

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS DEL SECTOR AUTOTRANSPORTE EN MÉXICO

Informe final



2017

MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO



Coordinación General
de Mitigación del
Cambio Climático

Blvd. Adolfo Ruíz Cortines 4209, Jardines en la Montaña,
Ciudad de México, C.P. 14210. Tel. +52 (55) 54246400.
Fax. +52 (55) 54245404.

www.gob.mx/inecc

CATÁLOGO DE TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS DEL SECTOR AUTOTRANSPORTE EN MÉXICO

No. de contrato: Cooperación Danesa

Ole Kveiborg
Uriel González
Kim Winther
Responsable del Proyecto
COWI.

Fecha: 30 de junio de 2017

DIRECTORIO

Dra. María Amparo Martínez Arroyo

Dirección General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Dra. Claudia Alejandra Octaviano Villasana

Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático

Ing. Oscar Sebastian Araiza Bolaños

Dirección de Proyectos Estratégicos de Tecnologías de Bajo Carbono

Mtro. Alejandro Castillo Antonio

Subdirección de Diseño y Financiamiento de Proyectos de Bajo Carbono

Ing. Allan Hellmer Cariño

Jefatura de Departamento de Vinculación y Esquemas Financieros

Dr. Ole Kveiborg

Jefe de Proyecto, COWI

Dr. Uriel González Macías

Consultor, COWI

Kim Winther

Asesor Técnico, Instituto Tecnológico Danés

D.R. © Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Periférico Sur 5000. Col. Insurgentes Cuicuilco

C.P. 04530. Delegación Coyoacán, México D.F.

<http://www.gob.mx/inecc>

Contenido

1. Introducción al catálogo de tecnología.....	6
Reconocimiento	6
Introducción general	6
Desarrollo en la energía para el transporte y las emisiones	8
2. Visión General del Sector de Transporte Vial en México	10
Sector de producción de vehículos en México	10
Consumo de Combustibles	12
Evolución en la flota de vehículos mexicanos	14
Calidad del Combustible	17
Tecnologías de transporte de bajo carbono con potencial para México	18
3. Tecnologías de transporte con bajas emisiones de carbono	33
Gas natural y biometano	35
Vehículos híbridos eléctricos.....	45
Vehículos eléctricos de batería (BEV, por sus siglas en inglés)	48
Hidrógeno	54
4. Hojas de datos.....	60
Elementos de las hojas de datos	60
Principales fuentes utilizadas en las hojas de datos.....	61
Tecnologías cubiertas.....	64
Supuestos básicos y cálculos	67
5. Bibliografía	69

Abreviaturas

AIE	Agencia Internacional de Energía
AMIA	Asociación Mexicana de la Industria Automotriz
ANPACT	Asociación Nacional de Productores de Autobuses, Camiones y Tracto camiones
ATEX	Directiva de la UE 94/9/CE (Equipos para uso en atmósferas explosivas)
BEV	Vehículo Eléctrico de Batería
CAPEX	Gastos de capital
CCMEP	Cooperación México-Dinamarca en Energía y Mitigación del Cambio Climático
CCVC	Contaminantes climáticos de vida corta
C&I	Control e Instrumentación
CH ₄	Metano
CN	Carbono negro
CO	Óxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CSP	Energía Solar Concentrada
ESIA	Evaluación del Impacto Ambiental y Social
GEM	Modelo de Emisiones de Efecto Invernadero
GFEI	Iniciativa Mundial para el Ahorro de Combustible
GEI	Gases de Efecto Invernadero, por ejemplo, CO ₂ y CH ₄
GJ	Giga joule
GVW	Peso Bruto Vehicular
HCCI	Carga Homogénea y Encendido por Compresión
HDV	Vehículos de servicio pesado (vehículos con un GVW mayor de 3857 Kg)
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
Kg	Kilogramo
GLP	Gas Licuado del Petróleo
GNC	Gas natural comprimido
LDV	Vehículos de servicio ligero (automóviles de pasajeros y camionetas pequeñas con un GVW inferior a 3.875 Kg)
MDV	Vehículos de servicio medio
MJ	Mega joule
Mt	Toneladas métricas
MW	Mega watt

MWh	Mega watt hora
NEDC	Nuevo Ciclo de Conducción Europeo
NO _x	Óxido de nitrógeno
OECD	Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo
OICA	Organización Internacional de Constructores de Automóviles
O&M	Operaciones y mantenimiento
OPEX	Gastos de operación
PIB	Producto Interno Bruto
PHEV	Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable
R&D	Investigación y Desarrollo
RGE	Recirculación de Gases de Escape
S	Azufre
SO ₂	Dióxido de azufre
UE	Unión Europea

1. Introducción al catálogo de tecnología

Reconocimiento

El INECC, desea expresar su agradecimiento a la Agencia Danesa de Energía y al equipo de COWI, que apoyaron el desarrollo del catálogo de tecnología y, de manera especial, a los distintos expertos mexicanos del gobierno, del sector privado y del sector académico que han contribuido al establecimiento del catálogo.

Introducción general

El sector de transporte es el mayor emisor de GEI y CCVC en México. En 2013, las emisiones totales del sector llegaron a 191 MtCO_{2e}, compuesto por 166 MtCO_{2e} de GEI y 25 MtCO_{2e} de carbono negro (CN) de vehículos de motor, ferrocarriles, buques y aeronaves (INECC, 2015). Según el INECC (2015), los productos derivados del petróleo representan el 99% del consumo energético de este sector y representa el 44% del consumo total de energía del país. Del consumo energético total del sector, el 92% corresponde a vehículos viales. El transporte vial incluye las emisiones de los vehículos de motor diésel y gasolina que representa 176 MtCO_{2e}, lo que equivale al 22% de las emisiones totales del país (INECC, 2015). Hay una serie de posibilidades disponibles, ahora y en el futuro, capaces de reducir las emisiones. Las tecnologías se desarrollan constantemente para volverse más limpias y los motores se vuelven más eficientes en energía. Además, se están desarrollando combustibles de transporte alternativos que podrán contribuir, aún más, a la reducción de los efectos de las emisiones.

Además de las soluciones tecnológicas, es importante incluir el comportamiento de las personas en la búsqueda de reducir las emisiones. Sin embargo, este catálogo tecnológico no aborda este último elemento de comportamiento, sino que considera las opciones tecnológicas en el sector del transporte que pueden contribuir a la reducción de las emisiones.

El INECC, en el marco de la Cooperación México-Dinamarca en energía y mitigación del cambio climático (CCMEP, por sus siglas en inglés), presenta este catálogo como una herramienta para los planificadores, las organizaciones de interés, las autoridades y los inversores del sector del transporte, para facilitar el análisis del desarrollo en el medio ambiente y los impactos climáticos del sector del transporte.

El catálogo presenta la situación actual del sector de transporte en México y las tecnologías de transporte de bajo contenido de carbono disponibles en el mercado mundial, y esboza las posibilidades y tecnologías futuras que pueden introducirse en el mercado de transporte mexicano, para proporcionar una base para utilizar los diferentes insumos presentados en este catálogo. Este catálogo refleja los datos que se pudieron obtener hasta la finalización del mismo y podrá ser actualizado en un futuro, con los datos correspondientes.

Antecedentes

En la COP21, en Copenhague, se inició la colaboración entre México y Dinamarca con la Cooperación México-Dinamarca sobre energía y mitigación del cambio climático (CCMEP). El objetivo del CCMEP fue apoyar a México en su ambicioso objetivo de reducir el 22% de GEI y el 51% de carbono negro en 2030, en comparación con el 2013.¹

Este catálogo tecnológico se desarrolla como un método para asegurar que los parámetros técnicos y de emisión claves para el transporte, utilizados por las diferentes partes interesadas, sean coherentes y contribuyan así a la adopción oportuna de las nuevas tecnologías de baja emisión de carbono.

El catálogo, presenta una gama de diferentes tecnologías de transporte disponibles en el mercado mundial de hoy y describe las posibilidades futuras, así como las tecnologías que se pueden introducir en el mercado de transporte en México.

La información presentada en el catálogo de transporte, las hojas de datos y los datos complementarios provienen de fuentes nacionales e internacionales y han sido discutidas y validadas con un gran grupo de actores mexicanos. Los datos proporcionan las mejores estimaciones de los efectos.

Alcance

El propósito de este catálogo es apoyar la planificación estratégica para reducir las emisiones de GEI, carbono negro y las emisiones atmosféricas locales para el 2030 en México. El catálogo equipa a desarrolladores de proyectos, planificadores de transporte y autoridades en México con un enfoque y metodología estandarizados para el análisis de diferentes soluciones tecnológicas. El catálogo, tiene como objetivo presentar las diferentes tecnologías con sus potencialidades y

¹ http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/162973/2015_indc_ing.pdf

barreras. Además, presenta el desarrollo esperado en las tecnologías para los próximos años.

Para apoyar la evaluación de las diferentes posibilidades, el catálogo caracteriza las tecnologías más comunes, ya sea en el mercado actual o las que se espera que se presenten, más ampliamente, en el mercado dentro de los próximos años.

Desarrollo en la energía para el transporte y las emisiones

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE, 2017), las mejoras en la eficiencia de los vehículos constituyen el factor más importante para reducir la huella de carbono del sector del transporte en el futuro. Las mejoras de eficiencia son necesarias para compensar el creciente número de vehículos en la vía pública. La AIE prevé que el número total de vehículos de servicio ligero (LDV, por sus siglas en inglés) a nivel mundial se duplicará entre 2015 y 2050. Esto puede verse en la Figura 1-1 a continuación. La figura también predice que la gran mayoría de LDV en las vías públicas en el 2050 se basará en líneas de transmisión de alta eficiencia como las pilas de combustible, eléctricos e híbridos. Sólo una minoría se basará en motores convencionales de gasolina, diésel o gas.

Global portfolio of PLDV technologies (2DS)

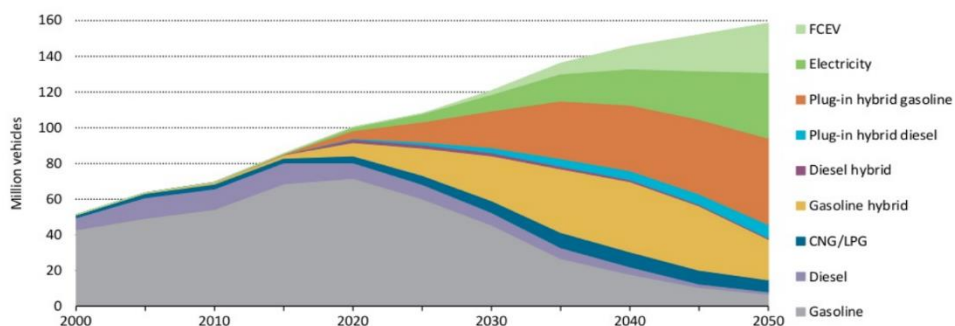


Figura 1-1: Número de Vehículos Ligeros proyectados globalmente por la AIE (Escenario de 2 Grados)

Para contrarrestar el crecimiento anticipado del número de LDV en la vía pública, la AIE sugiere que la eficiencia del vehículo debe mejorar significativamente hacia el 2050 con el fin de evitar un aumento en la huella de CO2 del sector LDV. Esto se debe, principalmente, a las limitaciones previstas en la cantidad de biocombustibles producidos de manera sostenible en el futuro. La AIE ha encontrado que los biocombustibles sólo cubrieron alrededor del 10% de la demanda mundial de energía en el 2012. Ésto no aumentará significativamente si no hay una mejora en la eficiencia. Sin embargo, la AIE predice que la eficiencia

del vehículo mejorará significativamente. Con la mejora de la eficiencia incluida, los recursos de biocombustibles podrán cubrir el 27.2% de la demanda total. Este desarrollo se puede ver en la Figura 1-2.²

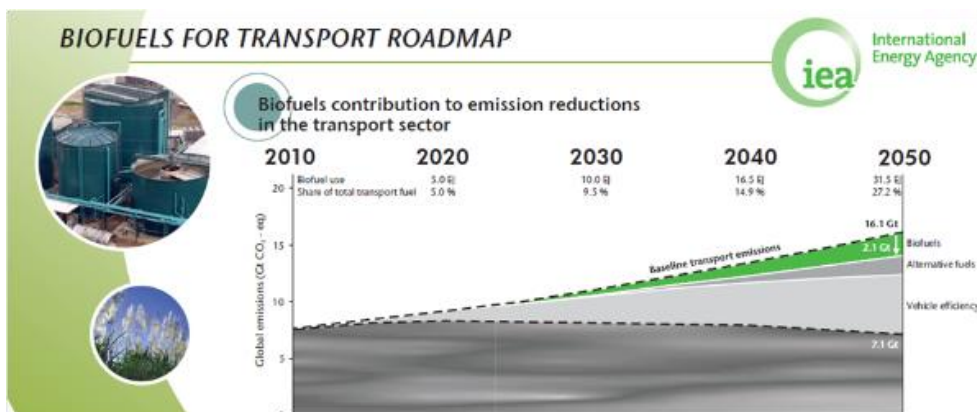


Figura 1-2 Combinación de biocombustibles y mejoras en la eficiencia del vehículo hacia el 2050 según la AIE. Fuente (AIE, 2011)

Mirando específicamente los LDV, la AIE junto con otras organizaciones han definido los Objetivos de consumo de Combustible del GFEI, que se muestran en la Figura 1-3. Estos objetivos, por ambiciosos que sean, demuestran que una mejora del 50% en el consumo de combustible (volumen de combustible utilizado por unidad de distancia) puede considerarse realista.



