También las velocidades de corrección del motor paso a paso no guarda el orden de magnitud que imponen los tiempos de milisegundos con los que opera el motor en su velocidad de rotación.

Los sistemas de lazo cerrado también requerían una programación a través de una interfase y un software diferente para cada fabricante, por esta razón en muchos vehículos equipados con este sistema se terminaba por reemplazar el regule paso a paso por uno a tornillo regresándose así a la tecnología anterior.

Los equipos de inyección secuencial multipunto, aparecen en los últimos tres años en nuestro país con una tecnología italiana que allá venía aplicándose hace más de diez años.

Estos equipos se caracterizan por introducir el gas al motor sobre la válvula de admisión a través de un inyector controlado electrónicamente. La inyección de gas es habilitada en forma secuencial durante un tiempo similar al de inyección de nafta. Los pulsos de inyección son corregidos por la sonda lambda según sea necesario.

Con esta solución se logra reducir al mínimo el largo del lazo de realimentación entre la sonda y la inyección, también se manejan tiempos de inyección similares a los de nafta y que están acorde a los de giro del motor (tiempos de apertura y cierre de válvulas) y por último se evita que en el múltiple haya mezcla explosiva ya que el gas se incorpora casi sobre la admisión.

En nuestro país las tecnologías descritas han sido nombradas de la siguiente forma;

Equipos aspirados

3^{ra} Generación

Equipos aspirados con control Lambda

4^{ta} Generación

Como puede verse, las denominaciones no concuerdan con las de la Asociación Europea del Gas Vehicular ya que en Europa no existe la 5^{ta} Generación y la inyección secuencial de gas se denomina 4^{ta} Generación. Tampoco está claro en nuestro país, cuales fueron la 1^{ra} y 2^{da} Generación. Para EEUU existen equipos de Lazo abierto, Lazo cerrado y de inyección secuencial.

Más allá de las denominaciones, está claro que la inyección secuencial de gas resulta hoy la tecnología más avanzada en el mundo para el GNC.

4.4 INYECCION SECUENCIAL DE GAS

Al comenzar a pensar en sistemas de inyección aparece el primer desafío técnico; el inyector para gas. El GNC es un gas y como tal las distancias intermoleculares son grandes en comparación a un líquido, esto produce una menor densidad energética lo que ya nos está indicando que un inyector de gas deberá ser de dimensiones mayores que uno de nafta, si pretendemos en los mismos tiempos, inyectar cantidades equivalentes de combustible. Los inyectores de gas son más voluminosos que los de nafta, tienen diámetros de paso y distancia de apertura mayor que estos.

Los inyectores de gas presentan una masa y por tanto una inercia mayor. Para reducir este problema algunos se construyen como flappers o válvulas a clapeta, pero para caudales importantes no son aptos.

Por sus características constructivas, los inyectores de gas presentan velocidades de respuesta menores que los de líquido, estando limitado en general su tiempo mínimo de apertura a unos 2 o 3 mseg.

Cuando definimos los sistemas de inyección mencionamos la inyección semisecuencial, en este sistema, como en la inyección simultánea (full grup), los tiempos de inyección (tiempo que permanece abierto el inyector) son menores a los 2 mseg en ralentí.

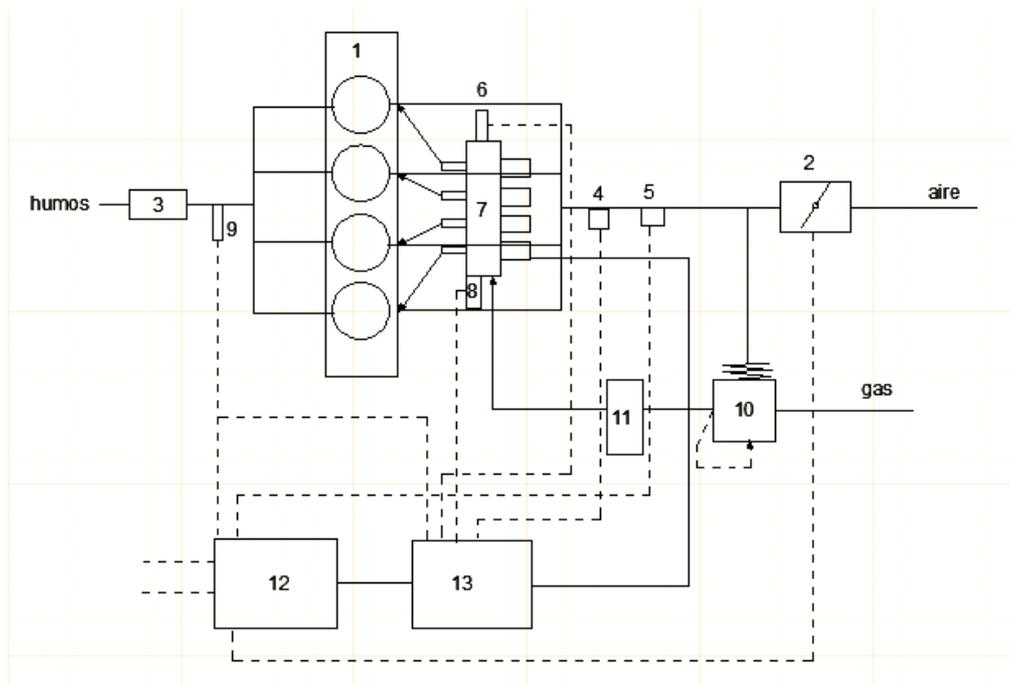
Ambos sistemas de inyección optimizan al mínimo el tiempo de inyección y resultan de mejor rendimiento que el secuencial aunque, de peor desempeño ambiental. Estos tipos de inyección tienen tiempos de apertura de inyector sustancialmente menores al secuencial y en el caso de inyección simultánea la frecuencia de trabajo del inyector se duplica, ya que cada inyector acciona una vez por vuelta del motor. Cuando en Italia se inician los desarrollos de la inyección de gas, los sistemas que los vehículos utilizaban eran de estos dos tipos, semisecuenciales o de inyección simultánea.

Surgió entonces la necesidad de que al funcionar a gas, esos motores lo hicieran en forma secuencial con tiempos de inyección mayores y con mejor desempeño ambiental. Se requería entonces una conversión del sistema semisecuencial o simultáneo original a secuencial. La solución fue agregar una unidad electrónica ECU

capaz de transformar el sistema de inyección, a partir de las señales de inyección de nafta, a secuencial cuando el vehículo funciona a gas. Esta unidad electrónica permite también muchas otras funciones, como variar los tiempos de inyección originales y permitir una programación diferente de este mapeo, para cada motor. La computadora permite también que el sistema, con otra programación funcione con gas licuado GLP.

Los sistemas italianos incluían también un filtro de gas, que resulta muy importante al usar gas licuado.

Estos sistemas requieren también medir temperatura de gas, temperatura del refrigerante del motor, presión del gas y presión en el múltiple de admisión. Los sistemas italianos están formados en general por:



- 1- Motor
- 2- Caja mariposa acelerador

- 3- Catalizador
- 4- Sensor de presión de admisión ECU gas
- 5- Sensor de presión de admisión ECU original
- 6- Sensor de temperatura de gas
- 7- Rampa de inyectores
- 8- Sensor de presión de gas
- 9- Sensor de oxígeno
- 10- Regulador de gas
- 11- Filtro de gas
- 12- ECU original
- 13- ECU gas

Regulador, este dispositivo reduce la presión de 200 bar a aproximadamente 1,8 bar. Se encuentra calefaccionado por líquido refrigerante del circuito refrigerante del motor, con el fin de suministrar el calor que el salto de presión requiere y evitar el congelamiento.

Reduce la presión en dos etapas, la primera, de regulación fija, baja la presión de 200 a 4 bar y la segunda, de regulación variable de 4 a 1,8 bar. Ambas etapas trabajan mediante un diafragma de goma y respectivos resortes antagonicos.



Rampa de inyectores; contiene los inyectores de gas en grupos de 1, 2 o 4 según los cilindros del motor y su ubicación. Cada inyector cuenta con un paso calibrado en su interior que permite regular el caudal de e gas. El inyector funciona como una electroválvula. Mediante una manguera y un pico fijado al múltiple del motor cerca de la admisión, suministran el gas abriendo y cerrando según los pulsos eléctricos de comando que reciben.



Los equipamientos de origen italiano básicamente se adaptan a los distintos motores mediante la variación de los calibres de paso en la rampa de inyectores y con la modificación del mapeo de inyección que su ECU aplica a los valores originales de nafta. Aquí vale recordar que los sistemas Flex Fuel que se aplican al etanol, realizan una tarea

similar, en ese caso debido a la necesidad de corregir la relación de estequiometría siendo que, el caudal y presión del combustible (líquido) es determinado por la bomba e inyectores de nafta originales resultando no variables.

Con relación al desempeño ambiental de las distintas tecnologías mencionadas diremos que los equipos convencionales o de lazo abierto, presentaban la limitación de no poder adaptar la mezcla para mantenerla estequiométrica en todos los regímenes del motor, esto trae como consecuencia que el motor opere en estado de mezcla pobre o de mezcla rica sin posibilidad de cambio. Recordemos que las emisiones resultaban mínimas para $\lambda=1$. Como ventaja, el arranque en frío, esto es, que las ventajas del uso del gas están presentes en frío en razón de que, por estar gasificado el combustible no se requiere enriquecimiento de la mezcla en la fase de motor frío.

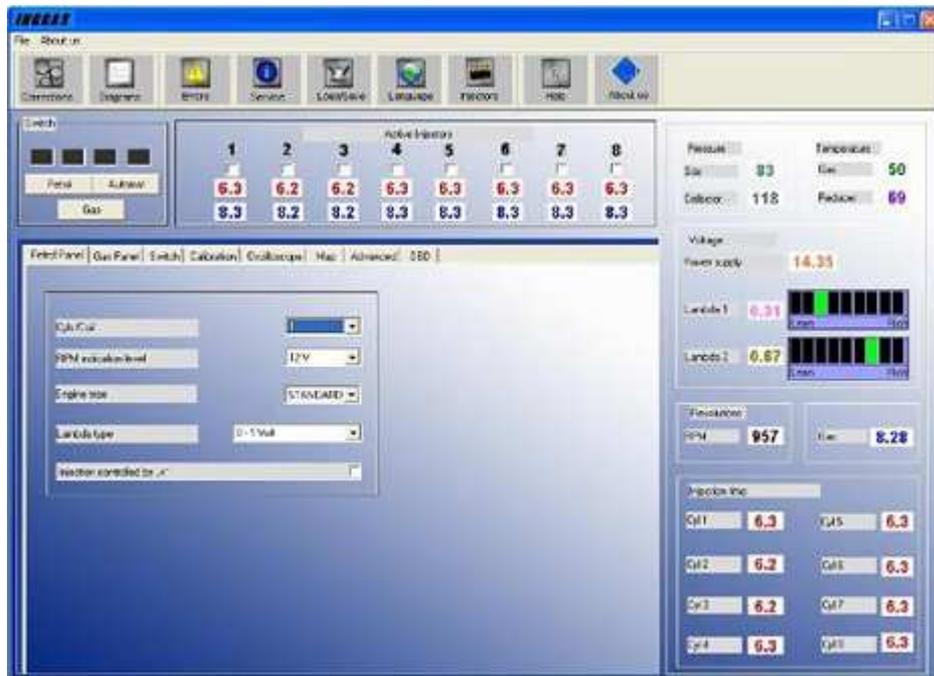
Los sistemas de lazo cerrado aportan una corrección de estequiometría relativa al utilizar la señal del sensor de oxígeno (sonda Lambda) para corregir la mezcla, la corrección resulta relativa pues el aporte de gas al motor se continúa realizando en la vena de aire aspirado muy lejos de las válvulas, los tiempos y distancias son aquí muy importantes. Conserva la ventaja del arranque en frío como los de lazo abierto.

Por último los sistemas de inyección secuencial son los únicos capaces de garantizar la estequiometría de la mezcla en todo régimen pero, presentan como desventaja, que debe cumplirse la fase de motor frío a nafta ya que la ECU enriquece la mezcla, se use nafta o

gas. Este enriquecimiento, innecesario en gas, descompensa la mezcla e impide la marcha en gas en la fase de calentamiento del motor.

Los equipos de inyección secuencial de origen italiano requieren una programación inicial con ajuste de funcionamiento. Esta calibración se realiza mediante un software y una interfase para ese fin, trabajando sobre la programación de la ECU de gas.

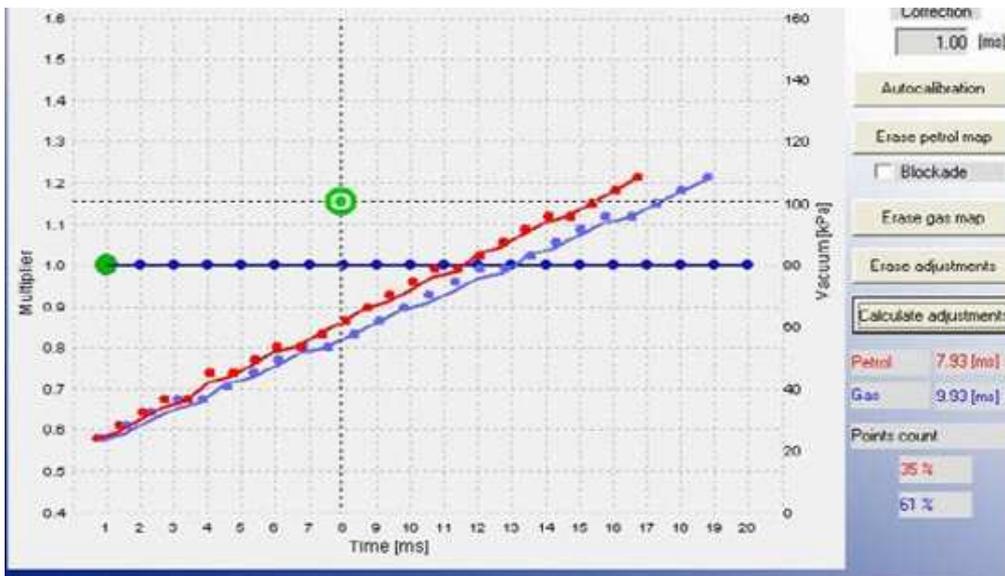
Básicamente hay una etapa primera de definición de parámetros y definición del sistema de inyección y combustible, y una segunda etapa de ajuste de los tiempos de inyección que se realiza con el vehículo circulando en distintas condiciones de marcha.