Figura 1-3 Objetivos de eficiencia establecidos por la Iniciativa Mundial para el Ahorro de Combustible.

² Hay muchas predicciones similares de otras organizaciones, y se actualizan regularmente. La mayoría de éstos están dentro del mismo nivel que la AIE.

2. Visión General del Sector de Transporte Vial en México

Sector de producción de vehículos en México

México es un actor importante en el mercado de la producción de vehículos. De acuerdo con la AMIA, se produjeron 3.5 millones de LDV durante 2016. México ocupa el sexto lugar a nivel mundial como fabricante de vehículos, el primero en Latinoamérica y el cuarto en el mundo como exportador de automóviles. México ocupa el quinto lugar como exportador de autopartes y es el primer proveedor de piezas de automóviles para el mercado estadounidense (Fuente: OICA³).

Del 2008 al 2015, el sector de la industria automotriz mexicana contribuyó al Producto Interno Bruto (PIB) de México con un crecimiento del 58%, el segundo sector en tamaño, justo detrás de la industria alimentaria, cerrando la brecha en los últimos años (INEGI, 2016).

Hoy en día, el valor económico de las exportaciones de la industria automotriz representa el 6.7% de las exportaciones mundiales de la industria automotriz. Alrededor del 60% de la actividad económica de la industria automotriz está concentrada en cuatro estados, Sonora, Coahuila, Puebla y la Ciudad de México. Además, de la industria completa (vehículos ligeros y pesados y autopartes), las exportaciones representan el 69% del valor económico. (Fuente: AMIA con información del INEGI).

En el 2016, la producción automotriz mexicana fue de 3.46 millones y creció en un promedio de 8.2% durante los últimos 6 años. El crecimiento anual proyectado es de 8.6% hasta el 2020. Del total de la producción de automóviles mexicanos, se exportaron 2.77 millones de unidades y el resto se destinó al mercado local (es decir, el 80% de la producción es para mercados no mexicanos). En la Figura 2-1, se muestra la producción mexicana de LDV. Las marcas representan las exportaciones como porcentaje de la producción total.

³ OICA Organización Internacional de Constructores de Automóviles.
<http://www.oica.net/category/production-statistics/>

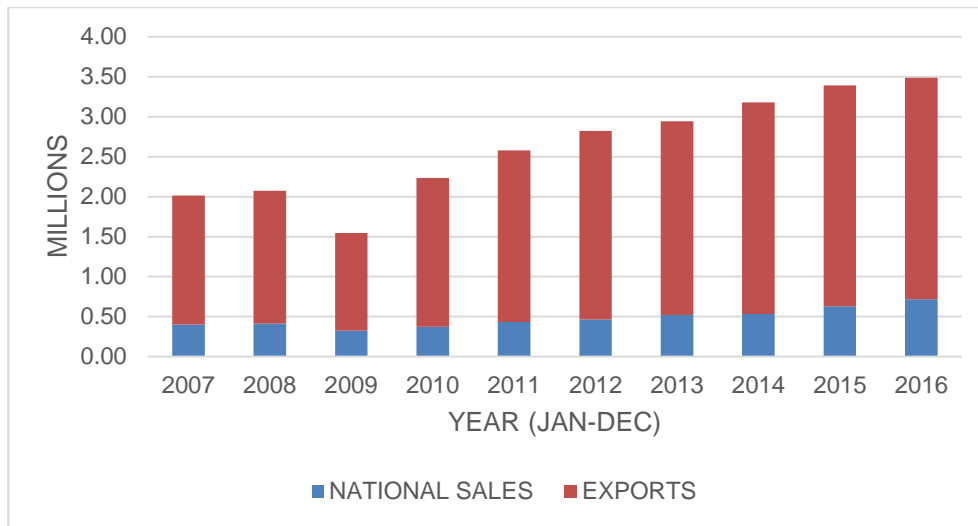


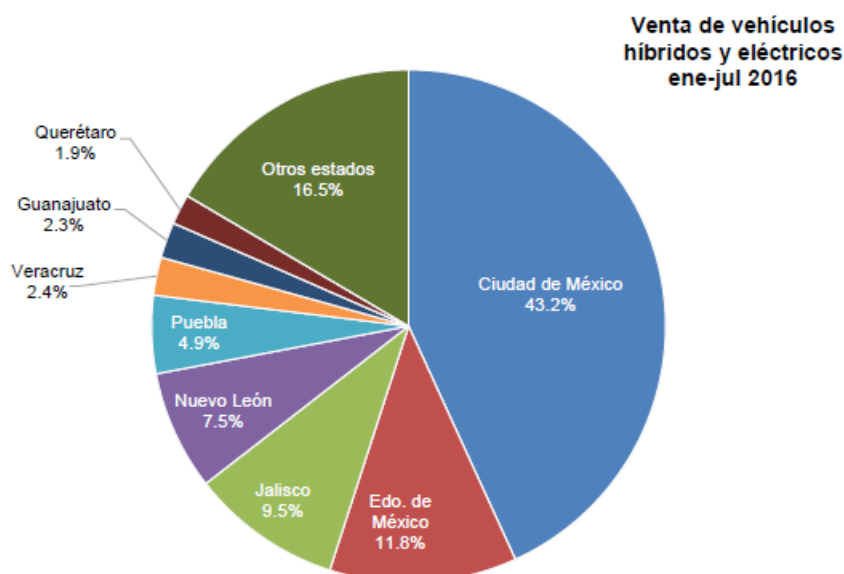
Figura 2-1: Producción de automóviles en México. Fuente: Elaboración propia con datos de la AMIA.

Del total de ventas de vehículos ligeros en México (1,603,896 para el año 2016), el 45% fue producido localmente y el 55% fue importado de otros países. Para el 2016, las ventas totales de LDV en Estados Unidos fueron de 17.5 millones (FORBES, enero 2017), casi 10 veces las ventas mexicanas, mostrando una dinámica de mercado muy diferente entre los dos países en cuanto a tamaño, tasa de motorización y la vida útil de los vehículos. A pesar de las diferencias, las ventas de autos locales mexicanos en 2016 crecieron un 18.6% respecto al 2015, el mayor aumento de ventas de todos los tiempos.

Las importaciones de vehículos ligeros durante el año 2016 fueron cercanas a 900,000 unidades, y casi la mitad de estos vehículos fueron importados de Asia, el 20% de la región de TLCAN y el resto del MERCOSUR y las regiones europeas, de acuerdo con los datos de la AMIA.

La comercialización de vehículos eléctricos e híbridos en México está empezando a crecer. Durante el año 2016, las ventas acumuladas hasta septiembre fueron de 5,495 LDV con un 46% de las ventas en la Ciudad de México y en el Estado de México, asociadas principalmente a la exención del Programa Local "Hoy no Circula" y los aumentos progresivos de los combustibles. El mercado de vehículos híbridos es incipiente, sin embargo, la AMIA muestra tasas de crecimiento muy altas durante los últimos años y especialmente durante el 2016. La industria mexicana ofrece alrededor de 18 modelos diferentes para tecnologías de baja emisión de carbono (vehículos eléctricos e híbridos) de diferentes marcas.

En el sector de vehículos pesados, los vehículos híbridos y eléctricos son casi insignificantes, con opciones comerciales muy limitadas. De acuerdo con la ANPACT, la producción total de vehículos de servicio pesados (HDV, por sus siglas en inglés) en 2014 fue de 169,000 unidades, con exportaciones totales del 73% de la producción y un crecimiento promedio del 19% durante los últimos cinco años. Los números muestran un desempeño similar al del sector industrial de vehículos ligeros, no en tamaño, sino en el balance de importación-exportación y las tasas de crecimiento. Estas similitudes están asociadas con la fuerte dependencia de la industria automovilística y la economía.



*Figura 2-2: Distribución geográfica de las ventas de vehículos eléctricos e híbridos.
Fuente: AMIA, julio 2016*

Consumo de Combustibles

Los principales combustibles utilizados en el transporte vial en México son las gasolinas, el diésel y el GLP, con un consumo promedio de combustible en 2015 de 794,317,2 y 35.3 mil barriles diarios, respectivamente (Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2016-2030, SENER, 2016). México tiene una importante dependencia de las importaciones de combustibles, con un 41% de diésel y un 56% de gasolinas importadas; esta tendencia está en un crecimiento continuo.

De acuerdo con AUTO-GAS (2017), México es uno de los mayores mercados de vehículos de gas LP en el mundo, con 250,000 vehículos y representa el 2.2% del total de combustible consumido por la flota nacional de vehículos. Sobre la infraestructura de suministro, México cuenta con 2,150 estaciones de servicio de GLP. Todos los vehículos que consumen GLP fueron reacondicionados de

vehículos diseñados originalmente para quemar gasolina. Se estimó para el 2014, tres mil nuevos vehículos de Gas Natural Comprimido (GNC) que utilizan gas natural como combustible (SENER, 2016).

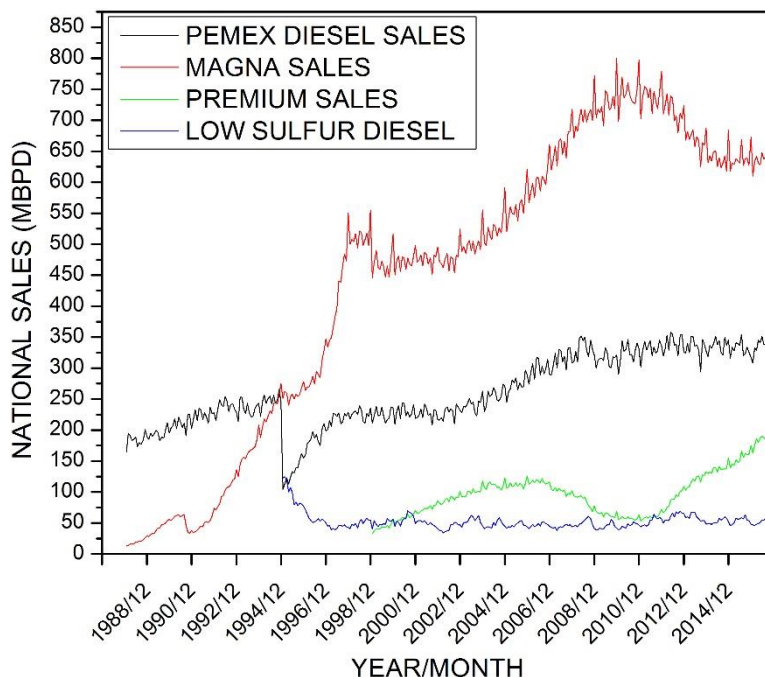


Figura 2-3: Ventas de combustible por mes. (Elaboración INECC con datos del INEGI).

Las normas para el ahorro de combustible en autos ligeros de 2013 fueron las primeras en ser lanzadas en toda América Latina y establecen los estándares de los vehículos modelo 2013 a 2016. Estas últimas normas se armonizan con las establecidas por la Administración Nacional de Seguridad en el Tráfico de Carreteras (NHTSA, por sus siglas en inglés) en los Estados Unidos. Sin embargo, son aún menos estrictas que la norma en la Unión Europea para el 2015 (14,4 Km/l versus 18 Km/l como estándares de consumo de combustible promedio para gasolina y diésel, respectivamente). Recientemente, México aprobó una extensión de los límites reales para los vehículos modelo 2017 (DOF: 24/06/2016).

Actualmente, se están desarrollando estándares de ahorro de combustible para vehículos pesados y se espera que sean publicados para junio de 2019, es decir, los vehículos modelo 2020, en coincidencia con la aplicación en México de las normas de emisiones EPA 2010/EURO VI. Uno de las causas del retraso en la

implementación de las normas, es la ausencia de la distribución del Diésel Ultra Bajo en Azufre en todo el país.

Evolución en la flota de vehículos mexicanos

La dinámica de la flota de vehículos mexicanos tiene muchos componentes diferentes. Los hallazgos más importantes se describen a continuación.

Los vehículos usados importados representan un elemento significativo en la composición de la flota mexicana. En algunos años (2006-2007) el número de automóviles usados importados de los Estados Unidos y Canadá es mayor que el de las ventas de automóviles nuevos en México o al total de unidades exportadas desde México, especialmente para el período 2005-2008, ver la Figura 2-4.

En la figura, las marcas representan los valores de vehículos usados importados, en la incorporación anual de automóviles al registro nacional. Durante los años 2006 y 2007, el número de vehículos usados importados fue superior al de las ventas mexicanas, sin embargo, durante los últimos años la participación de automóviles usados importados ha caído. A finales de 2016, los vehículos importados representan sólo el 11% de los nuevos vehículos matriculados.

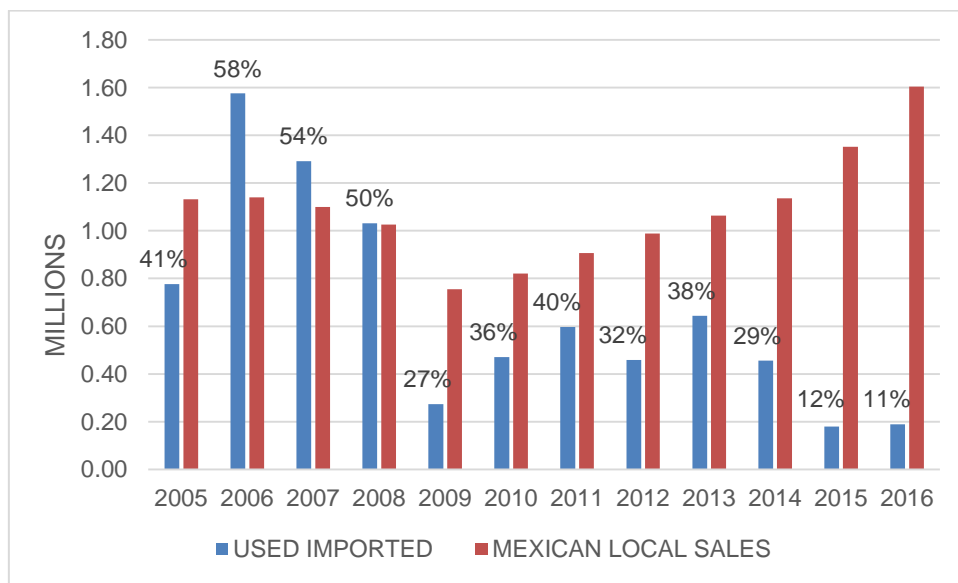


Figura 2-4: Matriculaciones de turismos nuevos. Automóviles nuevos y automóviles usados importados. Fuente: Elaboración INECC a partir de datos de ventas de la AMIA.

El flujo comercial de vehículos usados entre México y los Estados Unidos, está influenciado por regulaciones locales y federales tanto de Estados Unidos como de México; al mismo tiempo, están fuertemente respaldados por el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), estableciendo la obligación de comercialización y restringiendo las ventas de los automóviles último modelo. Los datos de vehículos usados importados, por definición tienen importantes incertidumbres. Sin embargo, no hay una explicación inmediata para la diferencia en la contabilidad.

La edad promedio de los vehículos en México es, para los vehículos ligeros privados, de alrededor de 13 años; para los vehículos pesados es de alrededor de 15 años para los camiones remolque, o es mayor (17 años) para los vehículos de carga con un peso bruto inferior a 3 toneladas (INECC, 2017). En la figura 2-5, se presenta la edad promedio para las diferentes categorías de la flota.

Vehículo	Edad promedio
Automóviles privados	13
Taxis	6
Camionetas	13
Combi	10
Pickup	19
Camión <3Ton	17
Camión >3Ton	16
Autobús	14
Tráiler	15

Figura 2-5: Edad promedio de la flota mexicana por tipo de vehículo. (INECC, 2017).

El registro nacional de vehículos en uso, muestra una tendencia predecible y una pobre dependencia en el crecimiento económico mexicano. El crecimiento de la flota nacional por año muestra una mayor dependencia de los vehículos usados importados que de las ventas locales globales, lo que sugiere una importante influencia de mega diversidad y un sector de flota de baja regulación (vea la Figura 2-6).

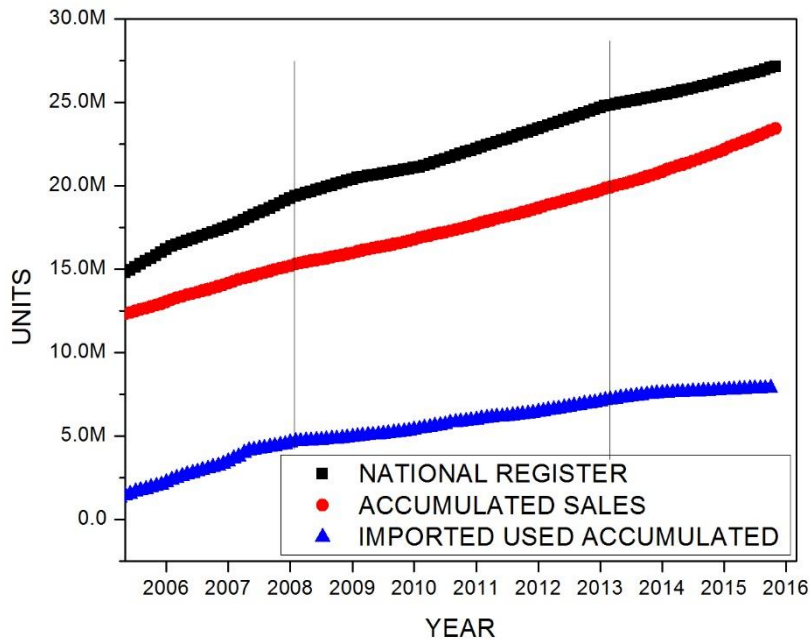


Figura 2-6: Número de vehículos ligeros registrados en la flota de vehículos mexicanos y la relación con las ventas locales y vehículos usados importados. Fuente: Formulario de auto-elaboración y Estadísticas INEGI.

El sector del transporte vial es uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero y, en particular, al CO₂ (Figura 2-7).

CUADRO 1 • Emisiones de GEI en 2013 (Gg de CO₂e)

Emisiones totales de GEI (Gg de CO ₂ e)								
Total: 665,304.92								
Sectores	Total GEI	Participación sectorial	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	PFC	SF ₆
Fuentes móviles	174,156.53	26.2%	169,863.14	273.16	1,334.66	2,685.58		
Generación eléctrica	126,607.66	19%	125,966.81	110.29	530.56			
Residencial y comercial	25,639.35	3.9%	23,028.00	2,281.06	330.28			
Petróleo y gas	80,455.26	12.1%	49,510.60	30,944.66				
Industria	114,949.19	17.3%	97,864.44	9,910.30	518.70	6,464.06		191.69
Agropecuaria	80,169.09	12%	376.99	54,620.30	25,171.79			
Residuos*	30,902.99	4.6%	1,630.11	27,391.44	1,881.44			
USCUSS**	32,424.86	4.9%	31,461.60	633.51	329.75			
Emisiones totales	665,304.92	100%	499,701.68	126,164.73	30,097.18	9,149.64		191.69
Participación por gas (emisiones totales)	100%		75.1%	19%	4.5%	1.37%	0.0%	0.03%
Permanencias USCUSS ***	-172,997.61	100%	-172,997.61					
Emisiones netas	492,307.31	100%	326,704.07	126,164.73	30,097.18	9,149.64		191.69
Participación por gas (emisiones netas)	100%		66.4%	25.6%	6.1%	1.86%	0.0%	0.04%

Notas:

La suma de los parciales puede no coincidir con los totales debido al redondeo de las cifras.

Los Potenciales de Calentamiento Global (PCG100) empleados en este cálculo para los GEI corresponden al Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5, por sus siglas en inglés) (IPCC, 2013).

Las celdas vacías significan que no hay emisión de este contaminante (o absorción de CO₂).

* Incluye RSU y residuos peligrosos, así como tratamiento y eliminación de aguas residuales.

** Incluye las absorciones de tierras convertidas a tierras forestales.

*** Incluye las permanencias de las tierras forestales, pastizales y tierras agrícolas.

Figura 2-7: Contribución a las emisiones de GEI por categoría. Fuente: INECC, 2015.

Calidad del Combustible

Durante años, la introducción de las mejores tecnologías mundiales de emisiones en los vehículos de gasolina y diésel en México se retrasó debido a problemas en la calidad del combustible. En los últimos años, este retraso se asocia con el contenido de azufre en los combustibles.

Los contenidos máximos de azufre son relevantes, ya que los combustibles de ultra bajo contenido en azufre actúan como un disparador tecnológico para los dispositivos de post tratamiento y son esenciales para los convertidores catalíticos de NO_x de alta eficiencia en vehículos de gasolina, para trampas de partículas, convertidores catalíticos oxidativos y la reducción catalítica selectiva en el diésel.

En México, la calidad del combustible está regulada por la norma "NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos", publicada en agosto de 2016 y vigente desde octubre de 2016. Como parte de este reglamento, se establecen las especificaciones para gasolinas, diésel y GLP. De acuerdo con la norma, en la actualidad, las gasolinas deben tener un contenido máximo de azufre de 30 ppm como media, con un máximo de 80 ppm.

Para el diésel, el máximo contenido de azufre en todo el país es de 500 ppm y de 15 ppm en las grandes ciudades como la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara, en la frontera con Estados Unidos y en 11 corredores de 10,000 km. Estos corredores fueron diseñados de acuerdo con la infraestructura de producción y logística de PEMEX, la disponibilidad de combustible y la red de distribución de gasoductos. Para el 31 de diciembre de 2018, el contenido de azufre en el diésel debe ser de 15 ppm en todo México. Sin embargo, sería conveniente revisar los mecanismos de aplicación de la ley para producir, importar y vender estos combustibles.

A pesar de la disponibilidad de combustibles de ultra bajo azufre en México, de acuerdo con las normas mexicanas de emisiones, las mejores tecnologías de emisiones disponibles comercialmente (TIER 2 para vehículos ligeros y EPA 2010/EURO VI para vehículos pesados) no serán incorporado en los vehículos nuevos hasta cierto tiempo después de que los combustibles de ultra bajo contenido de azufre cubrieran todo el país. Este retraso es de 18 meses para los vehículos ligeros y de 6 meses para los vehículos pesados. Estos intervalos se proponen con el fin de evitar el almacenamiento de existencias. Hoy en día, de acuerdo con la información disponible, es posible disminuir estos períodos, sin embargo, es relevante la discusión con la industria automotriz para obtener estos beneficios ambientales lo antes posible..

Tecnologías de transporte de bajo carbono con potencial para México

Las tecnologías de transporte contribuyen de manera diferente a la posible reducción del consumo de energía y las emisiones. Para algunas tecnologías, los cambios se producen debido a una mayor eficiencia y mejoras generales en el funcionamiento de las tecnologías. Otras tecnologías son más recientes en el sector del transporte o aún no han madurado a una plena introducción en el mercado.

En esta sección, se presenta una visión general del desarrollo potencial de las tecnologías existentes junto con una visión general de las nuevas tecnologías, que podrían introducirse en el mercado local (mexicano) en los próximos años.

Opciones tecnológicas para LDV

En cuanto a las ganancias de eficiencia ya obtenidas por la industria automotriz, se puede verificar en la Figura 2-8 que las emisiones de CO₂ de los automóviles nuevos en el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC, por sus siglas en inglés), que es proporcional al consumo de combustible por la distancia conducida, ya se han reducido en aproximadamente un 25% desde el año 2000. Esto se muestra con líneas continuas en la figura 2-8. Por ejemplo, los automóviles vendidos en los Estados Unidos han descendido de aproximadamente 204 a 158 g/km, lo que equivale al 23% del 2000 al 2014 (ICCT, 2015⁴).

Así, de acuerdo con las mediciones oficiales del ciclo, hoy, los automóviles nuevos son mejores, en términos de consumo de combustible, de lo que eran hace sólo unos años.

Observando los objetivos regionales de emisión de CO₂ por distancia conducida, mostrado con líneas punteadas en la Figura 2-8, estos objetivos indican una disminución adicional del 40% en el consumo de energía para los automóviles nuevos vendidos en 2025. Por ejemplo, Estados Unidos apunta a una media de 97 g/km de flota nueva en 2025, lo que representa un 39% menos que la cifra de 2014 (ICCT, 2015).

Por lo tanto, según las estimaciones oficiales, los automóviles nuevos en el futuro serán mucho mejores en términos de ahorro de combustible que los autos de hoy.

4

http://www.theicct.org/sites/default/files/info-tools/pvstds/chartlibrary/NEDC_CO2_cars_Sept2015.pdf

⁵<http://www.fueleconomy.gov/feg/hybridCompare.jsp>

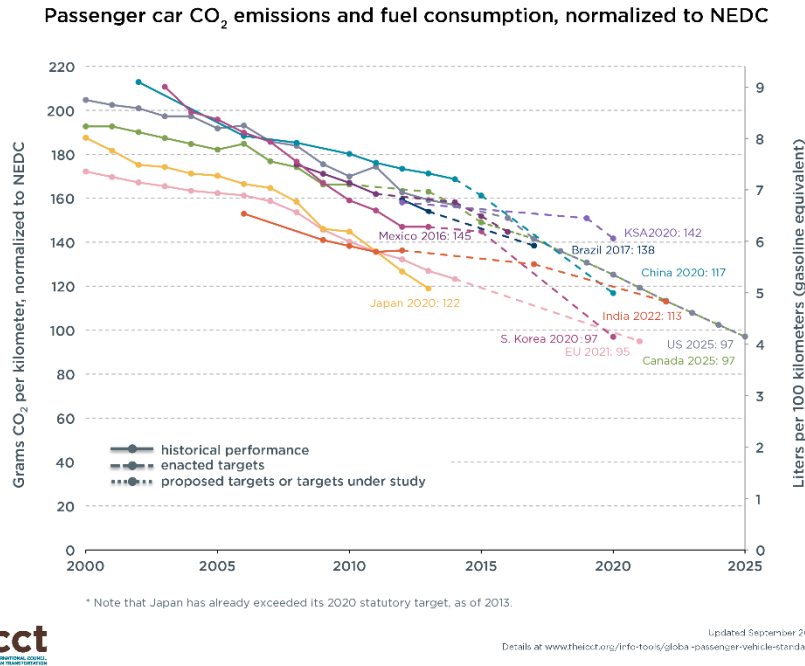


Figura 2-8: Mejoras y objetivos del ahorro de combustible LDV. Fuente: ICCT (2015)

¿Cuáles son las tecnologías que permitirán estas drásticas ganancias de eficiencia?