SOFTWARE PANTALLA DE SETEO

Petrol Panel	Gas Panel	Switch	Calibration	Oscilloscope	Map	Advanced	OBD								
ms\BPM	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500
< 2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6	0%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
7	0%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
8	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
9	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
10	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%
11	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%
12	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%
13	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%
14	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%
15	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%
16	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%
17	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%
18	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%
19	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	10%
20	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%

PANTALLA DE MAPA DE TIEMPOS



En general estos sistemas funcionan con tiempos de inyección en gas superiores a los de nafta además, en la medida en que la velocidad de

rotación aumenta, crece también la diferencia en el tiempo de inyección de gas respecto del de nafta, esto pone de manifiesto el aumento notable de la pérdida de carga que sufre el gas al incrementarse el caudal.

Ahora bien, puede aumentarse el tiempo de inyección en gas sin variar las condiciones de control sobre la mezcla?.

Cuando un motor gira a 4000 rpm el período de una vuelta del cigüeñal durará:

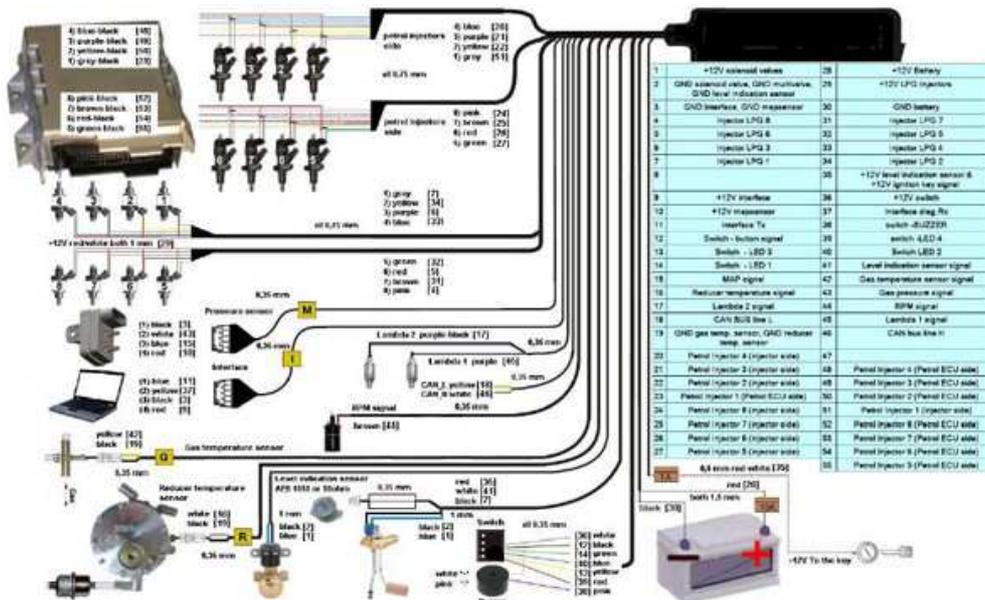
$$T = 1/v$$

T: tiempo en seg.

V: velocidad de rotación en revoluciones por segundo.

$$V = \frac{4000 \text{ rpm}}{60 \text{ seg/m}} = 66 \text{ rps} \rightarrow T = 1/66 = 0,015 \text{ seg} = 15 \text{ mseg}$$

En este tiempo, en la inyección secuencial, deben abrir dos inyectores lo que nos dice que si no consideramos superposición en la apertura de inyectores (situación no deseada), dispondremos de un tiempo de inyección de 7,5 mseg por inyector como máximo. Valores de tiempo mayores significan superposición de los tiempos de apertura de los inyectores y esta situación, nos aleja de la inyección secuencial hacia la simultanea o full grup.



Su conexión resulta bastante complejo y se requiere más tiempo para la instalación que en un equipo convencional.

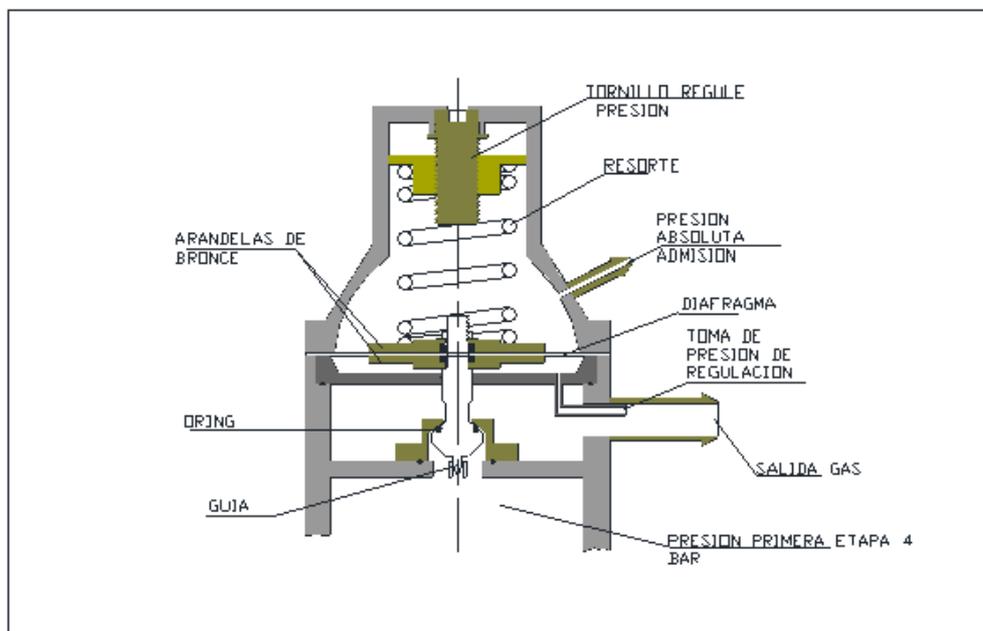
La presión de salida de los reguladores en estos equipos se encuentra entre 1,5 y 2 bar. Los diámetros de calibración en los inyectores están entre 1,5 y 2,75 mm dependiendo de la potencia del motor.

CAPITULO 5 TECNOLOGIA PROPUESTA

5.1 MARCO TEORICO

El problema que se aborda, la inyección de gas a un motor de combustión, resulta complejo, y no es objeto de este trabajo su desarrollo teórico, baste citar que, tratamos con un gas real, a una presión determinada, que circula a velocidad variable, y con características de flujo pulsante.

El regulador se encuentra realimentado mediante la presión de la admisión del motor, que actúa sobre el diafragma de su segunda etapa, en forma antagónica al resorte. Esta realimentación hace variar la presión del regulador disminuyéndola para régimen estable y aumentándola ante las variaciones de presión en la admisión del motor (aceleraciones).



CORTE DE LA SEGUNDA ETAPA DE UN REGULADOR DE GAS

Las modelizaciones existentes para los sistemas de GNC no resultan demasiado completas y contemplan el funcionamiento del regulador sin realimentación^{51 52}.

Dado que, como hipótesis de este trabajo planteamos analizar si resulta posible, con los tiempos de inyección de nafta, comandar la inyección de gas sin alteraciones de funcionamiento, es que, podemos considerar al caudal, como la variable dependiente principal.

En efecto, pensemos que para un régimen de marcha en nafta, en situación de estequiometria, ingresará una cantidad de aire al motor en relación 14,7 a 1 en masa, respecto del combustible. Para obtener igual potencia en gas en forma estequiométrica se requerirá que la relación sea 17 a 1 en masa y además que el poder calorífico de ambas mezclas resulte similar.

Establecida mediante la apertura de la mariposa una determinada cantidad de aire que ingresa, deberemos garantizar un caudal de gas tal que suministre la masa y calorías necesarias en estequiometria, para igualar la potencia. Se trata entonces de obtener el caudal requerido instantáneo para mantener los tiempos de inyección originales para cada estado de carga.

⁵¹ **Dirk Hübner, Harald Ortwig** Linear Modeling, Simulation and Experimental Verification of a Pressure Regulator for CNG Injection Systems. Trier University of Applied Sciences. Department of Mechanical Engineering 2006

⁵² **Iraklis Avramopoulos, Andreas Sprysch, Ulrich Holthaus**, What demands does serial development place on natural-gas vehicles? Examples of solutions and a look at their cost-benefit characteristics, Gasfahrzeuge 2004

Considerando que para un estado de marcha el caudal instantáneo será el mismo desde la salida del regulador hasta el ingreso al motor, resultará de nuestro interés establecer alguna relación entre las variables en un punto del sistema.

Las ecuaciones de aplicación destinadas a relacionar las variables que participan, para flujos de gas a través de tubos con características de laminar, parecen adecuadas al menos para orientar el diseño.⁵³

$$Q = C \frac{T_b}{P_b} D^{2.5} e^{\left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{LGT_a Z_a f} \right)^{0.5}} \quad \text{Hayman, Finch, Ko}^{54\ 55}$$

$$Q = 1350 D^{2.5} \left(\frac{P_1 - P_2}{LG} \right)^{0.5} \quad \text{Dr Poole}$$

$$Q = 433,49 \frac{T_b}{P_b} D^{8/3} e^{\left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - H_c}{LGT_a Z_a} \right)^{0.5394}} \quad \text{Weymouth}$$

$$Q = 0,0045965 \left(\frac{T_b}{P_b} \right)^{1.0789} D^{2.6182} e^{\left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - H_c}{LG^{0.8558} T_a Z_a} \right)^{0.5394}} \quad \text{Pandhandle "A"}$$

$$Q = 0,0012753 \frac{T_b}{P_b} \frac{D^{8/3}}{g^{4/9} \mu^{1/9}} e^{\left(\frac{P_1^2 - P_2^2 - H_c}{LT_a Z_a} \right)^{5/9}} \quad \text{Institute of Gas Technology IGT}$$

⁵³ **Anon.** Flow of Fluid Through Valves, fittings and Pipes. Crane Company, Engineering Division 1976

⁵⁴ **Hayman S I, Stoner M A, Karnitz M A** Gas Flow Formulas- An Evaluation. Pipeline and Gas Journal, Diciembre 1975

⁵⁵ **Finch JC, Ko D W,** Tutorial-Fluid Flow Formulas PSIG Conference Proceedings. 1988

D	Diámetro
e	Eficiencia del ducto
f	Factor de fricción Darcy-Weisbach
G,g	Gravedad específica del gas
Hc	Corrección de elevación
L	Longitud del tubo
P _b	Presión base
P ₁	Presión de entrada
P ₂	Presión de salida
Q	Caudal
T _a	Temperatura promedio
T _b	Temperatura de base
Z _a	Factor de compresibilidad
Z ₁	Factor de compresibilidad en las condiciones de entrada
Z ₂	Factor de compresibilidad en las condiciones de salida
μ	Viscosidad del gas

De todas las expresiones anteriores pueden extraerse algunas conclusiones comunes que serán de utilidad.

El caudal resulta proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de presión del sistema o a la raíz de la diferencia de cuadrados. Para nuestro caso consideramos como presión de entrada, a la que entrega el regulador y como presión de salida a la del múltiple de admisión. Luego, cuanto mayor sea la presión del gas en la salida del regulador mayor será el caudal.

El caudal es también proporcional al diámetro de paso, elevado a la 2,5 como mínimo. El menor diámetro o la menor sección de paso que el gas atraviese, será entonces el determinante del caudal.

Por último el caudal resulta inversamente proporcional a la temperatura del gas y a la longitud total del recorrido.

En los motores que usan combustible líquido, tanto nafta como etanol y sus combinaciones, aparecen características muy distintas a las que se dan con gas natural, la presión del sistema de inyección está

determinada por la bomba de combustible que abastece el sistema con alta presión, facilitando en los inyectores, por la pulverización, la vaporización del combustible líquido.

La sección limitante del caudal es fija y está determinada por la sección efectiva de paso de los inyectores.

De todo el caudal que circula por el sistema de alimentación de combustible solo una parte es inyectada al motor, retornando el excedente al tanque principal por un retorno al final del common rail.

Por otra parte el calor que se genera en los inyectores por su propio trabajo, es transferido al combustible refrigerándolos, y es aprovechado para ayudar a la vaporización.

Finalmente con combustible líquido, establecida una cantidad de aire que ingresa al motor, necesaria para una potencia determinada, no existe otra forma de variar la relación aire/combustible que variar el tiempo de inyección.

En los sistemas de inyección secuencial de gas la presión del gas puede variarse desde el regulador y también varía como consecuencia de la realimentación de la presión de admisión sobre la segunda etapa del regulador.

No existe retorno del combustible dado que éste ha disminuido su presión, lo que imposibilita su retorno al tanque, entonces resulta que todo el combustible que sale del regulador ingresa al motor.

La sección de paso más reducida se encuentra en los inyectores (paso calibrado) y puede ser variada en la instalación adaptándola a la potencia requerida.

El calor excedente del sistema, tanto el introducido por la circulación del refrigerante en el regulador (calefacción), como el generado en los inyectores, es transmitido al gas, que no lo requiere para vaporizarse, por estar en fase gaseosa, el resultando de esto es un aumento de la temperatura media del gas y por ende va en detrimento del caudal y produce una reducción de la energía específica del gas.

En el caso del gas, establecida una cantidad de aire necesaria en estequiometria para producir una potencia determinada, debe resultar posible, ajustando presión y diámetro de paso, obtener un caudal de gas cuya masa sea la necesaria en estequiometria, manteniendo un tiempo de inyección similar al de nafta.

Si es posible adoptar esta condición de diseño, solo queda analizar si su aplicación puede extenderse para todos los estados de carga, que el mapeo original de nafta contempla. Esto es, si los tiempos de inyección originales permiten una buena marcha del motor a gas en todo régimen, manteniendo la estequiometria y en ese caso veremos como resulta el desempeño ambiental.

En la hipótesis que se plantea no se requiere efectuar procesamiento alguno sobre los tiempos de inyección originales lo que permite no utilizar la ECU de gas ni sus sensores y dispositivos asociados.

El caudal de combustible requerido por el motor aumenta con la carga con una ley no lineal, además también aumenta con la velocidad del vehículo por efecto de la fricción con el aire y también lo hace en forma no lineal. Cuando utilizamos combustibles líquidos, todas estas variaciones de caudal resultan abastecidas dado que la presión de la

bomba es alta y como explicamos, solo una pequeña porción del combustible ingresa al motor.

En gas, al existir una mayor demanda de combustible por aumento de la carga o de la velocidad, se producirán en el trayecto entre el regulador y la admisión del motor, pérdidas de carga generadas por el aumento en la velocidad del gas, estas variarán notablemente en función del caudal⁵⁶. Este es el motivo por el cual en el equipo desarrollado se evita toda restricción entre el regulador y la rampa de inyectores (filtros y válvulas) y se trata de reducir la longitud de este trayecto al mínimo. Toda caída de presión que se produzca después del regulador no podrá ser compensada.