Primero, la electrificación en diferentes formas contribuirá a la eficiencia. Los híbridos consumen aproximadamente un 30% menos de combustible debido a la reducción del ralentí del motor, la recuperación de la energía de frenado y un funcionamiento del motor más optimizado. El sitio del Departamento de Energía de los Estados Unidos, ⁵ ha preparado una calculadora en línea, que puede utilizarse para calcular los costos de los diferentes vehículos híbridos específicos con tecnologías convencionales. Por lo tanto, más y más fabricantes de LDV están incluyendo la tecnología híbrida en sus transmisiones. Esto puede ser en forma de hibridación ligera, que sólo suministra unos pocos kW durante el arranque del vehículo o una hibridación completa, donde los motores eléctricos pueden impulsar el vehículo en todas las situaciones. Muchas configuraciones son posibles.

El motor de pistón convencional todavía tiene mucho potencial para mejoras. Algunas tecnologías comunes son:

- Turboalimentación para un peso más ligero y menos fricción del motor con un tamaño de motor más pequeño, también conocido como reducción del motor.

La idea de la turboalimentación es presurizar y enfriar el aire de combustión antes de que entre en el motor. Ésto permite que más masa de aire entre en los cilindros y, por lo tanto, se puede quemar más combustible por golpe. Ésto a su vez permite que un motor más pequeño y ligero produzca suficiente energía para un vehículo más grande. El motor más pequeño tiene menos fricción interna debido a que tiene menos cilindros y áreas lubricadas más pequeñas y, al mismo tiempo, disminuye las pérdidas de calor. Además, el peso más ligero del motor permite utilizar componentes más ligeros también, en otras áreas estructurales del auto. Esto se suma a un mejor ahorro de combustible. Los problemas de durabilidad derivados de la mayor tensión en el motor se han resuelto, en gran parte, mediante una mejor fabricación y mejores sistemas de lubricación y enfriamiento. El beneficio en el ahorro de combustible por la reducción del motor, se dice que es del 5% al 15% de acuerdo con el Comité de Evaluación de Tecnologías para Mejorar el Consumo de Combustible de los Vehículos Ligeros. (Johan et al, 2017).

- Inyección directa de combustible:
El concepto de inyección directa de combustible se ha utilizado en los autos diésel desde la década de 1980. A finales de 1990, el concepto también surgió en los automóviles de gasolina. La inyección directa de gasolina significa que el combustible se inyecta por separado en el cilindro independientemente de la corriente de aire de combustión. Los sistemas de puerto de inyección inyectan combustible en la corriente de aire o en una pre-cámara fuera del cilindro. La ventaja de la inyección directa de combustible es la menor pérdida de calor y una entrega más precisa de combustible en la cámara de combustión. Los sistemas modernos de inyección directa pueden, incluso, administrar múltiples inyecciones específicas en unos pocos milisegundos, para permitir una fase de combustión muy precisa, permitiendo diferentes modos de combustión, es decir, combustión estratificada. Se dice que el beneficio de la inyección directa en el ahorro de combustible es de hasta un 15%⁵.

5

http://products.bosch-mobility-solutions.com/en/de/powertrain/powertrain_systems_for_passenger_cars_1/direct_gasoline_injection/direct_gasoline_injection_23.html

- **Control variable de válvulas:**
Las válvulas de admisión y de escape de los motores de los autos, funcionan mediante conexiones puramente mecánicas, lo que significa que normalmente se abren y se cierran en sincronización con el eje principal del motor. Ésto, sólo es óptimo para la operación a baja velocidad. En altas velocidades del motor, el accionamiento de la válvula debe estar compensado para permitir el flujo máximo a través del motor. En días anteriores, el tren de válvulas se ajustaba a la operación de baja o alta velocidad. Hoy en día, la mayoría de los motores de los autos tienen un mecanismo que puede alterar la válvula de ajuste en, al menos, dos pasos. El beneficio en el ahorro de combustible del control variable de la válvula se dice que es alrededor del 5% (Unger et al, 2008, Tabla 2.7).
- **Menor operación del acelerador:**
A diferencia de los motores diésel, los motores de gasolina son normalmente controlados por una válvula de mariposa de admisión, que restringe el flujo de aire al motor. Esto da lugar a pérdidas de bombeo, similares en efecto a un freno de motor constante. Al dejar que las válvulas de admisión actúen como controladores de flujo de aire, se puede omitir la válvula de mariposa de admisión y se elimina la pérdida de estrangulamiento. Ésto requiere una sincronización de válvula electrohidráulica o una tecnología similar. Sin embargo, es un estándar en algunos motores y el beneficio de la eficiencia del combustible se dice que es de alrededor del 12% (Unger et al, 2008).

Las tecnologías mencionadas han contribuido a las reducciones ya alcanzadas por los principales fabricantes de motores.

Futuras tecnologías en motores convencionales

Las futuras tecnologías que están a punto de entrar en el mercado son:

- **Accionamiento de válvula sin leva:**
Los árboles de levas se utilizan para activar las válvulas de admisión y de escape en los motores diésel y de gasolina. Incluso, con temporización variable de la válvula y menos operación del acelerador, como se mencionó anteriormente, los motores todavía dependen de levas giratorias para la activación básica de la válvula. Ésto no sólo crea pérdidas mecánicas y exceso de peso debido a las cadenas de distribución, engranajes, muelles y seguidores de leva, también limita la capacidad de las válvulas para trabajar independientemente en el eje principal del motor. Idealmente, las válvulas deben estar completamente libres para moverse independientemente del eje principal para crear relaciones óptimas de compresión/expansión en

todos los escenarios de carga. Lo anterior sólo puede lograrse con un tren de válvulas sin leva. Esto existe en prototipos, por ejemplo, en Koenigsegg, Qoros Freevalve, pero no están comercialmente disponibles.

- Operación HCCI y PPC

La HCCI es una operación similar a la gasolina sin bujías, que también puede obtenerse en motores diésel. Ésto crea una combustión mucho más limpia, sin sacrificar la alta eficiencia del motor diésel. En comparación con los motores de gasolina tradicionales, el beneficio es de hasta un 30%. El beneficio de ahorro de combustible es principalmente alcanzable en operaciones de baja carga, ya que la HCCI sólo es posible en condiciones magra, debido a problemas de golpeo. Otros conceptos de combustión, como la Combustión Parcialmente Premezclada (PPC, por sus siglas en inglés), buscan combinar las ventajas de la combustión premezclada con la inyección directa, para mejorar la eficiencia evitando golpes. La desventaja, es un aumento significativo en el ruido de la combustión y el riesgo de daños mecánicos, debido a una curva de presión extremadamente empinada dentro del cilindro. Los ejemplos de tal tecnología se ven en el próximo Mazda Axela 2018 (HCCI). Los requerimientos de combustible para estos motores de nueva tecnología también están en desarrollo.

- Compresión variable:

La compresión variable es relevante principalmente para los motores de gasolina. Permite que el motor funcione a carga elevada con un nivel de compresión bajo, lo que resulta en alta potencia de salida a un menor requerimiento de octanaje de combustible, mientras cambia a un mayor nivel de compresión a cargas más bajas. Esto permite una mayor eficiencia térmica cuando marcha a menor carga, lo que cubre la mayor parte del tiempo de operación en vehículos de pasajeros. La compresión variable ya fue mostrada por SAAB en el 2000 y ahora está siendo comercializada por Infinity en el modelo MR20 DDT, a partir del modelo 2018.

Los motores contemporáneos como los Mazda SKYACTIV-G (introducido en 2011) con inyección directa y nivel de compresión de 14:1 y el Fiat Multiair (introducido en 2010) con un tren de válvulas electrohidráulicas, producen aproximadamente un 15% menos de combustible en comparación con sus motores predecesores.

Los motores de nueva generación como el Mazda Axela 2018, el Qoros FreeValve y el Infinity MR20 DDT, prometen una mejora de aproximadamente un 30% con respecto a los motores contemporáneos, asociado, principalmente, a una mejor gestión del aire y del combustible.

En combinación con otras medidas, como el peso liviano, la optimización aerodinámica, las transmisiones de velocidad múltiple, etc., un potencial de reducción del 50% en el consumo de combustible por la distancia recorrida, parece bastante realista para el 2050 con respecto al 2005. El proyecto europeo "del pozo a la rueda" (CCI, 2014) ha proyectado, por ejemplo, una reducción entre el 25 y el 35% del consumo de energía de los vehículos diésel y gasolina entre el 2010 y 2020 (o en algún lugar después de 2020, el informe no especifica una fecha de finalización exacta).

Electrificación

Los vehículos totalmente eléctricos y los híbridos enchufables, ofrecen, adicionalmente, la opción de operar puramente en la electricidad de la red para distancias más largas o más cortas. Esto aumenta la eficiencia aún más, ya que la conducción totalmente eléctrica consume aproximadamente $\frac{1}{4}$ de la energía de los motores de combustión contemporáneos. Por ejemplo, el sedán eléctrico de tamaño completo Tesla S, está clasificado en 98 MPG equivalente ⁶, mientras que un sedán de tamaño similar Audi A7, está clasificado en 24 MPG. Una relación de 4,1: 1. Sin embargo, no se espera que la completa conducción eléctrica satisfaga todas las necesidades de transporte debido a las limitaciones en el rango totalmente eléctrico. Hasta que las tecnologías de las baterías puedan proporcionar un mejor rango, el uso de ICE como extensor de rango será habitual.

Hidrógeno

Los autos de pila de combustible de hidrógeno están ahora disponibles para el arrendamiento, pero el costo real del vehículo es mucho más alto que el de los autos eléctricos. La eficiencia del combustible de los autos de hidrógeno es mejor que la de los autos convencionales, pero no a la par con el auto totalmente eléctrico. Los autos de hidrógeno poseen la ventaja, sobre los autos eléctricos, ya que la gama es más extensa y el reabastecimiento de combustible sólo toma minutos. El futuro de los autos de hidrógeno no es predecible en este momento. La mayoría de los fabricantes de automóviles parecen centrarse en los autos eléctricos por el momento, sin embargo, algunos modelos como el Toyota Mirai y el Honda Clarity Fuel Cell están comercialmente disponibles en el mercado internacional hoy en día.

⁶ Ver por ejemplo <https://www.fueleconomy.gov/feg/noframes/35980.shtml>

Biocombustibles

Los biocombustibles (etanol, biodiesel y otros combustibles derivados de la biomasa) tienen el potencial de cubrir el 27,2% de la demanda mundial de energía de transporte en 2050, según la AIE. El foco a largo plazo está en los combustibles que no se derivan de fuentes del alimento tales como azúcar, maíz, cultivos de aceite o granos. De preferencia, deben usarse materias primas celulósicas tales como la paja, madera y desechos fibrosos. Estos son más difíciles de refinar, pero más sostenibles. Los alcoholes siguen constituyendo la mayor parte del mercado de biocombustibles, pero los biocombustibles parafínicos, como los aceites sintéticos o hidrotratados, son cada vez más populares debido a su alto contenido energético y su idoneidad para los motores diésel actuales.

Opciones tecnológicas para vehículos medianos y pesados

Algunos de los cambios en las tecnologías relevantes para la parte más pesada del transporte (autobuses, camiones y otros vehículos profesionales) incluyen:

- **Reducción de ralentí:**
En la condición de ralentí, el motor está funcionando sin carga externa. Por lo tanto, utiliza combustible para ningún propósito específico. La reducción de ralentí puede obtenerse a través de una mejor educación de los conductores, mejores unidades de potencia auxiliar en los vehículos, tomas eléctricas en las paradas de camiones y motores de transmisión híbridos.
- **Mejoras en la eficiencia del vehículo:**
Hay un gran número de maneras de mejorar la eficiencia del vehículo. Estos incluyen cosas como mejoras del motor, mejoras en la transmisión, aerodinámica mejorada, neumáticos de baja resistencia a la rodadura y cambios en los sistemas de carga y logística.
- **Combustibles bajos en carbono:**
Muchos combustibles bajos en carbono son adecuados para vehículos semipesados. Las opciones principales son el gas natural, biogás, etanol mejorado por encendido (E95) y biodiésel. Normalmente, representan un costo en el lado del vehículo y de la infraestructura. En algunos casos, sin embargo, los ahorros en el costo directo del combustible lo pueden compensar.

Tecnologías convencionales

Los motores diésel, normalmente conducen los HDV. Los motores diésel se caracterizan por una alta eficiencia y durabilidad del combustible, pero también por

sistemas de reducción de emisiones altamente complejos. Esto hace que los sistemas diésel sean relativamente pesados y caros de fabricar, pero más baratos de mantener. Por lo tanto, por el momento, son los más adecuados para usos de servicio pesado.

Durante los últimos 20 años, los motores de los camiones y autobuses se han desarrollado significativamente hacia una combustión más limpia. Ésto se ha conseguido añadiendo inyectores de alta presión, mejores sistemas de turboalimentación, recirculación de gases de escape (RGE), filtros de partículas y convertidores catalíticos. Sin embargo, el ahorro de combustible se ha mantenido casi constante a lo largo de los años, debido a las sanciones relacionadas con la incorporación de dispositivos anticontaminantes (IEA-AMF, 2016). Esto significa que la emisión de CO₂ de un motor más reciente, es similar a la de un motor más antiguo. El principal beneficio de los motores más recientes es que las emisiones de NO_x y partículas son mucho más bajas. Estas emisiones son un serio peligro para la salud pública. Por lo tanto, para operar dentro de las áreas de la ciudad, es altamente recomendable utilizar sólo los motores más recientes compatibles con los US2010, que tienen tanto un filtro de partículas como un dispositivo catalizador de reducción de NO_x (IEA-AMF, 2016).

Es común, entre los conductores de camiones y autobuses, dejar el motor inactivo cuando está parado en lugar de apagarlo. Ésto se hace a menudo para mantener el aire acondicionado funcionando mientras se espera una nueva carga, pasajeros, un transbordador, etc. Además, también es una creencia común que los motores diésel funcionan mejor si permanecen encendidos, lo que también puede ser necesario para utilizar una grúa u otro equipo hidráulico en el camión o para mantener un contenedor refrigerado. Los camiones más viejos o con mal mantenimiento, pueden perder presión neumática en el sistema de frenado y suspensión, si el motor está apagado. El ralentí, no consume cantidades muy altas de combustible, sin embargo, se recomienda a todos los conductores de camiones y autobuses, evitar el ralentí. En algunas ciudades, el prolongado ralentí, está incluso prohibido. Los medios para lograr una ralentización reducida son, principalmente, a través de la educación de los conductores.

Híbrido

En los autobuses, las transmisiones híbridas son cada vez más y más comunes. Un autobús híbrido-eléctrico, es accionado por un motor eléctrico y un motor de combustión interna convencional más pequeño que lo normal. Para lograr una mayor eficiencia, el motor eléctrico accionado por batería permite que el motor de

combustión funcione en periodos de máxima eficiencia. Los componentes principales de un sistema de accionamiento híbrido incluyen un motor interno de combustión (ICE por sus siglas en inglés), un generador, un paquete de baterías y un motor eléctrico. Las baterías más usadas en vehículos híbridos son de plomo-ácido o de níquel-metal hidruro. Consiguen hasta un 30% de mejor ahorro de combustible por reducir el ralentí y por utilizar un motor más pequeño que el de los autobuses tradicionales (IEA-AMF, 2016). Este es un gran beneficio en las ciudades con muchos arranques y altos, pero es de poco beneficio para viajes más largos y para camiones.

Mejoras en la eficiencia de los motores actuales

La reducción de ralentí en los LDV y los MDV se logra principalmente mediante la incorporación de un sistema de start-stop, que está comúnmente disponible. El beneficio de estos sistemas varía con el patrón de conducción. En el tráfico urbano, el sistema podría ahorrar un 10% o más, del consumo total de combustible. Sin embargo, en caminos rurales y autopistas, el beneficio será casi nulo. La EPA de los Estados Unidos estima un aumento medio de ahorro de combustible del 4-5% con los sistemas de start-stop.⁷

Algunos fabricantes de vehículos utilizan la desactivación del cilindro. El beneficio del ahorro de combustible es de hasta un 10% mientras se conduce a velocidades de bajas a medias.⁸ Un ahorro promedio realista sería del 4-5%. Los motores grandes V8, se beneficiarían más que los motores más pequeños.

La aerodinámica es de especial interés para el negocio de los camiones. En camiones de cama abierta, una lona puede ahorrar hasta un 5% de combustible. Los faldones laterales pueden agregar otro 1%. Los spoilers en el techo pueden agregar otro 1%. La compañía MAN Truck & Bus AG ha calculado un total de 15% de mejora en el ahorro de combustible por medios aerodinámicos como se muestra en la Figura 2-9. Esto es, sin embargo, solamente válido en una carretera de fácil cruce. En peores condiciones, el beneficio disminuye a alrededor del 5%.

⁷ <https://www.epa.gov/greenvehicles/gasoline-and-diesel-advanced-technology-vehicles>

⁸ http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oeef/pdf/transportation/fuel-efficient-technologies/autosmart_factsheet_4_e.pdf



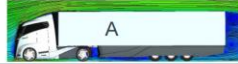


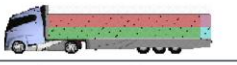

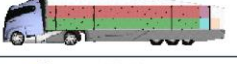


Variants	Length Change Front & Rear	Paletts [1m Height] Volume [98 m ³] const.	Fuel Reduction [Easy highway]
 Basis	Basis TGX	 68	0%
 A	Front :+ 0,8 m Rear : 0	 68	- 5%
 B Flaps 10°	Front :+ 0,8 m Rear : + 0,6 m	 68	- 8%
 D	Front :+ 0,8 m Rear : + 1,2 m	 70	- 10%
 F Boat tail	Front :+ 0,8 m Rear : + 2,7 m	 70	- 15%

Figura 2-9: *Potencial aerodinámico de camiones en carretera de fácil de crucero (MAN Truck & Bus AG)*

Programas como el US DOE Supertruck Challenge han demostrado que es técnicamente posible mejorar la eficiencia del combustible de carga en al menos en un 50% en comparación con un camión convencional.⁹ Ésto puede hacerse mediante una combinación de medios, algunos de los cuales se refieren al motor y algunos de ellos se refieren al resto del vehículo. El turbo compuesto en el motor, como una forma de recuperar el calor de la corriente de escape, puede mejorar el ahorro de combustible en un 6,5%.¹⁰ El sistema de inyección Common Rail y otros refinamientos del motor pueden agregar otro 2-3%. Combinado con otras mejoras del motor, el rendimiento térmico puede aumentarse desde el 38% hasta el 50% como se muestra en la Figura 2-10. Esto se traduce en una reducción del 24% en el ahorro de combustible.

⁹ <https://energy.gov/eere/articles/supertruck-leading-way-efficiency-heavy-duty-long-haul-vehicles>

¹⁰ <http://articles.sae.org/14699/>

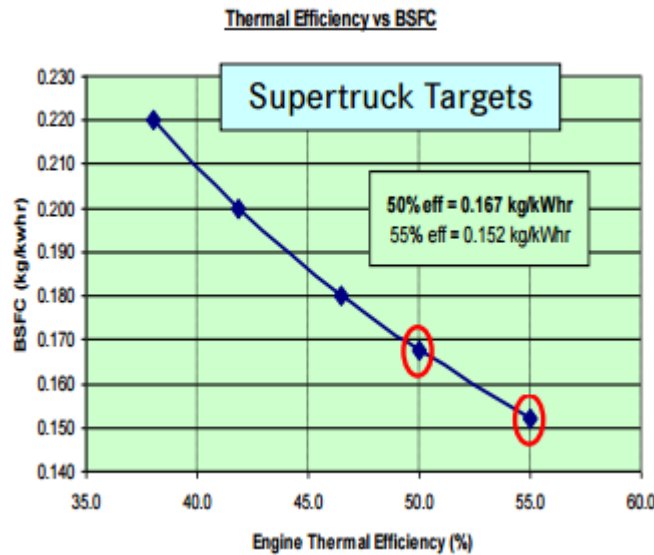


Figura 2-10 Objetivos de eficiencia del motor de DOE Supertruck (Daimler)

Las modificaciones no relacionadas con el motor incluyen la recuperación de energía del freno; el uso de materiales ligeros como el aluminio y la fibra de carbono o el cambio de marchas predictivo. Una visión general sobre las tecnologías que no pertenecen al motor (del lado del vehículo) se muestra en la Figura 2-11.¹¹ Se puede ver que la aerodinámica y la resistencia al rodamiento, son los principales contribuyentes a una mayor eficiencia del vehículo. Los actuales neumáticos de baja resistencia a la rodadura pueden reducir el consumo de combustible en un 2% y los neumáticos prototipo han alcanzado hasta un 6%.¹²

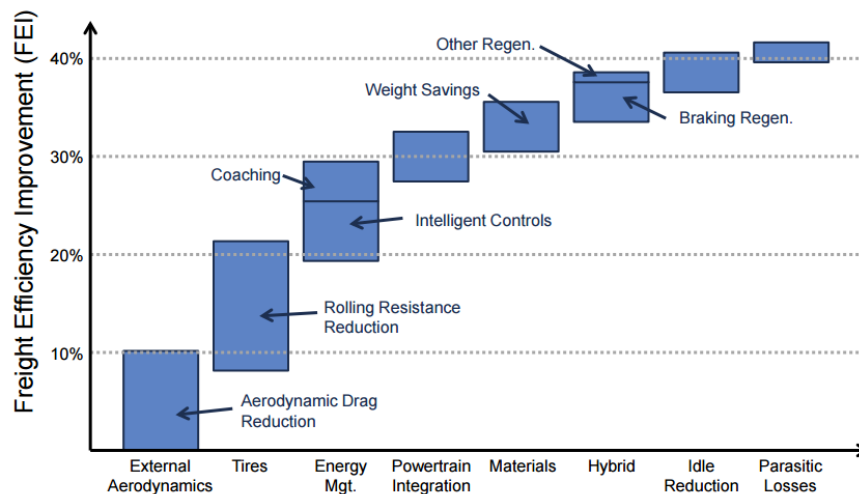
¹¹ https://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f13/deer11_sisken.pdf

¹² ejemplo. www.dimnp.unipi.it/guiggiani-m/Michelin_Tire_Rolling_Resistance.pdf

DAIMLER



Roadmap: Vehicle-Side Technologies



DTNA/ DDC Super Truck Team

Public Information

4

Figura 2-11 Mejoras no relacionadas al motor para camiones pesados (Daimler)

La forma más directa y eficiente de mejorar el ahorro de combustible de un camión, es añadiendo capacidad. Esto se puede hacer usando una plataforma de camión de dos pisos, lo que permite que las mercancías se apilen más eficientemente. También se puede hacer añadiendo longitud al camión, por ejemplo, añadiendo un remolque adicional, siempre que se respete y esté permitido en la normatividad de transporte a nivel federal, estatal o municipal. Esto se conoce comúnmente como un tren de carretera o un sistema de módulos. Este tipo de arreglos son conocidos para ahorrar potencialmente un 15-20% de combustible (DTL, 2015¹³). Incluso, sin modificaciones físicas, el transporte de camiones, a menudo, puede optimizarse sólo mediante una planificación completa y una combinación de, por ejemplo, objetos pesados y ligeros, de manera que la capacidad de los camiones sea utilizada óptimamente, tanto en términos de peso como de volumen. Ahorros de hasta el 17% son alcanzables de esta manera (DTL, 2015). Para utilizar estas opciones, también es necesario considerar los posibles impactos en la seguridad del transporte por carretera debido a los

¹³ <http://gronberegner.teknologisk.dk/Katalog.pdf>

vehículos más largos. Deben, por ejemplo, cumplir los requisitos de seguridad establecidos para el transporte por carretera de mercancías.

Combustibles alternativos

Hay una serie de opciones de combustible alternativo para los HDV y MDV que podrían reducir la huella de carbono. Para los autobuses, las elecciones predominantes son eléctricas o de gas natural. Ambos son adecuados en las ciudades. El gas natural sólo producirá una reducción menor en el CO₂, porque los motores de gas natural son menos eficientes que el diésel. Sin embargo, al sustituir el gas natural por el biometano, la reducción de CO₂ se vuelve muy significativa. El biometano se produce eliminando el CO₂, agua y otras impurezas del biogás, produciendo así metano de alta calidad. Si el biometano no está físicamente disponible en el lugar de uso, es común que se utilicen esquemas comerciales donde se intercambien biocréditos entre las partes interesadas (tales bio esquemas se introducen en varios países europeos, por ejemplo, el biogás y el sistema europeo de comercio de emisiones de CO₂).

Los autobuses eléctricos se están volviendo más y más comunes en algunos mercados. Los autobuses eléctricos de batería están reemplazando al trolebús tradicional. Estos pueden tener un alcance de hasta 400 km por día¹⁴, y no dependen de cables aéreos. Sin embargo, debido al alto costo actual de las baterías e infraestructura, es posible utilizar baterías más pequeñas en combinación con instalaciones de carga rápida en ciertas paradas de autobús. Tal solución se puede ver en la Figura 2-12.