Aquí cabe aclarar que se entiende que el filtro que introducen los sistemas italianos puede no utilizarse en GNC en razón de entender que el filtrado en compresores y surtidores de las estaciones de carga es lo suficientemente eficiente como para que eventuales partículas puedan ingresar con el gas comprimido. Solo puede encontrarse en el GNC vapores de aceite provenientes del sistema de lubricación de los compresores.

⁵⁶ **Jeffrey B. Gotthelf** Engineering Manager ITT Conoflow / ITT Industries CNG
Regulator / Fuel System Interactions

5.2 RELACIONES USADAS PARA EL DISEÑO

Composición del gas:

**PROPIEDADES Y COMPOSICION DEL GAS NATURAL EN LA PLATA
OCTUBRE 2011 - VALORES PROMEDIO
Fuente Camuzzi Gas Pampeana SA**

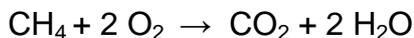
Poder calorífico superior [Kcal]	PCS	8.967
Densidad relativa al aire		0,576
Indice de Wobbe		11.810
Metano %	C1	95,873
Etano %	C2	1,811
Propano %	C3	0,098
Iso butano %	IC4	0,005
Normal butano %	NC4	0,005
Iso pentano %	IC5	0,001
Normal pentano %	NC5	0,000
Hexano y otros	C6+	0,001
Nitrogeno %	N2	1,738
Dioxido de carbono	CO2	0,468

Considerando una densidad para el aire de $1,2 \text{ Kg/m}^3$ a 20°C .⁵⁷

tendremos para el gas, una densidad absoluta:

$$\delta = 0,576 \times 1,2 [\text{Kg/m}^3] = 0,6912 [\text{Kg/m}^3]$$

Relación estequiométrica en gas:



Masas atómicas C= 12 g; H= 1g ; O= 16g

1 mol de CH_4 tiene una masa atómica de 16 g

1 mol de O_2 tiene una masa atómica de 32 g

Aplicando el principio de Lavoisiere

⁵⁷ A. Picard, R S Davis, M Gläser and K. Fujii, "Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007)", Metrologia 45 (2008)

$$16 + (2 \times 32) = 44 + (2 \times 18)$$

1 mol de CH₄ reacciona completamente con 2 moles de O₂

Esto significa que 16g de CH₄ requieren 2 x 32 = 64 g de O₂

luego 1 g de CH₄ requerirá 64/16 osea 4g de O₂.

Dado que el O₂ está presente en una proporción de 23,3 grs, cada 100 grs, de aire. Para obtener 4 grs de O₂ se requerirán:

$$(4 \times 100)/23,3 = 17,167 \text{ grs de aire}$$

La relación estequiométrica aire/combustible para el gas será aproximadamente 17grs : 1 gr.

Poder calorífico de la nafta y del GNC :

Para comparar estos combustibles debemos considerar el poder calorífico inferior de ambos en razón que será el que realmente suministre la energía al motor.

El poder calorífico superior se define suponiendo que todos los elementos de la combustión (combustible y aire) son tomados a 0°C y los productos (gases de combustión) son llevados también a 0°C después de la combustión, por lo que el vapor de agua se encontrará totalmente condensado.⁵⁸

Compararemos el poder calorífico de un litro de nafta con el de un metro cúbico de gas.

Poder Calorifico de la nafta = 10.500 Kcal/Kg

δ= 0,74 Kgr/lit → Poder Calorifico de la nafta = 7.770 Kcal/lit

⁵⁸ **ING. JORGE FELIX FERNANDEZ** CAPITULO Nº 1 PODER CALORIFICO
Cátedra Máquinas Térmicas UTN Fac. Reg. Mendoza

Poder Calorífico del gas = 8.430 Kcal/m³

$$\frac{8.430}{7.770} = 1,085$$

La relación de calorías indica que 1,085 lts. de nafta equivalen aproximadamente a 1 m³ de gas natural.

Funcionando el motor en iguales condiciones de carga y en estequiometría para ambos casos, un vehículo recorrerá igual kilometraje con estas cantidades de combustible. Consideramos igual rendimiento del motor para nafta y gas.

Este valor resulta menor al que indican algunos fabricantes de equipamiento para GNC, esto puede deberse a que consideran para la comparación el poder calorífico superior del gas que es mayor. Esta consideración no resulta correcta dado que para comparar combustibles debe utilizarse siempre el poder calorífico inferior.

Emisiones de CO₂

Será esperable al funcionar a gas, una reducción del CO₂ emitido. Esto básicamente se debe a que el gas natural presenta la menor relación de átomos de carbono respecto a los de hidrógeno entre todos los hidrocarburos.

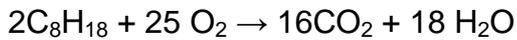
Se considera internacionalmente que la masa de las emisiones de CO₂ con relación al combustible quemado en los vehículos es de⁵⁹⁻⁶⁰:

⁵⁹ **Oficina del Cambio climático. Generalitat de Catalunya.** Según Anexo 8 de los Inventarios de GEI (2010)

Motores a nafta: 2,38 Kg CO₂/lt

Motores GNC: 2,71 Kg CO₂/Kg. → 2 Kg de CO₂/m³ (δ=0,74 Kg/m³)

En efecto para el octano:



Según los pesos atómicos de estas moléculas:

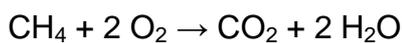
0,228 Kgrs. de C₈H₁₈ producen 0,704 Kgrs. de CO₂

Luego 1 Kgr. de C₈H₁₈ produce 3,0877 Kgrs. De CO₂

Dado que 1 lt de Octano son 0,740 Kgrs (δ= 0,74)

1 lt. De Octano produce 2,28 Kgrs. De CO₂

Para el gas



Según los pesos atómicos de estas moléculas:

0,016 Kgr. de CH₄ producen 0,044 Kgrs. de CO₂

Luego 1 Kgr. de CH₄ produce 2,75 Kgrs. De CO₂

Dado que 1 m³ de Gas pesa 0,69 Kgrs (δ= 0,69)

1m³ de Gas produce 1,89 Kgrs. De CO₂

Aplicando la relación obtenida de 1,085 lts de nafta por m³ de GNC

obtendríamos para la misma energía consumida:

Emisiones para 1,085 lts → 1,085 x 2,28 = 2,47 Kg CO₂

Emisiones para 1 m³ de GNC = 1,89 Kg CO₂

La reducción de emisiones de CO₂ por Km resultará ser:

⁶⁰ **Guía de Vehículos Turismo de venta en España, con indicación de consumos y emisiones de CO₂** Directiva Europea 1999/94/CE Real Decreto 837/2002 anexo.

$$\frac{2,47-1,89}{2,47} \times 100 = 23,48 \% \text{ }^{61}$$

Esto nos está diciendo que un vehículo que consume 8,5 lts. de nafta cada 100 Km, emitirá:

$$8,5 \text{ Lts} \times 2,47 \text{ Kg CO}_2/\text{lt} = 21 \text{ Kg CO}_2 \text{ cada } 100 \text{ Km}$$

Por Km emitirá : 200 gr CO₂ por Km

A gas las emisiones se reducirán un 23,48 %

Entonces en teoría y para una combustión perfecta, en gas deberíamos esperar una reducción de las emisiones de CO₂ en unos 47 grs. por Km recorrido.

También es de esperar dada la pequeña cantidad de carbono disponible, una reducción notable en el CO emitido en gas, superior al 66%^{8,62}.

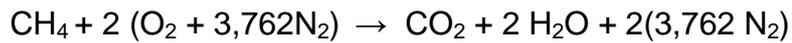
Potencia del motor

El calor generado en la combustión de la mezcla dentro del cilindro, produce una expansión en los gases presentes. La fuerza de expansión de los gases es la mueve el pistón. Este concepto se conoce como *Presión Media Efectiva*. Cuanto mayor sea la cantidad de combustible quemado, mayor será la fuerza disponible para empujar los pistones.

Con el fin de definir la relación aire/combustible recordemos que:

⁶¹ **EPA** Transportation and Air Quality Transportation and Regional Programs Division EPA420-F-00-033 Marzo 2002

⁶² **IM Gustavo Adolfo Patiño Jaramillo**. Estudio de los factores que inciden en el desempeño de motores de encendido provocado convertidos a gas natural. Departamento de Mecánica Universidad de Antioquía. 2003



Como se puede apreciar el volumen de combustible relativo al volumen de la mezcla es de 9,5%. Esto implica que afectamos por el volumen de metano, el volumen de aire que ingresa al motor reduciendo así la capacidad de llenado o el rendimiento volumétrico⁶³. Esta reducción de potencia resulta aún mayor en los equipos convencionales y de lazo cerrado, los que imponen otra limitación al llenado tanto en nafta como a gas, el mezclador, donde se combinan el aire y el gas, interpuesto en la vena de aire aspirado.

También debemos tener en cuenta que en nafta el combustible pulverizado por el inyector absorbe calor de vaporización refrigerando el aire que ingresa, lo que aumenta su densidad, favoreciendo el llenado. La temperatura con la que el gas ingresa (calor absorbido por la calefacción del regulador y por los inyectores) produce el efecto contrario, reduciendo el rendimiento volumétrico. Aquí es importante citar que el Departamento de Energía de EEUU ha financiado un estudio tendiente a aplicar un intercambiador de calor, con el fin de reducir la temperatura del gas que se inyecta al motor, aprovechando el enfriamiento generado en el regulador al reducir la presión.⁶⁴

⁶³ **T. Maxwell and J. Jones.** "Alternative Fuels, Emissions, Economics, and Performance", SAE Int, 1994

⁶⁴ **Yacoub Y, Marbun L, Bata R.,** " A Numerical Investigation of the Cooling Effect of Compressed Natural Gas Throttling on Engine Delivery Ratio", Transaction of the ASME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol 121, January, 1999.

En general resulta esperable una reducción de entre el 15 y 25 % en la potencia del motor convertido a gas⁶⁵.

Encendido

El número de octanos del gas aprox. 120, resulta superior al de la nafta, 95, la velocidad de propagación del frente de llama en la mezcla es más lenta en gas, por lo que resulta necesario avanzar el encendido disparando la ignición en forma anticipada. Este avance adicional también redundará en una reducción de la temperatura de los gases y como consecuencia en la reducción de la formación de NO_x como lo acredita el trabajo de Alberto Beccari⁶⁶.

El alto número de octanos del gas natural permite elevar hasta 15 o más la relación de compresión con el consecuente aumento del rendimiento. Esto solo puede hacerse en los motores dedicados a gas ya que en los duales estas relaciones de compresión no son viables.

Sin embargo a estas relaciones de compresión la temperatura se elevaría y con ella el NO_x emitido.

Con respecto a la auto ignición, la temperatura necesaria para el gas es de 900 a 1170 °F mientras que para nafta resulta de 495°F. Es de esperar que en ninguna circunstancia se produzca autoencendido en gas.

⁶⁵ **Agudelo, J.R.; Corredor, L.A.; Torres, J.E.** "Análisis comparativo de motores convencionales y convertidos a gas utilizados en transporte público funcionando a grandes alturas". Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte. 2000

⁶⁶ **A. Beccari, M. Cammalleri, B. Drago, E. Pipitone.** OTTIMIZZAZIONE DELL'ANTICIPO D'ACCENSIONE ED EMISSIONI NOX. Dipartimento di Meccanica ed Aeronautica – Università di Palermo. 2000

5.3 DESARROLLO DEL PROTOTIPO

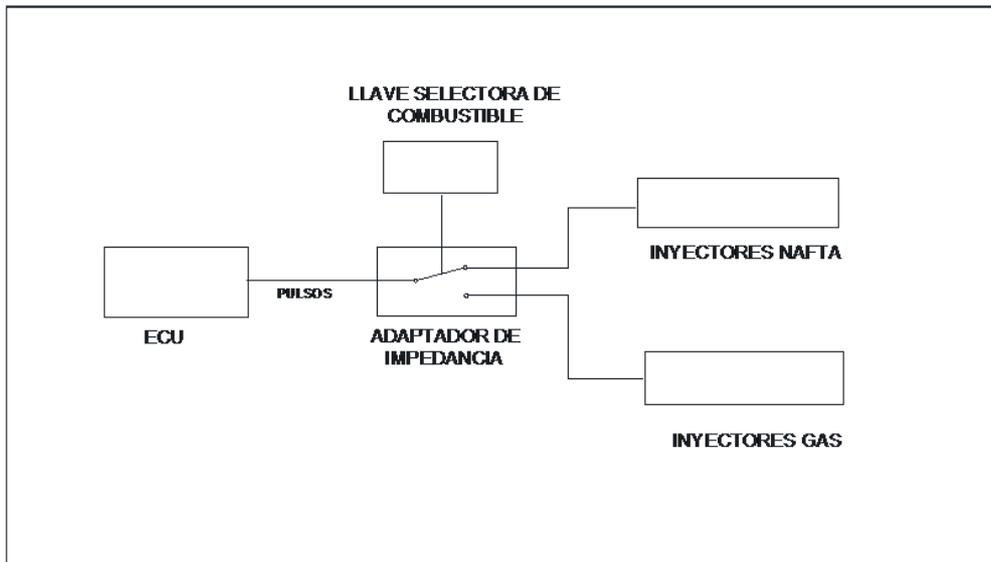
Con base en las relaciones establecidas se abordó la realización de un prototipo para instalar en un vehículo Renault Logane equipado con motor K4M de 16 válvulas y 105 HP.

Al iniciar estos trabajos no se contaba aún con rampas de inyectores para gas de fabricación nacional, por lo que los trabajos preliminares de diseño se realizaron sobre una rampa de fabricación italiana.

La primera tarea que se abordó, fue el diseño de una interface electrónica que sirviera de adaptación de impedancia, entre las señales que comandan los inyectores de nafta, y los inyectores de gas ya que estos presentan impedancias sustancialmente menores. Esta electrónica debía cumplir además de la función de buffer, la de indicar a la ECU del vehículo que los inyectores de nafta se encontraban operando normalmente cuando el vehículo marchara a gas (situación que es censada en forma continua por el sistema OBD2).

El comando de los inyectores de gas en este sistema, es siempre el resultado individual de la señal del correspondiente inyector de nafta. Este procesamiento individual garantiza la aplicabilidad a sistemas de inyección que comanden con distintos tiempos de inyección los inyectores.

Para el manejo de potencia sobre los inyectores se eligió un transistor MOS FET de alta corriente. El resto de la electrónica adecúa las señales de pulso a los requerimientos de disparo de la etapa de potencia sin introducir retardos de tiempo.