¹⁴ <http://insideevs.com/byd-electric-bus-test-results-in-canada/>



Figura 2-12 Autobús eléctrico de batería con unidad de carga rápida montada en la parte superior (Fuente: Volvo y Siemens)

Si los autobuses eléctricos de batería o el gas natural no pueden usarse (por ejemplo, porque la infraestructura requerida no está disponible), entonces la mejor alternativa (en términos de prevención de las emisiones) es ir por los autobuses diésel compatibles con los US2010. Esto reducirá significativamente las emisiones tóxicas y la formación de smog. También se ofrecen actualizaciones de modernización para algunos autobuses como alternativa a la compra de vehículos nuevos.

Las mezclas de diésel y biodiésel, diésel hidrogenado o sintético, son posible con prácticamente todos los motores diésel. En algunos motores, pueden ser necesarias pequeñas modificaciones para funcionar al 100% con biodiésel, mientras que los combustibles diésel hidrogenados o sintéticos normalmente pueden funcionar sin ninguna preocupación en absoluto. Lo importante es darse cuenta de la materia prima, que debe ser producida de manera sostenible observando una evaluación del ciclo de vida, incluyendo factores como el Uso Indirecto de la Tierra (ILU por sus siglas en inglés).

3. Tecnologías de transporte con bajas emisiones de carbono

En este catálogo, el enfoque se centra en las tecnologías conocidas y las tecnologías que tienen potencial para estar listas para el mercado en los próximos 15-20 años. La mayoría de las tecnologías ya se han introducido en el mercado (aunque tal vez sólo en algunas variantes y aún no por todos los fabricantes de vehículos) o se están demostrando al mercado en diferentes lugares.

Se hace una distinción entre el combustible y los vehículos. Muchos vehículos pueden funcionar con combustibles convencionales y biocombustibles en alguna mezcla sin requerir cambios en el motor o en los vehículos. Sin embargo, otros combustibles, como la electricidad y el GNC, requieren motores y vehículos específicos. Por lo tanto, las tecnologías elegidas para ser incluidas en el catálogo tecnológico se sitúan en:

- Motores diésel y de gasolina convencionales (en varias generaciones)
- Vehículos alimentados con GNC
- Vehículos eléctricos
- Vehículos de pila de combustible de hidrógeno
- Vehículos híbridos

Como ya se mencionó, los biocombustibles son también un componente principal en las futuras soluciones a la agenda de reducción de CO₂. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los biocombustibles se producen en calidades que se pueden utilizar en motores convencionales (vehículos diésel y de gasolina y como biogás). Puede haber algunos requisitos para actualizar los motores para acomodar mezclas más altas (como los vehículos con combustible de etanol). Por lo tanto, para cada tipo de vehículos se describe más detalladamente qué biocombustibles puede utilizar el vehículo y en qué concentración.

Fuel	Mode	Road-passenger			Road-freight			Buses		
		Short	Medium	Long	Short	Medium	Long	Short	Medium	Long
Diesel	Range									
Gasoline										
Natural gas	LNG									
	CNG									
	Bio-methane									
Electricity										
Hydrogen										
Biofuels (liquid)										

Tabla 3-1: Combustibles alternativos y su uso para diferentes secciones de transporte. Fuente: Grupo Europeo de Combustibles Alternativos de Transporte (2015)

En esta sección se desarrolla un poco más la descripción general de las tecnologías descritas en el capítulo anterior, considerando breves reseñas e información sobre los siguientes aspectos ¹⁵:

- *Esquema de la tecnología.* Una breve descripción de la tecnología específica del vehículo. ¿Qué es?, ¿cómo funciona? y aspectos beneficiosos o críticos
- *Madurez,* por ejemplo, ¿Qué tan cerca está la tecnología disponible en una introducción al mercado de masas?; ¿Cuál es la disponibilidad actual?, ¿en qué mercados se ha introducido la tecnología?
- *¿Cuáles son las perspectivas para los próximos años 2020 y la visión para el 2030?* ¿Qué consideran las fuentes internacionales del futuro del mercado de las tecnologías?
- *Suministro de combustible:*
 - Disponibilidad de combustible hoy y en el futuro
 - ¿La tecnología requiere una infraestructura (nueva) exclusiva para ser desplegada?
- *Perspectiva tecnológica,* incluyendo oportunidades y barreras para la adopción en México.
- *¿Para qué sectores del transporte por carretera es aplicable la tecnología?* En base a las perspectivas tecnológicas, ¿qué sectores se consideran las principales áreas donde se puede utilizar la tecnología?

¹⁵ La sección no presenta todos los detalles, pero apunta a dar una visión general. Para los detalles se deben consultar las diferentes fuentes referenciadas.

No todos los elementos están cubiertos en la misma medida, pero los insumos se cubren con base en la relevancia para el combustible específico.

La sección incluye las siguientes tecnologías:

- Gas natural y biometano
- Vehículos eléctricos de batería
- Vehículos híbridos
- Vehículos de pila de combustible de hidrógeno

Gas natural y biometano

Introducción

El gas extraído de los depósitos subterráneos, tanto en tierra como por debajo del lecho marino, se denomina comúnmente gas natural. El gas natural se encuentra en capas geológicas porosas, a menudo, como la fracción más ligera en la parte superior de los depósitos de petróleo. También se recupera de las formaciones de esquisto por medio de la fracturación, un método que fractura las capas de pizarra, de otro modo impenetrables, en las que el gas está atrapado, de tal manera que el gas pueda ser extraído.

Hoy en día, la mayoría del gas natural proviene de los grandes sitios de producción costa afuera. Mientras que Europa, es suministrada principalmente por los campos de gas del interior ruso. Los EE.UU. y América del Sur, reciben la mayor parte de su gas natural de sitios costa afuera como Qatar en el Oriente Medio. Los grandes volúmenes de gas natural son transportados de los sitios de producción en estado líquido como GNL (gas natural licuado), en portadores de GNL con capacidades de hasta 270.000m³. El gas a veces es transferido, almacenado y redistribuido en estado líquido a los consumidores finales, pero la mayor parte del gas recibido de los transportadores de GNL se evapora y distribuye en tuberías en los países receptores (EGFTF, 2015).

El biogás es un gas rico en metano, que puede ser producido a partir de casi cualquier tipo de material biológico, como cultivos energéticos, desechos y residuos agrícolas, estiércol animal, fracción orgánica de residuos municipales, aguas residuales, etc. El método de producción más común es la degradación biológica de la biomasa (digestión anaerobia).

Propiedades de GNC y GNL

El gas natural crudo contiene, principalmente metano, pero también una pequeña fracción de hidrocarburos ligeros del rango C2 a C4, como el etanol, el butano y el propano. El gas también contiene agua, nitrógeno, CO₂ y restos de otras

impurezas. En el refinado de gas natural, el contenido de hidrocarburos ligeros se regula para que cumpla con las especificaciones pertinentes, mientras que las impurezas tales como CO₂, agua, nitrógeno, etc. se eliminan casi por completo.

El biogás crudo se compone de metano, CO, agua y varios subproductos indeseables resultantes de los procesos biológicos, como el sulfuro de hidrógeno y en algunos casos los siloxanos. Al igual que con el gas natural, el biogás debe ser limpiado (mejorado) para cumplir con las especificaciones antes de que pueda ser inyectado en las redes de gas o utilizado como combustible del motor. La limpieza elimina componentes que contienen azufre, CO₂ y agua en diferentes etapas del proceso. Como el biogás no contiene otros hidrocarburos que el metano, el biogás mejorado es metano casi puro, mientras que el gas natural limpio puede contener cantidades considerables de etano, butano y propano. Estas diferencias son importantes, ya que la composición del gas tiene una influencia directa en el proceso de combustión en el motor.

La mayor parte del gas natural se transporta en estado líquido desde los lugares de producción. El proceso de licuefacción requiere que el contenido de agua y de CO₂ se reduzca a 50 ppm, ya que, de lo contrario, estos componentes congelarán y bloquearán el equipo de proceso. El proceso también elimina el mercurio, sulfuro de hidrógeno y otros componentes de azufre, que son agresivos para el equipo de proceso. Los hidrocarburos también se eliminan por condensación, excepto el etano.

Es importante señalar que el GNL no contiene odorantes, como los mercaptanos. Por lo tanto, las fugas de GNL no serán detectables por olor. Sin embargo, se requiere que se añada odorante al vaporizar el gas para la inyección en la red o en el uso de vehículos de GNC.

Sin tener en cuenta el origen físico del metano (fósil, biomasa o sintético), debe cumplir con las especificaciones pertinentes según el uso previsto.

Especificaciones para el gas natural como combustible para automóviles

Las especificaciones para el gas en el transporte deben seguir las normas que están siendo desarrolladas actualmente por el comité de proyecto DIN CEN/TC 408, una vez que estas normas sean aprobadas. La regulación abarca el gas natural y el biometano para su uso en el transporte y el biometano para inyección en la red de gas natural. Se liberan dos partes del documento:

Parte 1: Especificaciones del biometano para la inyección en la red de gas natural. DIN EN 16723-1 (2017-01) (norma).

Parte 2: Especificaciones de combustible para automóviles. DIN EN 16723-2 (2014-06) (proyecto de norma).

El número de metano describe la resistencia a la detonación del gas natural en un motor encendido por chispa - mayor es mejor. El metano tiene una alta resistencia a la detonación y se le asigna un índice de 100. El hidrógeno tiene una resistencia baja y se le asigna un índice de 0. Un número de metano de 80 corresponde, por lo tanto, a una mezcla de 80% de metano y 20% de hidrógeno. El cálculo del número de metano basado en la composición (alcanos superiores, CO₂, etc.) es posible con calculadoras en línea.

La mayoría de los fabricantes de motores, indican la potencia nominal del motor para un número dado de metano, por ejemplo, 80. La potencia nominal puede disminuir linealmente con el número de metano, debido a las limitaciones del golpe de motor. También puede establecerse un límite inferior para el número de metano.

Abastecimiento y almacenamiento de gas natural en vehículos

El comité técnico ISO/PC 252 de la Organización Internacional de Normalización ha elaborado normas para las estaciones de abastecimiento de gas natural. Estos estándares son:

- ISO 16923: 2016 Estaciones de servicio de gas natural - Estaciones de GNC para abastecer vehículos
- ISO 16924: 2016 Estaciones de abastecimiento de gas natural - Estaciones de GNL para abastecer vehículos
- Se aplica una norma separada a las boquillas y recipientes de los vehículos de GNC:
- ISO 14469: 2017 Vehículos de carretera - Conector de reabastecimiento de gas natural comprimido (GNC)
- En los EE.UU., la norma NFPA-52 cubre las normas de seguridad de los vehículos de gas natural.

En México, existe el proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-010-ASEA-2016, Gas natural comprimido (GNC). Requisitos mínimos de seguridad para terminales de carga y terminales de descarga de módulos de almacenamiento transportables y estaciones de suministro de vehículos automotores.

El GNC, se almacena generalmente en tanques de presión cilíndricos a 20-25 MPa (200-250 Bar). Los depósitos pueden ser de acero, reforzados con fibras de carbono o de todas las construcciones de fibra compuesta. Los cilindros son elegidos de acuerdo con los criterios de mejor precio-menor peso. Algunos tanques, suelen estar conectados en paralelo, para alcanzar la capacidad de combustible deseada en vehículos grandes. En los automóviles de pasajeros, un tanque de presión simple está situado generalmente detrás del asiento trasero.

La densidad del metano comprimido a 25 °C/250 bar es de 215 kg/m³. Con un valor calorífico mayor de 50 MJ/kg, la densidad de energía es de 10.7 MJ/L.

El GNL, se almacena a bordo en tanques criogénicos altamente aislados a presión atmosférica a una temperatura de algunos grados por debajo de -162 °C. A medida que el GNL se calienta lentamente y alcanza su punto de ebullición a -162 °C, después del abastecimiento, el GNL es el más adecuado para vehículos en transporte de larga distancia u otros patrones operativos, lo que puede asegurar un consumo constante. El gas de ebullición (BOG, por sus siglas en inglés) se suministra normalmente al motor a través del sistema de combustible, pero puede ser ventilado a través de un quemador como una medida de seguridad, si no se puede utilizar en el motor.

La densidad del metano líquido puro es de 422 kg/m³. Con un mayor valor calorífico de 50 MJ/kg, la densidad de energía es de 21,1 MJ / L.

Tecnologías del motor

El gas natural y el biometano pueden utilizarse tanto en motores de encendido por chispa como en encendido por compresión.

En los motores encendidos por chispa, el gas natural se introduce a baja presión en el colector de admisión y se enciende por una chispa. El motor puede funcionar de forma estequiométrica, como es normal para los motores de gasolina. Los motores de este tipo pueden estar diseñados para funcionar con gas natural o gasolina, en cuyo caso se denominan motores bi-combustible, sin embargo, los motores bi-combustible necesitan tener una baja relación de compresión para usar la gasolina como combustible, perdiendo las ventajas del gas natural de alta resistencia a la detonación.

En motores grandes encendidos por chispa, la combustión de mezcla pobre se puede utilizar para un control de carga más eficiente, ya que la carga se regula parcialmente por la admisión de gas, en parte por estrangulamiento de la entrada de aire. Por la turboalimentación, el motor aumenta la potencia específica, sin

embargo, los motores encendidos por chispa no son tan eficientes en combustible como los motores encendidos por compresión.

Los motores diésel encendidos por compresión pueden ser diseñados para funcionar con combustión de gas natural, en un concepto llamado combustible dual. El gas natural se suministra al colector de admisión y se enciende con una pequeña cantidad de diésel inyectado. En carga alta, menos del 10% de la energía del combustible se inyecta como diésel. El motor de combustible dual normalmente no soporta la combustión de gas natural a cargas bajas, en cuyo caso cambia a operación ordinaria de diésel. La tecnología de motores de combustible dual está reservada, hasta ahora, para motores de servicio pesado. Con los tanques de almacenamiento de GNL, los camiones de combustible dual pueden extender su rango de gas natural, sustancialmente, sobre los tanques de presión tradicionales. Por lo tanto, el GNL es preferible en operaciones de larga distancia.

Los motores de GNL pueden presentar algunos problemas de medición de combustible debido a la complejidad del sistema de gestión de doble combustible.

La próxima generación de motores probablemente estará equipada con inyección directa de alta presión tanto de gas natural como de diésel. En este concepto, un inyector combinado suministrará una inyección estratificada de gas natural, que se enciende mediante una inyección piloto de diésel simultánea. Este enfoque, casi elimina la emisión de metano no quemado, que es un inconveniente de los motores de inyección en colectores. También permite una alta relación de compresión como los motores diésel normales, lo que contribuye a una mayor eficiencia.

La madurez de la tecnología de los motores de GN es relativamente alta, con necesidades de investigación específicas en relación con los robustos sistemas de inyección directa e ignición para la combustión homogénea y estratificada (DG MOVE 2015¹⁶). En el caso de los enfoques de combustión pobre, los desarrollos específicos tendrán que ser dirigidos al tratamiento posterior de NOx, la conversión de los actuales y modernos motores diésel en motores de GN con modificaciones menores de hardware, sensores de calidad del gas para controlar las variaciones de la composición de gas y la compatibilidad de los lubricantes con la tecnología de motores de gas según (DG MOVE 2015).

¹⁶ *Vanguardia - combustibles de transporte alternativos. Informe preparado para el Grupo de Expertos sobre Futuros Combustibles para el Transporte. DG MOVE junio 2015.*

También es posible adaptar los motores de encendido por chispa (bi-combustible) y de encendido por compresión (combustible dual) para que funcionen con gas natural.

Uso de GNC como combustible en turismos, segmento medio y pesado

A nivel internacional los vehículos de gas natural y todos sus componentes están maduros y totalmente desarrollados por fabricantes de equipos originales (OEM, por sus siglas en inglés). El GNC se utiliza en automóviles de pasajeros, autobuses, camiones y otros vehículos en muchos países. A partir del 2015, los 10 principales países tienen más de 20 millones de vehículos matriculados juntos. El país líder, es China, con más de 4 millones de vehículos de GN, seguidos por otros 9 en la región de Oriente Medio y Sudamérica. Sin embargo, en América del Sur el uso de vehículos de gas natural está relacionado con razones económicas y no ambientales. En México, la mayoría de los vehículos alimentados con GNC son retroadaptados, ya que en la actualidad ésta es una alternativa más barata en comparación con un vehículo de GNC producido por OEM.

A pesar de que esta estadística incluye tanto los vehículos de GNC y GNL¹⁷, los vehículos de GNL son sólo una fracción menor del total. La tecnología de GNC sigue siendo la más común en los vehículos nuevos, ya que es más barato y, por lo tanto, más adecuado para su uso en vehículos más pequeños. La infraestructura de reabastecimiento de combustible es también menos complicada, ya que producir y alimentar GNC no es tan exigente como producir y transferir el GNL criogénico.

Los fabricantes europeos comenzaron a ofrecer vehículos de pasajeros de GNC en los años noventa. La tecnología del motor ha mejorado constantemente, para ofrecer una autonomía de conducción cómoda de hasta 500-900 km en GNC (más la reserva de gasolina) dependiendo de las configuraciones del vehículo y mucho más allá de 1,000 km de kilometraje total, considerando también el tanque de reserva de gasolina. La tecnología se basa en motores monocombustibles o bicomcombustibles de encendido por chispa (que utilizan gas como combustible principal y sólo cambian a la reserva de gasolina cuando se ha utilizado el GNC) y también pueden utilizarse en motores de encendido por compresión que utilizan diésel para encendido y gas como combustible principal (tecnología de inyección de combustible dual y alta presión).

¹⁷ Gas natural licuado

La tecnología aplicada a los motores de camiones de gas de Iveco (100% de gas) demuestra que la combustión estequiométrica, con un catalizador de tres vías, puede alcanzar los límites de Euro VI, incluso, considerando ciclos de baja temperatura. Gracias a los tanques GNL/BIO GNL instalados en los camiones, la densidad energética del gas natural y la capacidad de almacenamiento es 5 veces superior a la del GNC. Todas estas cualidades se aplican también al Biometano Líquido (bio GNL) o sus mezclas con gas natural.

Uso de GNL como combustible en el segmento de servicio pesado

Los nuevos camiones de largo recorrido diseñados para el uso de GNL como combustible, suelen estar equipados con motores de combustible dual. Normalmente, utilizarán primero el GNL y después continuarán con diésel si el GNL no está disponible en la ruta.

En junio de 2016, algunos camiones de combustible dual diseñados para GNL estaban disponibles, el Iveco y Scania. Volvo ha comercializado y vendido camiones (FH Metano Diésel) anteriormente para Euro V, pero no para Euro VI. Solbus hace un modelo de autobús en dos variantes (Solcity y Solcity 18) para GNL.

El uso del GNL se está convirtiendo en una importante demanda de los operadores de flotas y el desarrollo de la infraestructura necesaria está en marcha con un importante apoyo de los fondos de transporte del Centro Europeo de Fundaciones (CEF por sus siglas en inglés) en la UE. La alta aceptación y la satisfacción de los clientes, dos objetivos inherentes al proyecto, garantizarán una fuerte penetración de camiones de GNL alrededor de los corredores en las próximas décadas, reduciendo, al mismo tiempo, las importaciones de petróleo y las emisiones de CO₂. Durante los próximos años, el uso de soluciones de metano/diésel Euro VI mejorará aún más la oferta de vehículos de alta potencia (> 400 CV).

Infraestructura de reabastecimiento

El proyecto "GNL Blue Corridors"

El proyecto GNL Blue Corridors está apoyando el desarrollo de la tecnología Euro VI, tanto en gas como en motores de combustible dual, con el objetivo de demostrar que los camiones de GNL, con un rango significativamente mayor en comparación con el GNC, son un combustible de reemplazo adecuado para el diésel a gran escala. Sin embargo, el rendimiento del motor de gas de vanguardia

tiene una potencia máxima de 340 CV y 1,300 Nm. El transporte de larga distancia, como se demuestra en el proyecto, en funcionamiento real y gracias a la estrecha colaboración con varios operadores de flota que participan en el proyecto, exigirá motores más potentes por encima de 400 CV. Los nuevos motores (ignición de chispa y encendido de compresión usando el sistema de inyección directa de alta presión -HPDI) están actualmente en desarrollo y estarán listos para el 2017/2018 (Proyecto GNL Blue Corridors¹⁸).

Los corredores establecerán el abastecimiento de GNL en algunos de los principales corredores de transporte de Europa. En América del Norte, hasta ahora los EE.UU. y Canadá, han iniciado la prueba con combustible dual (basado en GNL) en vehículos pesados. Por lo tanto, el GNL no está hoy presente en México.

Estaciones de servicio de GNC

Los vehículos de GNC requieren una infraestructura de abastecimiento separada. Tal infraestructura no existe hoy a nivel nacional en México. Los lugares para abastecer combustible de vehículos de GNC son, en su mayoría, sitios privados de abastecimiento utilizados para las flotas de vehículos propios. Las estaciones de abastecimiento de combustible pueden recibir GNC a través de tuberías o el GNC puede ser transportado en camiones y ser puesto en tanques comprimidos en la estación. De esta manera es posible lograr una cobertura nacional, no obstante, de manera ineficiente.

Precios

El costo adicional de los vehículos de gas está determinado principalmente por la capacidad de almacenamiento de GNC y GNL. Mientras que los automóviles de pasajeros tienen una prima de \$25,000-78,000 MXN, en comparación con la versión equivalente de gasolina (más o menos la misma gama de precios que la versión diésel), la inversión adicional en un autobús de GNC sería alrededor de \$540,000 MXN, en relación con la tecnología diésel convencional. El costo incremental para un HDV de GNL en comparación con un HDV alimentado por diésel normal, se estima en aproximadamente \$540,000-750,000 MXN, dependiendo de la capacidad de almacenamiento y la potencia del motor. (NGVA, 2015).

La infraestructura necesaria para el combustible de los vehículos GNC puede ser alimentada a partir de la red de gas natural existente. En este caso, debe instalarse un compresor con la capacidad de alcanzar una presión final de 200 bar, y los dispensadores. El costo total de esta instalación estaría entre los \$4.3 millones MXN y \$6.5 millones MXN, dependiendo de la capacidad de compresión de la instalación (normalmente 300-500 m³/h).

Siempre y cuando la estación no esté en la proximidad de un gasoducto, la instalación de una conexión de gasoducto a la estación sería necesaria y puede variar dependiendo de las características de la tierra (\$6,500-13,000 MXN/metro). En el caso de una estación de almacenamiento de GNC para autobuses o camiones de basura, la inversión promedio para una sola estación será de alrededor de \$21 millones MXN, debido a la capacidad mucho más alta y el almacenamiento necesario.

Este tipo de infraestructura que suministra GNL, también puede suministrar tanto gas natural licuado como comprimido y biometano. Tiene que ser alimentado con gas natural licuado a través de camiones cisterna HD.

Las estaciones de GNL o las estaciones de GNC-L (también dependiendo de su capacidad y tamaño) estarían en el rango de 400,000-500,000 euros para la estación estándar de GNL. Se aplicarán costos más altos si se toma en cuenta la adquisición de terrenos, permisos, etc. La futura normalización de las estaciones de gas natural tendrá un impacto significativo en la reducción de los costos ya que, hasta ahora, se deben respetar diferentes niveles de presión de GNL debido a las diferentes tecnologías existentes en el mercado, lo que puede conducir a inversiones sustancialmente más elevadas. Sería necesario instalar un tanque de GNL estacionario para acumular y alimentar la instalación, una bomba de transferencia para convertir el GNL en GNC (sólo en el caso de GNC-L) y los dispensadores. El costo del tanque estacionario y de la bomba de transferencia es similar al costo de un compresor, sin embargo, el mantenimiento de las estaciones de GNL/GNC-L sería menor que en las estaciones de GNC.

Perspectivas de la implementación de gas natural

El potencial para descarbonizar aún más, es significativo ya que las tecnologías de motores existentes se basan en motores de gasolina y diésel, que aún no están totalmente optimizados para funcionar con gas natural, puro o mezclado con biometano. Por lo tanto, se esperan más ganancias de eficiencia para vehículos ligeros, medios y, especialmente, para los vehículos pesados en las próximas generaciones de motores y años venideros.

El metano, combinado con el biometano, ofrece la manera más rápida y rentable para los fabricantes de automóviles de reducir las emisiones de CO₂ de su flota. Sin embargo, los fabricantes de OEM podrían obtener más del combustible de gas natural de alto octanaje, lo que permitiría motores destinados cuando operan exclusivamente con gas natural, ya que pueden utilizarse tasas de compresión más altas. Con este objetivo, se obtienen los primeros resultados y una tendencia continua hacia una mayor eficiencia energética al adoptar el turbocompresor y la inyección directa, que se pueden adaptar a la mejor curva de presión de refuerzo, tanto cuando se trabaja con GNC y biometano como con gasolina.

Además, los esfuerzos en áreas como la reducción de fricción, la gestión del calor y la optimización de la combustión tienen el potencial de lograr ganancias globales de eficiencia del 10% o más, lo que se suma a los beneficios del tren motriz cuando se utiliza gas natural (DG MOVE, 2015). La reducción de los sistemas de propulsión de gasolina, con turbocompresor es la forma perfecta de lograr un alto nivel de rendimiento con motores de bajo desplazamiento. La investigación se centrará fuertemente en una mayor optimización de los motores de gas de HDV utilizados en autobuses y camiones.