Terminada la electrónica del prototipo, se optó por fijar una presión de gas de alimentación baja, $0,500 \text{ Kg}/\text{cm}^2$, para ingresar a la rampa de inyectores. En este punto, en pruebas, pudo determinarse que cuando la presión de inyección de gas se eleva, también lo hace la presión absoluta en el múltiple de admisión. Esto distorsiona el estado real de carga del motor percibido por la ECU que es medido por el sensor MAP, como consecuencia se hace inestable la marcha en ralentí. También las distorsiones en la lectura del MAP pueden afectar el funcionamiento de otros dispositivos que determinan el estado de carga a partir de esta lectura, como cajas automáticas de control electrónico, por esta razón se decidió trabajar con presiones lo más bajas posibles.

También entendemos que elevar la presión en la admisión puede resultar en desmedro de la capacidad de llenado del cilindro. Aquí se

adopta una decisión de diseño totalmente distinta a los equipos italianos que operan sobre los $1,5 \text{ Kg/cm}^2$ de presión de gas.

El abordaje al múltiple se realizó mediante picos de bronce que se fijaron al mismo con orificios roscados. Las perforaciones se realizaron lo más cerca de las válvulas de admisión.

En cuanto a los reguladores existentes en el mercado para esta aplicación, se probaron los siguientes; Tomasetto Achille, Bugatti, Oyrsa y Tesmon. En todos pudo apreciarse que si bien responden manteniendo la presión constante ante las variaciones de caudal, no resulta estable la presión de salida, ante los cambios de la presión de entrada. En efecto cuando el cilindro está plenamente cargado a 200 Kgrs/cm^2 la presión de salida tiene un valor que va incrementándose a medida que la presión de entrada se reduce, hasta alcanzar al final de la descarga valores en un 20 o 30 % mayores a los de presión inicial. Estos resultados coinciden con las conclusiones alcanzadas en la modelización realizada por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Trier de Alemania⁶⁷.

Esta respuesta tan variable en la presión de salida es en la práctica, compensada en forma automática y dentro de ciertos límites, por la acción de realimentación de la sonda de oxígeno sobre el ancho de pulso generado por la ECU.

Respecto de los diámetros de los calibres en los inyectores, se fueron ajustando en pruebas sucesivas buscando obtener en régimen alto de

⁶⁷ **Dirk Hübner, Harald Ortwig** Linear Modeling, Simulation and Experimental Verification of a Pressure Regulator for CNG Injection Systems. Trier University of Applied Sciences Department of Mechanical Engineering

carga, una respuesta satisfactoria con anchos de pulso similares a los de nafta para la misma condición. Establecidos valores de calibres para distintos motores, surgió la necesidad de construir una herramienta que permitiera el cálculo del diámetro para poder generalizar.

Como establecimos más arriba, nuestra variable independiente es el caudal, entonces estableceremos una relación entre este y el diámetro del calibre para cada inyector.

De comparaciones de muchos motores se estableció que presentan un consumo específico en régimen de ciudad por HP y por cilindro de aproximadamente 0,019 lts cada 100 Km. Este valor a una determinada velocidad se transforma en caudal, a 100 Km/h resultará un caudal $Q = 0,019$ Lts./h.

De las pruebas realizadas a distintos motores con distintos calibres para presión de entrada de $0,500 \text{ Kg/cm}^2$ se determinó empíricamente la siguiente relación, que vincula linealmente al caudal por HP y por cilindro con la sección del calibre.

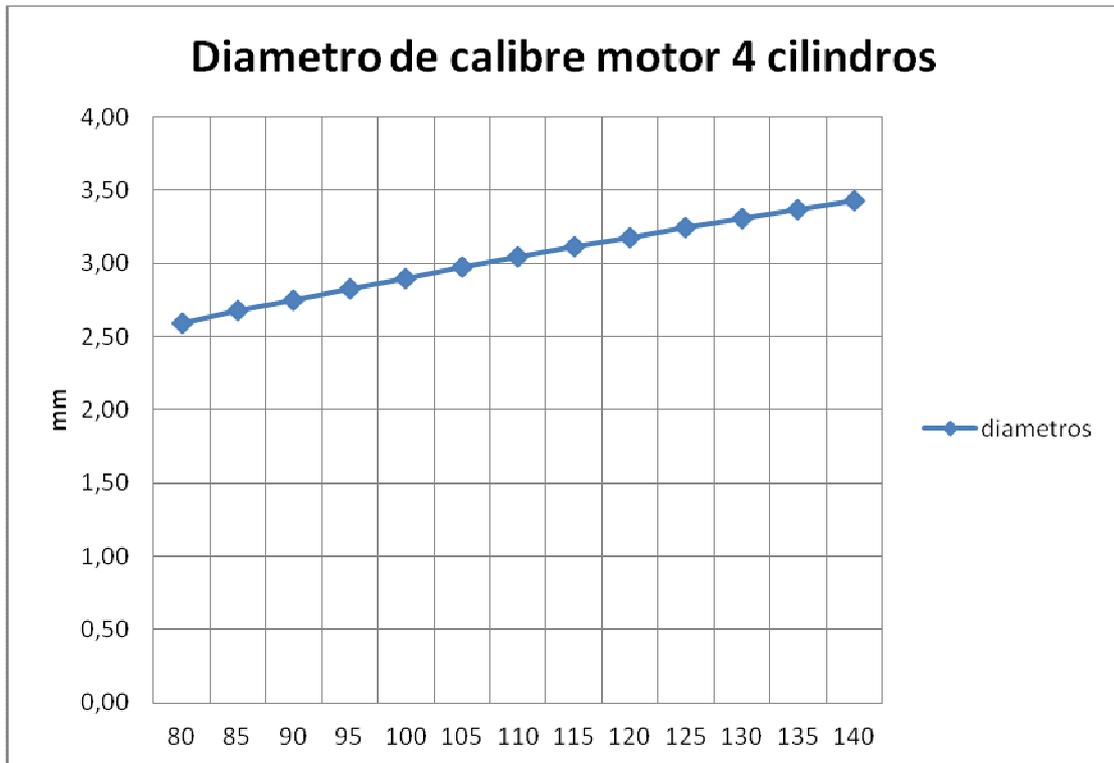
$$S = \frac{Q}{0,87}$$
$$d = 2 \sqrt{\frac{(Q/0,87)}{\pi}}$$

Q: consumo cada 100 km por HP y por cilindro

S: sección transversal en mm del calibre de paso de inyector.

d: diámetro del calibre de inyector.

Con estas relaciones se genera un gráfico que permite entrando con los HP y el número de cilindros, obtener el diámetro de paso para una presión del regulador de 0,500 Kg/cm².



Con estos valores de presión y calibre de inyector se obtuvo un muy buen desempeño de marcha y se realizaron las mediciones que se detallan más adelante.

Como se explicó más arriba, no resulta posible en estos equipos de inyección secuencial, que comandan la inyección con los pulsos originales de la ECU, evitar la fase de enriquecimiento de mezcla en frío que el computador ejecuta en esta condición. Por ello para evitar la marcha a gas en frío, se diseñó un termostato electrónico con histéresis. Este dispositivo es capaz, a través de la detección de la

temperatura del regulador de gas (calefaccionado por el refrigerante del motor), de habilitar a los 60°C la marcha en gas y deshabilitarla a 10°C.

Se contempla la posibilidad de que ante una falla del sistema de refrigeración pueda congelarse el regulador, de alcanzarse los 10°C en el regulador, el sistema pasa a nafta en forma automática.

Sobre este punto cabe decir que la fase de enriquecimiento en frío a la que nos referimos no pudo ser evitada por medios externos y constituye desde lo ambiental una limitación para poder aprovechar, justamente en esta etapa de altas emisiones, las ventajas ambientales del gas.

Con los equipos convencionales y motores carburados se procedía a desconectar el sistema de cebado automático para evitar esta fase fría, lo que permitía la marcha a gas en frío. En los de equipos convencionales para inyección electrónica, la fase fría no afectaba ya que la dosificación de la mezcla dependía exclusivamente del mezclador, por lo que si bien el computador actuaba enriqueciendo la mezcla, esta acción no tenía efecto sobre la mezcla en gas.

Entonces, los equipos de Inyección Secuencial de Gas, incluyan o no computador para gas, no pueden marchar a gas en la fase de calentamiento.

Esta situación impide la certificación de emisiones mediante ensayos de ciclo transiente que incluye la fase de calentamiento ya que en esta fase el motor debe funcionar a nafta.

En nuestro país, como se explicó anteriormente, la certificación de emisiones incluye la fase de calentamiento.

En el prototipo también se instaló un variador electrónico de avance que desplaza 12° en anticipo, la señal de punto muerto superior generada por el sensor de volante del motor. De esta forma se introduce el avance adicional al encendido, sumándolo al que es generado por la ECU.

5.4 PRUEBAS Y MEDICIONES

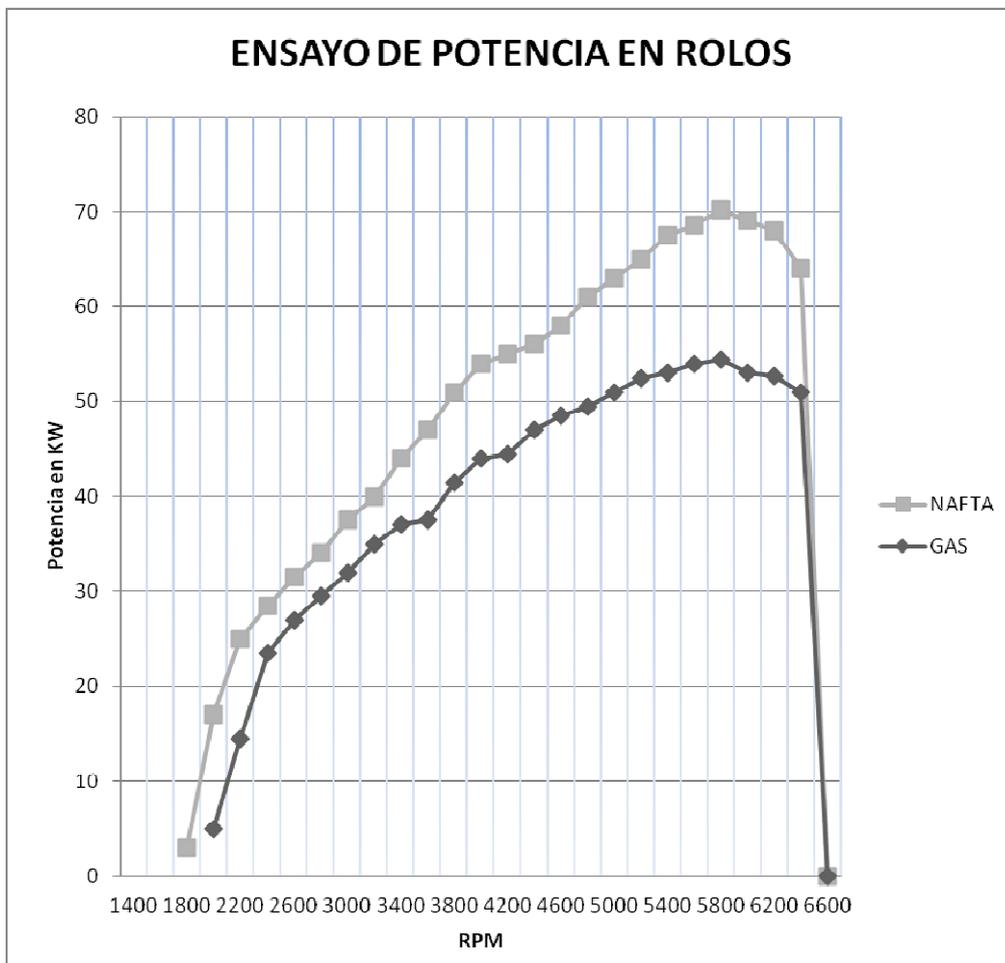
Una vez funcionando el prototipo se realizaron las primeras mediciones de potencia en un banco dinamométrico de rodillos del tipo de aceleración, en la Facultad Regional Santa Fe de la UTN con el fin de ajustar las condiciones de diseño optimizando el desempeño del vehículo.



ENSAYO LABORATORIO DE ENSAYO DE MOTORES UTN REGIONAL SANTA FE

En este primer ensayo se comprobó que la curva de potencia en gas es similar a la de nafta pero, como era de esperarse, desplazada hacia abajo en un 10 a 20 %.

Ajustes posteriores permitieron reducir esta diferencia a un 10%. Este ensayo puso de manifiesto también una sensible reducción de la temperatura de los gases de escape del 5%. Ver informe en Anexo.

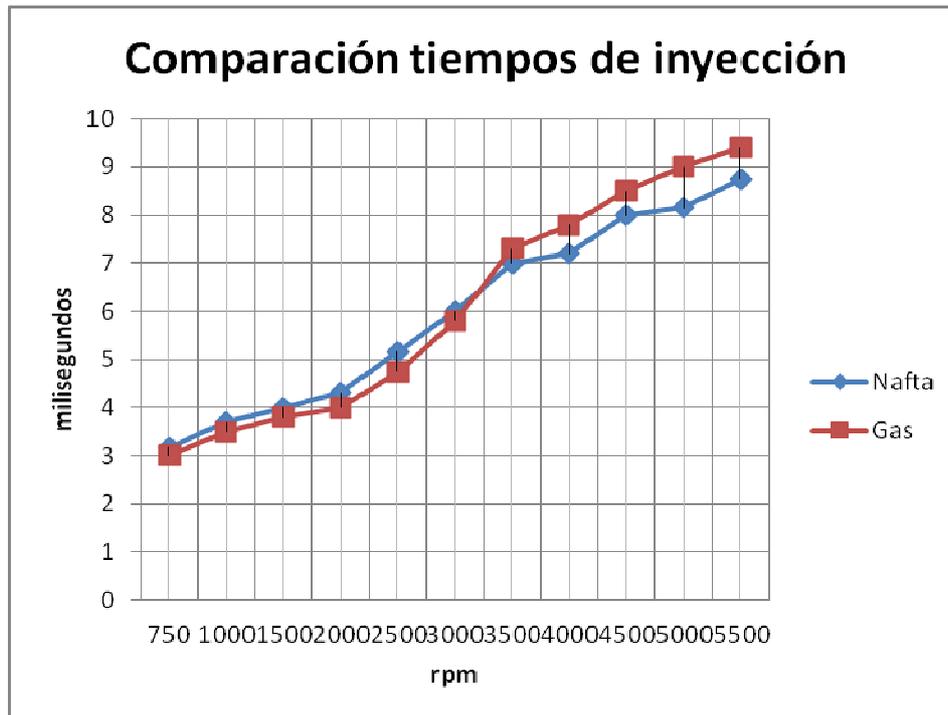


Curvas correspondientes a ensayos E01 y E03

Pudo apreciarse que para todos los estados de marcha la sonda de oxígeno cicla entre rico y pobre sin permanecer estática en ninguna de estas situaciones, esto corrobora que las correcciones del sistema de control de emisiones original funcionan integralmente.

Esta etapa inicial permitió poner de manifiesto la limitación a la cantidad de mezcla ingresante al motor que, en régimen de altas rpm se produce, debido a las pérdidas de carga que sufre el gas desde el regulador hasta la rampa de inyectores, la alinealidad de ésta y la limitación del rendimiento volumétrico que ya se abordó. Esta situación se pone de manifiesto al comparar la curva de ancho de pulso de inyección de nafta y de gas respecto a las rpm.

Como puede apreciarse por debajo de las 3000 rpm, los tiempos de inyección de gas resultan algo menores a los de nafta mientras que para regímenes más altos los tiempos de inyección de gas son algo superiores. Entendemos que esto se debe al aumento de la pérdida de carga que sufre el gas al aumentar el caudal demandado, ésta reducción del suministro de gas es subsanado por la ECU mediante la ampliación del ancho de pulso de inyección.



Esto ratificó la decisión de diseño adoptada inicialmente de trabajar con presión baja y diámetros grandes a diferencia de los equipamientos de origen italiano, que lo hacen con presiones tres veces superiores, del orden de 1,5 Kgr/cm² y con diámetros sustancialmente menores en los calibres de los inyectores.

En cuanto a la calibración y diagnóstico de funcionamiento, para la medición de presión se utilizó un sensor de presión diferencial Honeywell SCX 30 con una sensibilidad de 3 mV/ psi, para la medición de ancho de pulso de inyección y de la sonda de oxígeno se utilizó un medidor Dland MPSL y para la medición de temperatura del gas se desarrolló un termómetro digital mediante el uso de un termistor NTC.

También se midió la temperatura del gas antes de ingresar a la rampa de inyectores, con el regulador calefaccionado por el circuito de refrigeración y sin esta calefacción.

Influencia de la temperatura de calefacción sobre la presión de salida del regulador, temperatura del gas y tiempo de inyección

Presión de entrada bar	Temperatura del gas Kohms	Presión de salida mV	Presión de salida bar	Tiempo de inyección
200	5,6	13,5	0,355	2,87
160	5,6	14,5	0,382	2,75
120	5,6	16	0,421	2,65
80	5,6	17,8	0,468	2,70
40	5,6	19,5	0,513	2,70
80	5,6	17,8	0,468	2,70
120	5,6	16	0,421	2,75
160	5,6	14,3	0,376	2,80
190	5,6	13,1	0,345	2,85

Medición realizada con motor caliente y regulador calefaccionado de forma plena por el circuito de refrigeración.

Presión de entrada bar	Temperatura del gas Kohms	Presión de salida mV	Presión de salida bar	Tiempo de inyección
200	23,7	13,5	0,355	2,87
160	21	14,3	0,376	2,75
120	20,2	16	0,421	2,65
80	19,8	18	0,474	2,70
40	19,7	19,6	0,516	2,70
80	17,3	18	0,474	2,70
120	17,3	16	0,421	2,75
160	17,4	14,7	0,387	2,80
190	17,2	13,2	0,347	2,85

Medición realizada con motor caliente y regulador sin calefaccionado

Como resultado se encontró que el gas, cuando el regulador está calefaccionado, ingresa a la rampa con aproximadamente 38°C adicionales a cuando el regulador no está calefaccionado. Esta temperatura adicional se debe al calor excedente que en el regulador se transfiere al gas.

La medición de las emisiones se realizó en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, se utilizó para ello un banco dinamométrico de rodillos donde se colocó el vehículo de prueba y se midió la composición de los gases de escape.

Las determinaciones se realizaron utilizando un medidor de 5 gases marca RAG Gas Check L recientemente calibrado y certificado por el fabricante.





ENSAYO LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS FAC. INGENIERIA UNLP

También se midió temperatura de los gases antes del catalizador, ancho de pulso de inyección y potencia desarrollada tanto a nafta como a gas en tres condiciones de servicio; ralenti, con el vehículo a 1800 rpm - 40 Km/h y a 2500 rpm – 90Km/h.

ENSAYO MEDICION DE GASES LAB. MAQUINAS TERMICAS UNLP

23/11/2011

Condiciones de ensayo

Temperatura	18° C
Humedad	77%
Presión atmosférica	1010 mb

A - Ralenti

B - 1900 rpm en 3ra velocidad correspondiendo a una velocidad de 40 km h

C - 2500 rpm en 5ta velocidad correspondiendo a una velocidad de 90 Km h

	A		B		C	
	Nafta	Gas	Nafta	Gas	Nafta	Gas
CO % Vol	0,041	0,001	0,073	0,007	0,159	0,057
CO2 % Vol	12,66	10,08	13,39	11,16	13,83	11,37
NOx ppm Vol	4	37	2277	526	274	906
HC ppm Vol	48	530	57	74	1	51
O2 % Vol	0,14	2,31	0,97	0,34	0,12	0,19
Lambda	0,99	1,15	1,02	1,01	0,95	0,99
Tiempo inyección [mseg]	3.11 - 3.22	3.05 - 3.20	4.12 - 4.24	3.9 - 4.1	5.15 - 5.21	4.7 - 4.8
T° gases escape	184	183	180	182	183	184
T° gases a/catal	256	230	418	408	558	510
rpm del rodillo	0	0	457	458	1040	1018
Torque rodillo [Kg]x0,5 m	0	0	0,826	0,804	0,63	0,606
Potencia al rodillo [KW]	0	0	19,75	19,27	34,29	32,28
Potencia al rodillo [HP]	0	0	26,49	25,84	45,98	43,29

Del ensayo surgen importantes conclusiones respecto a los parámetros medidos:

Reducción del CO₂ del orden del 19 al 30 %

Reducción del CO del orden del 65 al 90 %

Relación lambda próxima a 1

Los resultados obtenidos resultan consistentes con los obtenidos por el Departamento de Energía de EEUU⁶⁸.

Reducción de la temperatura de los gases de escape medidos antes del catalizador del orden del 3 al 10 %. Este aspecto resulta de mucha importancia e indica que, la correcta combustión del gas produce la

⁶⁸ **EERE Energy Efficiency & Renewable Energy US Department of Energy** Light-Duty Alternative Fuel Vehicles: Federal Test Procedure Emissions Results EERE Energy Efficiency & Renewable Energy US Department of Energy Oct 2006

disminución de la temperatura de los gases de escape, con lo que no se afectan las válvulas de escape por temperatura.

En los equipos convencionales las válvulas de escape muchas veces sufrían el fenómeno conocido como “gathering and torching” (“acanalado y sopleteo”)⁶⁹ que fue abordado en profundidad en el 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica en Cusco, 23 al 25 de Octubre de 2007.

Reducción de la potencia del orden del 10%.

En relación a las emisiones de metano que no han podido determinarse, el estudio de A. Machado de la Universidad de Zulia en Venezuela ha demostrado que las mismas, para relaciones λ próximas a 1 resultan menores que a nafta.⁷⁰

Durante el ensayo de medición de gases se tomaron, a través de un escáner DEC los parámetros de la ECU tanto a nafta como a gas.

⁶⁹ **Crespo G.** INFLUENCIA DEL LUBRICANTE EN EL DETERIORO DE LAS VALVULAS DE ESCAPE DE MOTORES DE GAS NATURAL. Departamento de Mecánica, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela. 2007

⁷⁰ **A. Machado y otros.** EMISIONES DE METANO EN LOS GASES DE ESCAPE DE UN MOTOR QUE USA GASOLINA O GAS NATURAL COMO COMBUSTIBLE. Universidad de Zulia Facultad de Ingeniería. Centro CEDEGAS. Venezuela 2001

23/11/2011 04:27:34 p.m.

SISTEMA: SIEMENS SIRIUS 32 E1
VEHICULO : Renault Logane IQG321 combustible nafta |

750	1842	2509	RPM
752	752	752	RPM Nominales
3 ms	3 ms	5 ms	Tiempo de Inyección
11 °	37 °	36 °	Avance del Encendido
Ralentí	1/2 Recorrido	1/2 Recorrido	Posición Mariposa
29	46	61	Sensor Posición Mariposa (TPS)
328 mb	347 mb	487 mb	Presión de Admisión
1005 mb	1005 mb	1005 mb	Presión Atmosférica
SI	SI	SI	+12 Calculador APC
13.34 v	13.43 v	13.59 v	Tensión de Batería
100 °C	93 °C	88 °C	Temperatura de Agua
73 °C	71 °C	65 °C	Temperatura de Aire
204 mV	263 mV	790 mV	Tensión Sonda de Oxígeno Anterior
117 mV	497 mV	819 mV	Tensión Sonda de Oxígeno Posterior
0 ms	0 ms	0 ms	Período Medio Sonda de Oxígeno
0	0	0	Actividad Sonda Posterior
29	29	29	Valor Aprendizaje Posición Pie Levantado
Señal OK	Señal OK	Señal OK	Señal del sensor de volante (PMS)
Apagado	Apagado	Apagado	Testigo Sobrecaentamiento
Desactivado	Desactivado	Desactivado	Estado Antiarranque
21	33	45	Señal de Picado
0	3	0	Corrección de Picado
No Autorizada	No Autorizada	Autorizada	Purga Canister
0 %	0 %	18 %	Apertura Electroválvula de Purga del Canister
Activa	No Activa	No Activa	Regulación de Ralentí
16 %	28 %	41 %	RCO Ralentí
-2 %	-2 %	-2 %	Adaptación RCO Ralentí
17	23	23	Corrección Integral Regulación de Ralentí
Activa	Activa	Activa	Regulación de Riqueza
146	183	161	Corrección de Riqueza
128	137	144	Adaptación Riqueza en Ralentí
128	122	122	Adaptación Riqueza en Funcionamiento
NO	SI	NO	Calentamiento Sonda de Oxígeno Anterior
SI	SI	SI	Calentamiento Sonda de Oxígeno Posterior
12 ohm	12 ohm	11 ohm	Resistencia calentador Sonda O2 Anterior
24 ohm	23 ohm	25 ohm	Resistencia calentador Sonda O2 Posterior
0	0	0	Número No Cierres Válvula Regulación Ralentí
0	0	0	Número No Apertura Válvula Regulación Ralentí
0 L/h	0 L/h	2 L/h	Consumo de combustible
0 Km/h	35 Km/h	82 Km/h	Velocidad del vehículo
0	0	0	Apertura válvula de recirculación de gases (EGR)

23/11/2011 04:46:16 p.m.

SISTEMA: SIEMENS SIRIUS 32 E1
VEHICULO : Renault Logane IGQ321 combustible gas

761	1826	2588	RPM
752	752	752	RPM Nominales
2 ms	3 ms	5 ms	Tiempo de Inyección
8 °	35 °	33 °	Avance del Encendido
Ralentí	1/2 Recorrido	1/2 Recorrido	Posición Mariposa
29	46	65	Sensor Posición Mariposa (TP5)
343 mb	380 mb	557 mb	Presión de Admisión
1005 mb	1005 mb	1005 mb	Presión Atmosférica
SI	SI	SI	+12 Calculador APC
13.34 v	13.56 v	13.53 v	Tensión de Batería
98 °C	90 °C	87 °C	Temperatura de Agua
71 °C	72 °C	65 °C	Temperatura de Aire
575 mV	849 mV	771 mV	Tensión Sonda de Oxígeno Anterior
156 mV	888 mV	712 mV	Tensión Sonda de Oxígeno Posterior
0 ms	0 ms	0 ms	Período Medio Sonda de Oxígeno
0	0	0	Actividad Sonda Posterior
29	29	29	Valor Aprendizaje Posición Pie Levantado
Señal OK	Señal OK	Señal OK	Señal del sensor de volante (PMS)
Apagado	Apagado	Apagado	Testigo Sobrecalentamiento
Desactivado	Desactivado	Desactivado	Estado Antiarranque
18	24	63	Señal de Picado
0	0	0	Corrección de Picado
No Autorizada	Autorizada	Autorizada	Purga Canister
0 %	9 %	20 %	Apertura Electroválvula de Purga del Canister
Activa	No Activa	No Activa	Regulación de Ralentí
16 %	26 %	41 %	RCO Ralentí
-2 %	-2 %	-2 %	Adaptación RCO Ralentí
16	24	24	Corrección Integral Regulación de Ralentí
Activa	Activa	Activa	Regulación de Riqueza
113	140	139	Corrección de Riqueza
100	100	100	Adaptación Riqueza en Ralentí
140	140	140	Adaptación Riqueza en Funcionamiento
NO	NO	NO	Calentamiento Sonda de Oxígeno Anterior
SI	SI	SI	Calentamiento Sonda de Oxígeno Posterior
11 ohm	12 Ohm	11 ohm	Resistencia calentador Sonda O2 Anterior
22 ohm	23 ohm	25 ohm	Resistencia calentador Sonda O2 Posterior
0	0	0	Número No Cierres Válvula Regulación Ralentí
0	0	0	Número No Apertura Válvula Regulación Ralentí
0 L/h	0 L/h	5 L/h	Consumo de combustible
0 Km/h	35 Km/h	84 Km/h	Velocidad del Vehículo
0	0	0	Apertura válvula de recirculación de gases (EGR)

Como puede apreciarse, los parámetros que controla la ECU se mantienen muy similares en los dos combustibles, cabe notar el aumento de la presión de admisión por la inyección de gas al múltiple.

Con el fin de complementar las mediciones, se realizó una determinación de consumo en nafta y en gas, para una marcha continua y estable a 2500 rpm - 90 Km/h.

Para la determinación del consumo de nafta, se completó hasta una marca visible de la boca de carga del tanque, el nivel de combustible.

Se realizó una marcha de 50 Km a velocidad constante en superficie

horizontal sin viento. Cumplido el recorrido se volvió a completar el combustible hasta la misma marca mediante el uso de un vaso calibrado.

Para gas, se pesó un cilindro de 30 lts de capacidad con válvula, se procedió a cargarlo con gas, se lo pesó nuevamente determinando así los Kgr. de gas cargados.

Se realizó el mismo recorrido en iguales condiciones hasta agotar el gas determinando los km recorridos. De las mediciones se determinó:

Nafta; recorrido 50 Km combustible consumido 3,65 lts

Gas; recorrido 48,5 Km combustible consumido 2,18 Kg ($\delta = 0,69 \text{ Kg/m}^3$).

Consumo a nafta : 7,3 lts cada 100 km

Consumo a gas : 6,51 m^3 cada 100 km ($\delta = 0,69 \text{ Kg/m}^3$).

Con estos valores realizaremos ahora unas determinaciones.

Nafta

Consumo L/ 100 km	7,300
Densidad Kg/Lt	0,740
Consumo kg /100km C	5,402
Rel estequiom. Nafta A/C	14,700
Masa de aire ingresada en nafta Kg A	79,409

En gas vemos en las lecturas del escanner que la presión de admisión a 90 km/h pasa de 487 a 557 mb por efecto de la inyección de gas a presión en el múltiple, esto implicará una reducción en el aire que ingresa.