Las soluciones futuras incluirán motores de gas optimizados e híbridos que utilizan metano (por ejemplo, los autobuses urbanos en Madrid y Malmö y algunos LDV ya existentes), pero la falta de infraestructura de reabastecimiento de GNC aún exige la coexistencia de tres combustibles (gasolina/diésel, gas y electricidad), produciendo algunos inconvenientes de mantenimiento y operativos. Debido a la falta de espacio para alojar los sistemas de almacenamiento pertinentes en los vehículos de hoy en día, es fundamental que los vehículos funcionen exclusivamente con gas, antes de que los híbridos de GNC sean comercialmente viables. Por lo tanto, el enfoque en la mejora de la infraestructura de abastecimiento de metano facilitará la expansión y optimización de vehículos de gas natural tanto para el transporte de pasajeros como para el transporte de mercancías a corto (urbano y regional), medio (interurbano y nacional) y de larga distancia (transfronterizo y pesado).

La tecnología de vanguardia está madura para los motores de gas natural en vehículos. Para el transporte de media/larga distancia y de servicio pesado, los LNG Blue Corridors en Europa están demostrando actualmente la nueva tecnología de Euro VI.

En cuanto al biometano, los principales obstáculos a la penetración en el mercado son el mayor costo del biometano en comparación con el gas natural, los retrasos en la adopción de la norma que está desarrollando el CEN/TC408 para el gas

natural y el biometano para el uso en el transporte y el biometano para inyección en la red de gas natural.

Vehículos híbridos eléctricos

Introducción

Vehículo híbrido eléctrico (HEV, por sus siglas en inglés)

Los HEV son vehículos con un motor de combustión combinado con el motor eléctrico y el almacenamiento de energía de la batería. El motor eléctrico puede proporcionar propulsión a bajas velocidades y ayudar al motor en la demanda de potencia máxima.

La batería se carga de forma autónoma durante la conducción y el frenado, pero no se puede cargar desde fuentes de alimentación externas.

Tecnología del motor

Híbrido paralelo

Tanto el motor eléctrico como el motor del vehículo pueden suministrar energía a la transmisión simultáneamente. En algunas configuraciones, el motor eléctrico alimenta el conjunto de ruedas no accionado por el motor de combustión. Normalmente, el motor eléctrico es bastante pequeño y se utiliza principalmente para asistencia de potencia y frenado regenerativo. La capacidad de la batería es también bastante pequeña.

La ventaja principal en esta configuración híbrida es una mejor explotación del motor de combustión y el beneficio del frenado regenerativo y la potencia extra disponible cuando ambas fuentes de energía están acopladas a las ruedas.

Híbrido en serie

El motor de combustión funciona únicamente como un generador de energía para el motor eléctrico, y no se puede utilizar para alimentar la transmisión directamente. Normalmente, un motor pequeño de combustión se utiliza en combinación con un motor eléctrico más potente y un paquete de baterías de tamaño moderado.

La principal ventaja de esta configuración híbrida es la capacidad de funcionar con el motor eléctrico y las baterías solamente, ya que el motor sólo se inicia una vez que la batería necesita recargarse. Esto es útil en la conducción en ciudad y urbana, en particular cuando las baterías pueden cargarse mediante fuentes de alimentación externas.

Híbrido en serie-paralelo "Power-split"

Este concepto híbrido tiene una transmisión que permite que el motor de combustión se utilice como motor primario en paralelo con el motor eléctrico, o como generador para el mismo motor. El concepto combina la mayoría de las ventajas de los híbridos paralelos y de serie. Sin embargo, el costo se incrementa por la complejidad requerida en la transmisión.

Los vehículos eléctricos híbridos constituyen una tendencia significativa en la fabricación de automóviles a nivel mundial. Los híbridos, como los vehículos ordinarios, se basan en un motor de combustión, que utiliza combustible para generar energía de propulsión. Sin embargo, también se beneficia de una batería recargable y uno o más motores eléctricos. La batería no se carga antes de conducir, sino que se carga *durante* la conducción, por ejemplo, capturando parte de la energía de frenado que de otro modo se perdería. La batería también se puede cargar poniendo un poco de carga adicional en el motor de combustión, cuando está trabajando a RPM óptimo. Ésto requiere solamente muy poco combustible adicional que es más que compensado cuando el auto se está moviendo lentamente o parado, porque el motor de combustión puede entonces apagarse completamente. Todo esto se hace automáticamente.

Vehículo Híbrido Eléctrico Enchufable (PHEV)

También hay una tecnología de transición entre híbridos y eléctricos LDV. Éstos se llaman vehículo híbrido eléctrico enchufable (PHEV, por sus siglas en inglés). Las principales diferencias entre los híbridos enchufables y los vehículos híbridos normales son que la batería puede cargarse externamente y que la batería es típicamente mucho más grande en comparación con la batería cargada por el motor en los híbridos. Ésto también significa que los híbridos enchufables se utilizan principalmente como vehículos eléctricos con un rango extendido convencional.

Los PHEV son usualmente un vehículo eléctrico con un motor de combustión. La mayoría de estos vehículos pueden ser operados con un almacenamiento de

energía de la batería que es ligeramente más limitado en comparación con un vehículo eléctrico, porque el motor de combustión auxiliar amplía el rango. El motor eléctrico proporciona la propulsión y el motor de combustión complementa la batería, cuando la batería está próxima a estar vacía. Los diferentes PHEV que se han introducido en el mercado hasta ahora, varían en el tamaño de la batería y el tamaño del motor. Algunas marcas han elegido tan sólo tener tanques de combustible auxiliar muy limitados y sólo operar como un extensor de rango simple para reducir la ansiedad de alcance. Otras marcas han optado por limitar el tamaño de la batería, aún más, por lo que tienen un tanque de combustible más grande. La propulsión de estas últimas versiones es más como la de los vehículos híbridos normales y sólo pueden operar en distancias y velocidades limitadas como un vehículo eléctrico puro.

La batería se carga de forma autónoma durante la conducción y el frenado, y puede cargarse desde fuentes de alimentación externas.

Reabastecimiento y recarga

Los vehículos híbridos no requieren una nueva infraestructura de combustible ya que utilizan combustibles convencionales. Sin embargo, los híbridos enchufables son, por construcción, vehículos eléctricos y, por lo tanto, requieren acceso a la recarga. En este sentido, son completamente similares a los vehículos eléctricos, aunque muy probablemente no necesitan tantas posibilidades de recarga en el dominio público por su rango de operación más extenso debido al motor convencional.

Precios

Mirando en general los precios de los vehículos introducidos en el mercado de los EE.UU. se encuentra una diferencia de precio de alrededor del 10%. El consumo de combustible en la versión híbrida es un 35% más bajo en la ciudad y un 20% más bajo en las carreteras, según las cifras de la EPA.

La hibridación también se utiliza en vehículos MDV y HDV y en cada vez más vehículos que se están introduciendo en los mercados. Para estos vehículos, la tecnología tiene, tal vez, un mayor potencial ya que los costos de estos vehículos son más altos y los costos adicionales para el motor eléctrico son relativamente menores, en comparación con los autos de pasajeros.

Los híbridos que son más económicos también están disponibles en el mercado de masas y el costo de un auto híbrido es sólo ligeramente superior a un estándar automático. El beneficio del ahorro de combustible de un LDV híbrido es de

aproximadamente 25% en promedio en comparación con un motor de gasolina estándar. En total, el INECC (2016) estima que el costo total de propiedad (TCO, por sus siglas en inglés) en un período de 15 años es aproximadamente 29% más alto en un híbrido en comparación con un LDV de gasolina, sin embargo, para el híbrido (con un rendimiento de aproximadamente 4.7 l/100 km vs. 6.7 l/100km para el 100% de gasolina), en el mismo estudio del INECC, se menciona que los costos de combustible (gasolina) y electricidad representan un 20% del TCO, considerablemente menos que 37% en los autos convencionales a gasolina.

Perspectiva

Existen muy pocas barreras para la introducción de vehículos híbridos en México ya que utilizan los combustibles existentes y la infraestructura de combustible como se mencionó anteriormente.

Desde la década de 1990, donde se introdujeron los primeros autos híbridos, la tecnología híbrida ha madurado a una tecnología confiable y bien probada, que es seguro que beneficiará la tecnología de los LDV en los próximos años. Los autos de lujo y de alto rendimiento llevan mucho tiempo utilizando la tecnología híbrida para obtener un recorrido más silencioso y/o una mayor potencia máxima. Para los próximos años, la tecnología híbrida (sin posibilidades de carga externa) será cada vez más común en los autos convencionales para mejorar el ahorro de combustible y la reducción de emisiones. Las tecnologías híbridas también están encontrando su camino en los vehículos medio y pesados, así como en autobuses, aunque todavía en un número reducido.

Los híbridos enchufables siguen siendo una tecnología relativamente nueva. Una de sus características principales es que supera una serie de barreras, que todavía se considera un problema para la mayoría de los vehículos eléctricos. Por lo tanto, es una alternativa probable para los próximos años, hasta que los vehículos totalmente eléctricos no tengan barreras.

Vehículos eléctricos de batería (BEV, por sus siglas en inglés)

Introducción

Los LDV eléctricos constituyen una tendencia significativa en la fabricación de automóviles mundial. En algunos mercados, los BEV representan una cuota de mercado bastante grande de los vehículos nuevos vendidos, siendo Noruega el líder, con alrededor del 10% de los nuevos vehículos que son BEV. A diferencia de los autos ordinarios, no dependen de un motor de combustión, que utiliza combustible para generar energía de propulsión. En su lugar, utiliza un paquete de

baterías recargables y uno o más motores eléctricos. La batería se carga antes de conducir y la carga se mantiene parcialmente durante la conducción, por ejemplo, capturando la energía de frenado. La batería se puede cargar en casa o en las estaciones de carga públicas. Por lo general, una carga en casa durante la noche es la más económica, pero las baterías también se pueden cargar rápidamente si es necesario para un trayecto continuo. El tiempo de carga ha disminuido significativamente en los últimos años y ahora es, en el mejor de los casos, de alrededor de 20 minutos. El desarrollo de la tecnología se mueve muy rápidamente en el campo de las baterías, así que uno puede esperar un avance significativo para la batería eléctrica de los LDV. La tecnología ya es bastante madura en términos de seguridad y fiabilidad. Sin embargo, la principal preocupación de los compradores de LDV eléctricos es el alcance del combustible (almacenamiento). Hace apenas unos años, el alcance se limitaba a 60 millas (100 km) en conducción real, pero los modelos recientes alcanzan hasta 380 km (238 millas) con una carga en condiciones reales de conducción.

La generación de electricidad es, cada vez, más baja en carbono. El porcentaje de la generación bruta de electricidad libre de carbono (es decir, las formas de energía nuclear y renovable) en México fue de 22% en promedio en 2016 y se espera que aumente a 41% en 2030 (las expectativas de PRODESEN).

Los vehículos eléctricos no sólo tienen cero emisiones de tubo de escape, sino que también pueden hacer una contribución significativa a la eliminación de las emisiones de GEI del transporte, incluso cuando se toman en cuenta las emisiones de las centrales eléctricas. Con la intensidad media de carbono del sector eléctrico, los LDV eléctricos emiten menos GEI que sus equivalentes de combustión interna. Dato relevante en el análisis de ciclo de vida de esta tecnología que estima un 40% de reducción de emisiones de CO₂, respecto a un vehículo ligero a gasolina. (INECC, 2017)

El suministro de energías renovables y otras energías bajas en carbono a los EV claramente, impone su ventaja climática (de acuerdo con el proyecto GreeneMotion.¹⁹)

El impacto climático de los BEV también debe ser puesto en una perspectiva cronológica. Un auto BEV vendido hoy tendrá un impacto climático en declive durante su vida útil, lo cual depende totalmente del cambio en la producción de electricidad en la región o país dado, dependiendo del ritmo de descarbonización

¹⁹ <http://education.greenemotion-project.eu/the-big-picture/climate-impact-of-evs.aspx>

del sector eléctrico. Sobre la base de la intensidad de carbono estimada del sector de energía, en acuerdo con el escenario de referencia de la UE, para 2035 el vehículo eléctrico medio podría emitir emisiones de aproximadamente 28 g de CO₂/km⁽²⁰⁾. Los vehículos eléctricos tienen el potencial de convertirse en casi cero carbono en términos de emisiones de GEI dependiendo de la transición a fuentes de energía libres de carbono en la producción de electricidad.

Los vehículos eléctricos pueden contribuir a la mejora de la calidad del aire, especialmente en las zonas urbanas, ya que no producen emisiones de NOx ni material particulado (PM por sus siglas en inglés) mientras funcionan en modo de accionamiento eléctrico. Las partículas de PM afectan a más personas que cualquier otro contaminante. Los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica en partículas deterioran especialmente el tracto respiratorio, debilitan el corazón, el sistema circulatorio y conducen a un aumento de las tasas de mortalidad.

El análisis de la eficiencia energética del pozo a la rueda también muestra que los vehículos eléctricos son más eficientes que los ICE²¹ sobre una serie más amplia de fuentes de energía primaria.²²

Tecnología de baterías

Las baterías tradicionales de plomo-ácido no son adecuadas para la propulsión de los vehículos viales modernos y, por lo tanto, se considerarán obsoletas. Sólo se utilizan como una alternativa de bajo costo en aplicaciones muy especializadas como en motonetas de movilidad y montacargas