También vemos que la mariposa del acelerador pasa de una posición 61 a 65 lo que significa una mayor entrada de aire, esto implica un aumento del aire que ingresa.

Estimemos la diferencia:

Gas

P1 : Presión atmosférica en mb.	1005,00
P2 : Presión de admisión en mb.	487,00
Q aire a nafta= $K*(P1)^2-(P2)^2$	772856,00
Posición del acelerador (TPS)	61,00

P1 : Presión atmosférica en mb.	1005,00
P2 : Presión de admisión en mb.	557,00
Q de aire a gas= $K*(P1)^2-(P2)^2$	699776,00
Posición del acelerador (TPS)	65,00

Diferencia de caudal de aire % por Aumento de la presión de admisión	-9,46
--	-------

Diferencia de caudal de aire % por Cambio de posición del acelerador	6,56
--	------

Diferencia de caudal aire total %	-2,90
-----------------------------------	-------

Entonces podemos estimar que a gas ingresa un 2,9 % menos de aire que la masa calculada para nafta:

Masa de aire en gas (Masa en nafta-2,9%)	
Kg A	77,107
Rel estequiom. Gas A/C	17,000
Consumo kg /100km C	4,536
Densidad del gas	0,690
Consumo m3 /100km	6,573

Relación m3 de gas/ Lt de nafta	1,111
---------------------------------	-------

Como puede apreciarse los valores de cálculo indican que a gas el motor funciona en relación A/C 17/1.

Pudo comprobarse que para los vehículos que utilizan sistemas de inyección secuencial de gas, la marcha en ralentí y en desaceleración, constituyen las situaciones más críticas. En efecto, en ambos casos se da la condición de mariposa de acelerador cerrada, por esto, la cantidad de aire que ingresa al motor está determinada por la apertura de la válvula IAC, que es controlada exclusivamente por la ECU del vehículo sin posibilidad de modificación.

5.5 GENERALIZACION DE LA APLICACIÓN

Al obtener resultados muy buenos en el desempeño, se optó merced al apoyo de firmas del GNC a comenzar con la aplicación a otros motores para verificar la posibilidad de extender el uso.

La nueva etapa requirió abordar la fabricación de los dispositivos electrónicos necesarios con los consiguientes ajustes a condiciones más generales de los distintos autos. Se tomó en consideración para esto, las condiciones de temperatura y la disipación en los componentes dentro del vano motor, para invierno y verano, la estanqueidad de los dispositivos, la resistencia a la vibración y otros factores propios de los vehículos.

Inicialmente se fijó un objetivo de instalar y probar el sistema en 10 autos con diferentes motorizaciones. Cumplida esta etapa en forma

satisfactoria, se abordó por parte de una empresa local, la fabricación y comercialización del sistema bajo el nombre de sistema ISEG Inyección Secuencial Electrónica de Gas.

A diciembre de 2011 el sistema ha sido aplicado con muy buenos resultados a 388 vehículos:

MARCA	MODELO	CANTIDAD
CHEVROLET	AGILE 1,4	4
	ASTRA 2,0	1
	AVEO 1,6	28
	CELTA 1,4	2
	CORSA 1,4	138
	CORSA 1,8	6
	CRUZE 1,8	1
	MERIVA 1,8	9
	MONTANA 1,8	2
	PRISMA 1,4	1
	VECTRA 2,0	1
	ZAFIRA 2,0	1
FIAT	IDEA 1,4	2
	STRADA 1,6	2
	UNO 1,4	4
	SIENA 1,4 FIRE	56
	ADVENTURE 1,8 ETORQ	3
	FIORINO 1,3	4
	LINEA 1,9	2
	PALIO1,4	2
	PALIO WEEKEND 1,4	3
FORD	FIESTA MAX 1,6	2
	ECOSPORT 1,6	11
	FOCUS 1,6	2
	FOCUS 2,0	1
	MONDEO 2,0	1
	RANGER 2,3	2
PEUGEOT	206 1,4	1
	207 1,4	3
	307 1,6	1
HONDA	FIT 1,5	1
RENAULT	MEGANE 1,6 16 V	10

	CLIO 1,2	2
	FLUENCE 1,6 16 V	1
	KANGOO 1,6 16 V	14
	KANGOO 1,6 8 V	2
	LOGANE 1,6 16 V	2
	LOGANE 1,6 8 V	20
	SYMBOL 1,6 16 V	8
	SENDERO STEPWAY 1,6 16 V	5
VW	FOX 1,6	2
	GOL 1,6	11
	GOLF 1,6	2
	SURANE 1,6	3
	VOYAGE 1,6	9

TOTAL	388
--------------	------------

La amplia diversidad de computadoras ECU de inyección, que abarca este listado, han respondido muy bien al control de gas.

En el caso de los motores Trend de VW, el sistema OBD2 detecta el cambio en los gases de escape y enciende la indicación check engine a gas, pero el desempeño del motor resulta como en los demás, muy satisfactorio.

Con respecto al comportamiento de los vehículos convertidos cuando funcionan a nafta, no se aprecian cambios y las características adaptativas de las actuales ECU, garantizan que en nafta o en gas los parámetros serán los óptimos.

Si tenemos en cuenta que el promedio de kilometraje anual para un usuario de GNC ronda los 20.000 km-año, los vehículos convertidos hasta ahora con esta tecnología, aportan una reducción anual de:

$$0,047 \text{ Kg CO}_2/\text{Km} \times 20.000 \text{ Km-año} \times 388 = \mathbf{364.720 \text{ Kg CO}_2 - \text{año}}$$

Respecto de las emisiones que hubiesen generado circulando a nafta hemos conseguido hasta ahora, una reducción anual de 365 Tn-año de emisiones de CO₂.

CAPITULO 6 COLOFON

6.1 CONCLUSIONES

- Como pudo verse en el Cap 5 la hipótesis pudo comprobarse en forma satisfactoria concluyéndose que, los motores de inyección secuencial a gas, ofrecen una reducción de los contaminantes y pueden funcionar en estequiometria, utilizando el mapeo original de los computadores instalados por los fabricantes de los vehículos.
- El sistema de inyección secuencial de gas aquí descrito, permite una instalación rápida y sencilla del equipo de GNC, no requiere programación y reduce al mínimo los dispositivos asociados aumentando así la confiabilidad.
- La generalización del uso del sistema a casi 400 vehículos con resultados óptimos, indica que la aplicabilidad es prácticamente general, para los vehículos de fabricación nacional actual que potencialmente se pudieran convertir a gas.

6.2 DISCUSION Y RECOMENDACIONES HACIA EL FUTURO

Sería deseable que los reguladores presentaran una curva de regulación de la presión de salida, con la presión de entrada, más plana para evitar diferencias en el desempeño del motor a distintas

presiones. Si bien estas diferencias son menores, la mejora en los reguladores redundaría en beneficios.

La calefacción de la primera etapa de los reguladores podría efectuarse en forma eléctrica, y con un rango estrecho de temperatura (aproximadamente $35^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$), al solo efecto de evitar el congelamiento ante la reacción endotérmica por expansión, utilizando un termostato. Esto evitaría intervenir, en la instalación, sobre el circuito original del refrigerante del motor (pérdidas, falla de conexiones, rotura de mangueras etc...) y así mismo se evitaría aportar calor en exceso al gas que redundaría en una reducción de caudal y de su energía específica.

Si los fabricantes de autos optaran por realizar la dualización de fábrica de los vehículos, se podría, mediante mínimas modificaciones en las rutinas de los computadores, obtener la marcha en gas durante la fase de calentamiento, con la consecuente reducción de emisiones en esa etapa tan importante.

6.3 ANALISIS CRITICO DE LA METODOLOGIA UTILIZADA

No pudo realizarse la determinación másica de los gases en el laboratorio de Ezeiza, de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, dado que éste laboratorio solo certifica el ensayo de la norma vigente, que incluye la fase de calentamiento, y como se vio, en los sistemas de inyección secuencial de gas no resulta posible el uso

de gas en la fase de calentamiento. Los costos de los ensayos también resultan limitantes.

La metodología elegida, realizar el desarrollo en un auto, permitió la generalización a otros en forma rápida, ya que sirvió para realizar las determinaciones de campo, pudiendo comprobar el desempeño en condiciones de uso.

Para el futuro, debería continuarse el trabajo sobre un motor, en banco, a fin de poder ahora estudiar más en detalle la respuesta del sistema y también, este método, permitiría la toma de muestras en bolsas, de los gases emitidos en distintos puntos de trabajo para realizar la determinación másica de estos mediante espectrógrafo.

También queda pendiente para el estudio en banco, la evaluación de la funcionalidad de los conversores catalíticos en gas.

6.4 REFLEXION FINAL

La confección de este trabajo insumió mucho tiempo y esfuerzo, pero resulta muy gratificante el haber podido realizarlo.

Ha resultado útil en cuanto ésta tecnología de uso del gas, aporta una reducción de los contaminantes y un sistema de conversión a GNC confiable y económico.

La profundización de conocimientos que generó, resulta invaluable para el autor.

Por último quiero expresar, que si bien creo que las posibilidades de aportar soluciones a los problemas ambientales, que la ingeniería

brinda son enormes, es a través de la razón y conciencia colectivas, donde puede encontrarse la forma de corregir verdaderamente los problemas ambientales presentes y futuros.

BIBLIOGRAFIA

- ARCOUMANIS, C. Internal Combustion Engines. Academic Press. 1988.
- ADKINS B, HARLEY R.G., The general theory of alternating current machines Chapman & Hall, London, 1978
- AGUDELO J.R.; CORREDOR L.A.; TORRES J.E. "Análisis comparativo de motores convencionales y convertidos a gas utilizados en transporte público funcionando a grandes alturas". Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte. 2000
- ANDERSON CURTIS D. ; ANDERSON, JUDY, Electric And Hybrid Cars. Mcfarland & Co Inc Pub. 2005
- ANON. Flow of Fluid Through Valves, fittings and Pipes. Crane Company, Engineering Division 1976
- ARGENTINA. ENARGAS Ente Nacional Regulador del Gas Estadísticas Set 2011
- AVRAMOPULUS IRAKLIS, SPARYSCH ANDREAS, HOLTSHAUS ULRICH. What demands does serial development place on natural-gas vehicles? Examples of solutions and a look at their cost-benefit characteristics, Gasfahrzeuge 2004
- BARROS, V., MENENDEZ, A. N., NAGY G. El Cambio Climático en el Río de la Plata, CIMA, Buenos Aires, 2005.
- BECCARI A., CAMMALLERI M., DRAGO B., IPITONE E. OTTIMIZZAZIONE DELL'ANTICIPO D'ACCENSIONE ED EMISSIONI NOX. Dipartimento di Meccanica ed Aeronautica – Università di Palermo. 2000
- BENSON, R.S. Thermodynamics and Gas Dynamics of Internal Combustion Engines. Volumen 1. Volumen 2 editado por J.H. Horlok y D.E. Winterbore Oxford University Press 1982 y 1986
- BENSON, R.S. y WHITEHOUSE, N.D. Internal Combustion Engines. Dos volúmenes. Pergamon Press. 1979.
- BODE HANS Prof. Dr. Ing., Materials aspects in automotive catalytic converters. Wiley-Vch 2001
- BROOK E. On the origin and timing of rapid changes in atmospheric methane during the last glacial period, Global Biogeochemical Cycles. 2000
- BRUN, R. Science et technique du motor Diesel industriel et de transport. Tres volúmenes. Technip. 1976.
- CALIFORNIA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Proposed regulation to implement the low carbon fuel standard. March, 2009
- CALLEJON, I. ALVAREZ, J. CIVIT, O. La inyección en motores de encendido provocado. CPDA Barcelona 1996
- CAMPBELL, A. S. Thermodynamic Analysis of Combustion Engines. Robert E. Krieger Publishing Company, Florida, 1986.
- CHOID, S.B. HEDRICK, J.K. An observer-based controller design method for improving air/fuel characteristics of spark ignition engines. IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol 6, 1998
- CLEAN ALTERNATIVE FUELS: Compressed Natural Gas EPA420-F-00-033 Marzo 2002
- CORDEIRO DE MELO y otros. In-cylinder pressure curve simulation on multifuel engines-a comparison between a polytropic and general thermodynamic model for gasoline, ethanol and natural gas SAE N° 2007-01-2820 (2007)
- CRANOR CARL F., Regulating Toxic Substances: A Philosophy of Science and the Law. Oxford University Press. 1993
- CRAWFORD J. H, BRADSHAW J.D., DAVIS D. D., LIU S.C., Nitrogen Oxides and Other Reactive Nitrogen Species. John Wiley & Sons, Inc. 2003
- CRESPO G. INFLUENCIA DEL LUBRICANTE EN EL DETERIORO DE LAS VALVULAS DE ESCAPE DE MOTORES DE GAS NATURAL. Departamento de Mecánica, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela. 2007
- DARR S., CHOSKSI R., HUBBARD C., JHONSON M. y Mc CABE R.. SAE Paper N° 2000-01-1881 (2000)
- DE CASTRO, M. Carburadores. CEAC. 1971.
- DE SOETE, G. Aspects fondamentaux de la combustion en phase gazeuse. Technip. 1976.
- DEGOBERT, P. Automobiles y Pollution Editions Technips 1995 Paris
- ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY del 18 de Abril de 2007 y PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) Abril de 2007.
- ESPAÑA. Generalitat de Catalunya. OFICINA DEL CAMBIO CLIMÁTICO. Anexo 8 de los Inventarios de GEI (2010)
- FERGUSON, C.R. Internal Combustion Engines. John Wiley and Sons. 1986.
- FINCH JC, K0 D W, Tutorial-Fluid Flow Formulas PSIG Conference Proceedings. 1988
- GARRET, T. K. Automotive Fuels and Fuel Systems. Dos volúmenes. Pentech Press y SAE. 1991.

GOTTHELF JEFFREY, Engineering Manager ITT Conoflow / ITT Industries CNG Regulator / Fuel System Interactions

GUIBET, J.C.FAURE-BIRCHEM, E. Fuels and engines: technology, energy, environment 1999.

HANS-JOACHIM LEIMKUHNER, Managing CO2 Emissions in the Chemical Industry. John Wiley & Sons, 2010

HAYMAN S I, STONER M A, KARNITZ M A. Gas Flow Formulas- An Evaluation. Pipeline and Gas Journal, Diciembre 1975

HEYWOOD, J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals. Mc Graw-Hill. 1988.

HINLOPEN, H. Electrónica aplicada al automóvil. Paraninfo. 1986.

HORSTMAYER STEVEN L. The Weather Almanac. Jhon Wiley & Sons. 2011

HSIEH W., CHEN R., WU T., LIN T. Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels. Atmospheric Environment 2002

HÜBNER DIRK, ORWING HARALD. Linear Modeling, Simulation and Experimental Verification of a Pressure Regulator for CNG Injection Systems. Trier University of Applied Sciences. Department of Mechanical Engineering

HUNT A., ABRAHAM, JERROLD L., BRET BERRY, COLIN L, "Toxicologic and epidemiologic clues from the characterization of the 1952 London smog fine particulate matter in archival autopsy lung tissues" Environmental Health Perspectives, 2003

IGNARRO LOUIS J., Nitric oxide: biology and pathobiology. Academic Press 2000

INTERNATIONAL ASSOCIATION for NATURAL GAS VEHICLES. <http://www.iangv.org/tools-resources/statistics.html>. Retrieved 2011-08-02

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, CO2 Emissions from Fuel Combustion 2010

KARL-HEINZ DIETSCHKE Manual de la técnica del automóvil Ed Reverte 2001

KENNETT JP, CANNARIATO KG, HENDY IL, BEHL RJ. Methane Hydrates in Quaternary Climate Change: The Clathrate Gun Hypothesis. Washington, DC: Am Geophys Union. 2002

KHOVAKH, M. Motor Vehicle Engines. MIR. 1971.

KOLCHIN, A. y DEMIDOV, V. Design of Automotive Engines. Mir. 1984.

LENZ, H. P. Mixture Formation in Spark-Ignition Engines. Springer-Verlag y SAE 1990

LENZ, H. P. y COZZARINI, C. Emissions and Air Quality. SAE 1999.

LICHTY, L.C. Procesos de los motores de combustión. Ediciones del Castillo. 1970.

LILLY, L. R. C. Diesel Engine Reference Book. Butterworths. 1984.

LIPPMANN MORTON, Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects. Jhon Wiley & Sons. 2009

LIST, M. Motores de combustión interna. Catorce volúmenes. Labor. 1944.

LUBRICATION ENGINEERS TECHNICAL DEPARTMENT Motor Oil Degradation. In Techni/tips Number 68

MACHADO, A. GARCIA, N. PRZYBYLSKI, J. MONTIEL, V. Emisiones de metano en los gases de escape de un motor que usa gasolina o gas natural como combustible. Fac de Ingeniería Universidad del Zulia Información Tecnológica Vol. 12 N° 1 2001

MACHADO, A. MONTIEL, V. RODRIGUEZ, J. ZAMBRANO, M. Composición del gas natural comprimido vs. Emisiones de CO2 en los gases de escape de un motor encendido por chispa. Fac de Ingeniería Universidad del Zulia Información Tecnológica Vol. 13 N° 5 2002

MACHADO, Analí, PRZYBYLSKI, Józef, MONTIEL, VIDAL et al. Efectos de la composición del gas natural comprimido en los componentes de los gases de escape en un motor de encendido por chispa INCI, 2001

MACIÁN, V. Mantenimiento de motores de combustión interna alternativos

MANAHAN STANLEY E. Introducción a la Química Ambiental Reverté-UNAM 2007

MARTI PARERA, A. Inyección electrónica en motores de gasolina. Marcombo 1990

MARTIN, A. Transporte más limpio con Gas Natural. IVECO 2005

MASAMI KOJIMA. Breathing clean: considering the switch to natural gas buses. World Bank Publications, 2001

MATTAVI, J.N. y AMANN, C.A. editores. Combustion Modelling in Reciprocating Engines. Plenum Press. 1980.

MAXWELL T. and JONES J. "Alternative Fuels, Emissions, Economics, and Performance" SAE International 1994

MC MICHAEL, ANTHONY J y otros. Climate change and human health: risks and responses. World Health Organization. 2004

MOLINA, S. Influencia de los parámetros de inyección y la regulación de gases de escape sobre el proceso de combustión en un motor Diesel. Ed. Reverté. 2005

MORAN, M.J. SHAPIRO, H. N. Fundamentos de termodinámica técnica. Reverte 2004.

MUÑOZ, M. y PAYRI, F. Motores de combustión interna alternativos. Servicio Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia (2a ed.) 1987.

MURRAY PHIP, The NGV Story, Publisher: National Gallery of Victoria, Melbourne. ISBN: 9780724103393 , Mayo 2011

NNAND, W.J. y ROE, G.E. Gas Flow in the Internal Combustion Engine. Foulis. 1974.

NOUVEN, A. La carburación. Technip. 1971.

NOVELLI PAUL Carbon monoxide in the atmosphere Hoboken, NJ, EU 2003

OECD, OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. Strategies for Low-Emission Vehicles. OECD Publishing, 2004

OWEN, K. Gasoline and Diesel Fuel Additives. John Wiley & Sons. 1989.

PATÍÑO JARAMILLO GUSTAVO A. IM. Estudio de los factores que inciden en el desempeño de motores de encendido provocado convertidos a gas natural. Departamento de Mecánica Universidad de Antioquía. 2003

PICARD A, DAVIS R S, GLÄSER M, and FUJII K. "Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007)", Metrologia 45 (2008)

PIRON, N. y BLANCKAERT, L. Equipo eléctrico. Serie "Técnica del automóvil", tomo IV. Marcombo. 1979.

PITTOCK, A.B. Climate Change: The Science, Impacts and Solutions. Second Edition. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia. 2009.

PLINT, M. y MARTYR, A. Engine Testing. Butterworth. 1995.

PYONG-WAN, SE-JONG YOO, JEONG CHAN Evaluación de los convertidores catalíticos de 3 vías en la reducción del CH4 en los sistemas de escape de los vehículos a GNC. SAE N° 931990 (1993)

RAMOS, J.I. Internal Combustion Engine Modelling. Hemisphere. 1989.

REVISTA AMBIENTE, Centro Argentino de Ingenieros Junio 2009

SAINT MARC, P. La contaminación Biblioteca Salvat. Barcelona. España 1998

SCHEIERMEIER Q. The methane mystery, Nature. 2006

SCHILLING, A. Los aceites para motores y la lubricación de los motores. Dos volúmenes. Interciencia. 1965.

SCHWEITZER, P.M. El barrido de los motores de dos tiempos. Labor. 1959.

SEARS, F. SALINGER, G. L. Termodinámica, teoría cinética y termodinámica estadística. Reverté 1980.

SEOANEZ CALVO MARIANO, Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión. Mundiorensa libros. 2002

SITKEI, G. Heat Transfer and Thermal Loading in Internal Combustion Engines. Akademiai Kiado. 1974.

SMITH PH, BORDEAUX FM, WILKIE A, YANG J, BOONE D, MAH RA, CHYNOWETH D, JERGER D. Microbial aspects of biogas production. En: Methane from biomass: a systems approach. Smith WH, Frank JR, Abelson PH, eds. Elsevier Applied Science Publishers, Barking, Essex, 1988

SOMERS J. PhD. Coalbed Methane Outreach Program (CMOP) EPA Febrero 2007

STONE, R. Introduction to Internal Combustion Engines. Macmillan. 1985.

TAYLOR, C.F. The Internal Combustion Engine in Theory and Practice. Dos volúmenes. MIT Press. 1982.

TEDESCHI, C. GARCIA, H. "El GNC en Automotores" Comisión Gas del IAPG Argentina.

THOSS J, RIECK J y BENETT C. SAE Paper N° 1999-01-0308 (1999)

U.E. Directiva Europea 1999/94/CE Real Decreto 837/2002 anexo. Guía de Vehículos Turismo de venta en España, con indicación de consumos y emisiones de CO2

U.E. Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo PE-CONS 3602/2/07 REV 2 2005

U.E. Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la homologación de vehículos Euro 5 y 6 PE-CONS 3602/2/07 2007

U.S. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES and DISEASE REGISTRY ATSDR 2007.

U.S. EERE Energy Efficiency & Renewable Energy US Department of Energy Light-Duty Alternative Fuel Vehicles: Federal Test Procedure Emissions Results EERE Energy Efficiency & Renewable Energy US Department of Energy Oct 2006

U.S. EPA Transportation and Air Quality Transportation and Regional Programs Division EPA420-F-00-033 Marzo 2002

U.S. NOAA. Emissions of Potent Greenhouse Gas Increase Despite Reduction Efforts U.S. Dept. of Commerce, Washington DC. 2010

VEAL WILLIAM R., COHEN ROBERT A. Project Earth Science National Science Teachers Association 1994

WATSON, N. y JANOTA, M.S. Turbocharging the Internal Combustion Engine. MacMillan Press. 1984.

WHALEN, P. KELLY, K. BECHTOL, R.L. and RODGERS, D.E. "DOE Documents Alternative Fuel Success in Niche Markets"

YACOB Y, MARBUN L, BATA R., " A Numerical Investigation of the Cooling Effect of Compresed Natural Gas Throttling on Engine Delivery Ratio", Transaction of the ME, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol 121, January, 1999.

YAMAMOTO,SATO,MATSUMOTO,TSUZUKI. Study of combustion characteristics of compressed natural gas as automotive fuel. SAE N° 940761 (1994)

ZINNER,K. Supercharging of Internal Combustion Engines. Springer-Verlay.1998

ANEXO



Ceretti 1930 Dpto. A (1431) Buenos Aires – Argentina - Tel./Fax: + 54 11 4573-0975 - e-mail: info@gascheck.com.ar
IVA: Responsable Inscripto – CUIT: 20-14619028-7 - IB: 1113143-08

CERTIFICADO DE CALIBRACION

El equipo de Gases **RAG GasCheck-L** Utiliza el método de medición por infrarrojo no dispersivo, que cumple o supera la precisión de las normas internacionales ASM/BAR97, ISO3930, y OIML R99 clase 0.

Datos Del Equipo:

Modelo: **GasCheck-L** N° de Serie del equipo: **1146**
N° de serie de la cámara infrarroja: **TE0451146** N° de control: **0107149**

Características técnicas:

Fecha de fabricación: **Agosto de 2005**
Factor de equivalencia de propano: **0,538**
Temperatura de trabajo: **5 °C a 45 °C.**
Temperatura de almacenamiento: **0 °C a 54 °C**
Humedad: **95 % máx. (No condensada).**
Altura máx. de operación: **0 – 2000 M.S.N.M.**
Alimentación: **100-220 Vca 50/60 Hz +- 10% - 12Vcc**

Procedimiento De Calibración

Fecha de Calibración: **03-11-2011**
Lugar de Calibración: **Buenos Aires – Argentina**
Validez de la Calibración: **1 Año**

Datos del cilindro:

N° de cilindro: 508484
Proveedor: AGA SA,
N° Certificado: 152751

Valores obtenidos:

Valor cilindro	Valor Medido	Rango permitido	Error absoluto	Error relativo
HC: 2006 propano	HC: 1994 ppm	HC: ± 60 ppm	HC: -12 ppm	HC: - 0.60 %
CO: 3.51	CO: 3.480 %	CO: ± 0.105 %	CO: -0.030 %	CO: -0.862 %
CO2: 14.00	CO2: 14.11 %	CO2: ± 0.420 %	CO2: 0.110 %	CO2: 0.780 %
NOx: 3200	NOx: 3230 ppm	NOx: ± 96 ppm	NOx: 30 ppm	NOx: 0.93 %

Rocka
Electrónica

Luis Rocamora

CAMUZZI GAS PAMPEANA

U. OPERATIVA LA PLATA

RESUMEN MENSUAL DE LAS CROMATOGRAFÍAS DE GASES :

MES: Octubre-11

CANTIDAD DIAS DEL MES =

BUCHANAN
31

VOLUMEN	CALORIAS	DENSIDAD	C3	IC4	NC4	IC5	NC5	CS+	C32	C2	NE	C1	WCOBE
29205617	8984	0.578	0.123	0.009	0.010	0.003	0.001	0.002	0.524	1.886	1.584	95.759	11933
28445663	8953	0.576	0.092	0.003	0.003	0.000	0.000	0.001	0.438	1.740	1.847	95.878	11795
24501709	8952	0.575	0.074	0.003	0.002	0.000	0.000	0.001	0.434	1.687	1.794	98.005	11801
TOTAL	37.5327												
82152386													
PROMEDIO	8967	0.576	0.098	0.005	0.005	0.001	0.000	0.001	0.467	1.811	1.738	95.873	11810

Dist en Frac%		
C6	C7	C8
62.9	31.5	5.6
0.001	0.001	0.000
0.001	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000

0.001	0.000	0.000
-------	-------	-------



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MOTORES



RC-PC-23-05-R01

REGISTROS DE CALIDAD

Fecha: 15/12/09

Título: INFORME DE ENSAYO EN ROLOS

INFORME DE ENSAYOS N°: 039-10

FECHA:	09/12/10
NUMERO DE COPIAS:	2
ORDEN DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS	035-10
NORMA APLICADA	ISO 1585
FECHA DE SOLICITUD DE ENSAYO	07/12/10
FECHA DE RECEPCIÓN	09/12/10
FECHA DE EMISIÓN DE INFORME DE ENSAYO	09/12/10

DATOS DEL CLIENTE:

NOMBRE:	EDUARDO QUIROGA
DIRECCIÓN:	CALLE 27 N° 34
CIUDAD:	LA PLATA
TEL:	0221-4790189
CORREO ELECTRÓNICO:	eduqui@speedy.com.ar

DATOS DEL VEHÍCULO/MOTOR

PATENTE:	IQG 321
NÚMERO DE SERIE DE MOTOR:	K4MA6900043460
TIPO:	SEDAN 4 PUERTAS
COLOR:	GRIS
MARCA:	RENAULT
AÑO:	2010
MODELO:	LOGAN

COMBUSTIBLE UTILIZADO:

El combustible utilizado es provisto por..... **el cliente**.....

Firma J.T.L.:

RESPONSABLES DEL ENSAYO

Ejecutor del ensayo	Supervisor del ensayo	Aprobación por parte del DLEM
Firma:	Firma:	Firma:

Elaboró: JAC	Revisó: JTL	Aprobó : DLEM	Página 1 de 6
--------------	-------------	---------------	---------------

INFORME DE ENSAYO EN ROLOS

PC-23-05-R01

Página 2 de 6

CUADRO DE DATOS RESPECTO A CURVAS ENSAYADAS:

Cliete	Quiroga	<i>Laboratorio de Ensayos de Motores Ensayo de Potencia – ISO 1585</i>					Fecha		09/12/10	
Motor	1.6 L -16V						Temp. admisión		Presión ambiente	
T_{adm} inicial	29.2°C	P_{amb} inicial	1002hPa	f_{corr} inicial	1.022	H% inicial	37%	H inicial	15:30	
T_{adm} final	29.2°C	P_{amb} final	1002hPa	f_{corr} final	1.022	H% final	37%	H final	16:40	
Observaciones de las distintas curvas: E01 - Condición inicial. Combustible: Nafta E01 - Condición inicial. Combustible: Gas (14 mv referidos a presión de inyección) E03- Combustible: Gas. (31.6 mv referidos a presión de inyección)					E01 – E 02 -Curvas superpuestas GNC. Inicial y curva mejorada.					

TEMPERATURAS TOMADAS A DISTINTAS RPM EN TERCERA MARCHA:

RPM	Temp. a nafta (°C)	Temp. a gas (°C)
2500	496	467
3000	546	518
3500	590	560

Nota: Las temperaturas fueron tomadas en el escape antes del catalizador, con una sensor tipo K y un multímetro digital modelo VC-97. Los valores son indicativos ya que el instrumento no cuenta con certificado de calibración.

NOTA:

- ✓ El procedimiento de muestreo de las muestras de ensayos, corre por cuenta del cliente; siendo éste el que las realice, quedando exento por lo tanto el LEM de éste procedimiento.
- ✓ Los resultados solo están relacionados con los ítems ensayados.
- ✓ No se puede reproducir el contenido de éste informe de manera parcial o total sin la autorización por escrito de la Dirección del Laboratorio.
- ✓ El ensayo no es válido sin la firma de los responsables.


Ing. HUGO D. VALLS
 DIRECTOR - L.E.M.



Informe

Ensayo para la medición de gases de escape

Laboratorio de Máquinas Térmicas
Facultad de Ingeniería
UNLP

Noviembre de 2011



Objetivos del ensayo

Las distintas pruebas se realizaron para obtener los valores cuantitativos de los gases contaminantes y otros valores de variables de interés que a continuación se detallan para observar sus diferencias cuando el motor del vehículo Renault Logan se alimenta a nafta o a GNC:

Variable	Unidad de Medida
CO	%Volumen
CO ₂	%Volumen
NOx	ppm
HC	ppm
O ₂	%Volumen
Lambda	Fracción peso en peso
Tiempo de Inyección	milisegundos
Temperatura de gases de escape	°Celsius
Potencia a la rueda	kW

Objeto del ensayo

El vehículo utilizado fue un Renault Logan (dominio IQG-321) con motor 1,6 litros de cilindrada y 16 válvulas (denominación K4M), equipado con el convertidor catalítico original.

Instrumental utilizado

Para la medición de potencia

Se empleó un rolo acoplado a un freno hidráulico, el cual tiene un brazo que lo conecta a una celda de carga. Mediante dicha celda se obtienen los valores de torque absorbido por el freno. Para obtener potencia absorbida se multiplican los valores de torque y rpm, éste último se obtiene mediante un sensor montado en el eje del rolo.

Para la medición de tiempo de inyección

Se empleó un tester del tipo automotriz.

Para la medición de temperatura

Se emplearon termocuplas K montadas en el escape.

Para la medición de los gases contaminantes

Se empleó un equipo RAG modelo gascheck L.



Descripción de los ensayos

Con el coche montado sobre el rolo y luego de que el motor se encontrara a temperatura normal de funcionamiento se procedió a realizar 6 diferentes ensayos, 3 con el motor alimentado a nafta y 3 a gnc:

- ▲ Ralenti: En este ensayo solo se tomaron mediciones con el motor en vacío y a velocidad de ralenti
- ▲ 40 km/h: Para este ensayo se requería que el motor estuviera a un régimen de 1900 rpm y la tercera marcha engranada, aplicándole con el freno del rolo una carga leve.
- ▲ 90km/h: El requerimiento de este ensayo era un régimen del motor de 2500 rpm y la quinta marcha engranada, aplicándole con el freno del rolo una carga moderada.

Resultados

La siguiente tabla fue confeccionada a partir de los datos recolectados durante los ensayos realizados el día 23 de Noviembre de 2011. Las condiciones ambientales de ese día eran 18 °C de temperatura, 77% de humedad y 1010 mbar de presión atmosférica.

	Ralenti		40 km/h		90 km/h	
	Nafta	GNC	Nafta	GNC	Nafta	GNC
CO	0,041	0,001	0,073	0,007	0,159	0,057
CO ₂	12,66	10,08	13,39	11,16	13,83	11,37
NOx	4	37	2277	526	274	906
HC	48	530	57	74	1	51
O ₂	0,140	2,310	0,970	0,340	0,120	0,190
Lambda	0,990	1,150	1,020	1,010	0,950	0,990
Tiempo de Inyección	3,11-3,22	3,05-3,20	4,12-4,24	3,9-4,1	5,15-5,21	4,7-4,8
Temperatura de gases de escape	256,000	230,000	418,000	408,000	558,000	510,000
Potencia a la rueda	0,000	0,000	19,750	19,270	34,290	32,280


Ing. CLAUDIO MARTINS

Properties of Fuels (a)									
Property	Gasoline	No.2 Diesel Fuel	Methanol	Ethanol	MTBE	Propane	Compressed Natural Gas	Hydrogen	Biodiesel
Chemical Formula	C4 to C12	C8 to C25	CH3OH	C2H5OH	(CH3)3COCH3	C3H8	CH4 (83-99%), C2H6 (1-13%)	H2	C12-C22 FAME
Molecular Weight	100-105	~200	32.04	46.07	88.15	44.1	16.04	2.02	~292(g)
Composition, Weight %									
>Carbon	85-88(b)	87(g)	37.5	52.2	68.1	82	75	0	77(g)
>Hydrogen	12-15(b)	13(g)	12.6	13.1	13.7	18	25	100	12(g)
>Oxygen	0	0(g)	49.9	34.7	18.2	-	-	0	11(g)
Specific gravity, 60° F/60° F	0.72-0.78(b)	0.85(g)	0.796(h)	0.794(h)	0.744(k)	0.508(m)	0.424	0.07(o)	0.88(g)
Density, lb/gal @ 60° F	6.0-6.5(b)	7.079(g)	6.63(b)	6.61(b)	6.19(k)	4.22	1.07(n)	-	7.328(g)
Boiling temperature, °F	80-437(b)	356-644(g)	149(h)	172(h)	131(h)	-44(m)	-263.2 to -126.4(m)	-423(m)	599-662(g)
Reid vapor pressure (100° F), psi	8-15(c)	<0.2	4.6(i)	2.3(i)	7.8(i)	208	2400	-	<0.04(r)
Heating value (2)									
>Lower (Btu/gal) (d)	116,090	128,450	57,250	76,330	93,540	84,250	-	-	119,550
>Lower (Btu/lb) (d)	18,676	18,394	8,637	11,585	15,091	19,900	20,263	52,217	16,131
>Higher (Btu/gal) (d)	124,340	137,380	65,200	84,830	101,130	91,420	-	-	127,960
>Higher (Btu/lb) (d)	20,004	19,873	9,837	12,830	16,316	21,594	22,449	59,806	17,266
Octane no.(1)									
>Research octane no.	88-98(c)	-	-	-	-	112	-	130+	-
>Motor octane no.	80-88(c)	-	-	-	-	97	-	-	-
Cetane no. (1)	-	40-55(g)	-	0-54(f)	-	-	-	-	48-65(g)
Freezing point, °F	-40(e)	-40-30(4)	-143.5	-173.2	-164(h)	-306.8(m)	-296	-435(p)	26-60(g)(7)
Viscosity, mm ² /s									
>@104 °F	-	1.3-4.1(g)	-	-	-	-	-	-	4.0-6.0(g)
>@68 °F	0.5-0.6(f)	2.8-5.0(f)	0.74(f)	1.50(f)	0.47(f)	-	-	-	-
>@-4 °F	0.8-1.0(f)	9.0-24.0(f)	1.345(f)	3.435(f)	0.77(f)	-	-	-	-
Flash point, closed cup, °F	-45(b)	140-178(g)	52(i)	55(i)	-14(c)	-156(m)	-300	-	212-338(g)
Autoignition temperature, °F	495(b)	~600	867(b)	793(b)	815	842(m)	900-1170(m)	932(m)	-
Water solubility, @ 70° F									
>Fuel in water, volume %	Negligible	Negligible	100(h)	100(h)	4.8(f)	-	-	-	-
>Water in fuel, volume %	Negligible	Negligible	100(h)	100(h)	1.5(f)	-	-	-	-
Flammability limits, volume%									
>Lower	1.4(b)	1.0	7.3(i)	4.3(i)	1.6(c,e)	2.2	5.3	4.1(o)	-
>Higher	7.6(b)	6.0	36.0(i)	19.0(i)	8.4(c,e)	9.5	15	74(o)	-
Latent heat of vaporization									
>Btu/gal @ 60° F	~900(b)	~710	3,340(b)	2,378(b)	863(5)	775	-	-	-
>Btu/lb @ 60° F	~150	~100	506(b)	396(b)	138(5)	193.1	219	192.1(p)	-
Specific heat, Btu/lb °F	0.48(e)	0.43	0.60(j)	0.57(j)	0.50(j)	-	-	-	-
Stoichiometric air/fuel, weight	14.7	14.7	6.45	9.00	11.7	15.7	17.2	34.3(o)	13.8(g)
Volume % fuel in vaporized stoichiometric mixture	2.0 (b)	-	12.3(b)	6.5(b)	2.7(i)	-	-	-	-

Sources:

- (a) The basis of this table and associated references was taken from: American Petroleum Institute (API), Alcohols and Ethers, Publication No. 4261, 3rd ed. (Washington, DC, June 2001), Table B-1.
- (b) "Alcohols: A Technical Assessment of Their Application as Motor Fuels," API Publication No. 4261, July 1976.
- (c) Petroleum Product Surveys, Motor Gasoline, Summer 1986, Winter 1986/1987, National Institute for Petroleum and Energy Research.
- (d) Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation (GREET) Model, Argonne National Laboratory, accessed 11-20-06
- (e) "Status of Alcohol Fuels Utilization Technology for Highway Transportation: A 1981 Perspective," Vol. 1, Spark-Ignition Engine, May 1982, DOE/CE-56051-7.
- (f) American Petroleum Institute (API), Alcohols and Ethers, Publication No. 4261, 3rd ed. (Washington, DC, June 2001), Table 2
- (g) J. Tuttle and T. von Kuegelgen, Biodiesel Handling and Use Guidelines--Third Edition, National Renewable Energy Laboratory, 2004.
- (h) Handbook of Chemistry and Physics, 62nd Edition, 1981, The Chemical Rubber Company Press, Inc.
- (i) API Technical Data Book - Petroleum Refining, Volume I, Chapter I, Revised Chapter 1 to First, Second, Third and Fourth Editions, 1988.
- (j) "Data Compilation Tables of Properties of Pure Compounds," Design Institute for Physical Property Data, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1984.
- (k) API Monograph Series, Publication 723, "Teri-Butyl Methyl Ether," 1984.
- (l) ARCO Chemical Company, 1987.
- (m) Praxair, Inc. Material Safety Data Sheets for Propane, CNG, and Hydrogen. September 2004. Danbury, CT USA.
- (n) Value at 80 degrees F with respect to the water at 60 degrees F (Mueller & Associates).
- (o) C. Borousbay and T. Nejat Veziroglu, "Hydrogen as a Fuel for Spark Ignition Engines," Alternative Energy Sources VIII, Volume 2, Research and Development (New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1989), pp. 559-560.
- (p) Technical Data Book, Prepared by Gulf Research and Development Company, Pittsburgh, PA, 1962.
- (q) National Biodiesel Board, "Soybean Methyl Ester Formula and Molecular Weight". Accessed at www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/Weight&Formula.PDF on 11-20-06
- (r) National Biodiesel Board, "Biodiesel Fact Sheet", accessed at www.biodiesel.org.au/biodieselfacts.htm on 11-20-06.

Notes

- (1) Octane values are for pure components. Laboratory engine Research and Motor octane rating procedures are not suitable for use with neat oxygenates. Octane values obtained by these methods are not useful in determining knock-limited compression ratios for vehicles operating on neat oxygenates and do not represent octane performance of oxygenates when blended with hydrocarbons. Similar problems exist for cetane rating procedures.
- (2) Since no vehicles in use, or currently being developed for future use, have powerplants capable of condensing the moisture of combustion, the lower heating value should be used for practical comparisons between fuels.
- (4) Pour Point, ASTM D 97 from Reference (c).
- (5) Based on cetane.
- (6) For compressed gas at 2,400 psi.
- (7) Cloud Point.

Información sobre el Autor y la Tesis

EDUARDO ALBERTO QUIROGA RAMOS

Perfil Profesional

Gerenciamiento de Empresas de Gas Natural Comprimido
Talleres de conversión y Estaciones de Servicio

Título de grado

1981 Ingeniero en Electrónica y Electricidad, Universidad de Mendoza

Estudios de post grado

1984 Ingeniero Ferroviario, Fac. de Ingeniería Universidad de Buenos Aires
2008 Especialista en Ingeniería Ambiental Facultad Regional La Plata - UTN
2012 Magister en Ingeniería Ambiental FR La Plata - UTN

Experiencia Laboral

1984	Ferrocarriles Argentinos Talleres de Vía y Obras La Plata (Metalúrgico) Ingeniero Asistente Técnico
1984-1986	Ferrocarriles Argentinos Talleres de Vía y Obras La Plata (Metalúrgico) Jefe de Mantenimiento de Planta
1986- Actual	Gerenciamiento de Empresas y obras de GNC
1990	Desarrollo de motor dedicado a GNC para camiones. Municipalidad de La Plata . Desarrollo conjunto Ing. R. Ulibarri
2000	Desarrollo conversión a GNC motor diesel Peugeot Desarrollo conjunto Ing. R. Ulibarri

Docencia

1982-1983	Jefe Trabajos Prácticos Cat. Proyecto de Equipos Electrónicos Jefe Trabajos Prácticos Cat. Técnica de Pulsos Facultad de Ingeniería Universidad de Mendoza
-----------	---

Cursos-seminarios

Cursos varios de Electrónica
Análisis de Problemas y Toma de Decisiones, Kepner Tregoe FFCC 1983
Marketing en Gerencia Empresarial, Fac. Reg La Plata UTN 1990
Seminario de Z Marketing Fac. Cs Económicas UNLP 1991

Tesis para la Maestría en Ingeniería Ambiental

Titulo:

Una solución tecnológicamente viable, para la reducción de las emisiones en vehículos de inyección electrónica secuencial, propulsados a gas natural

Autor: Mg. Ing. Eduardo A. Quiroga Ramos

Director de tesis: Ing. Mario Rosato

Jurado: Dr. Vicente Lescano, Dr. Jorge Reyna Almandos, Ing. Juan Sacco

Fecha de defensa: 5/11/2012

Aprobada: **Sobresaliente**

© Derechos de autor reservados Expte. 5089686 DNDA

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar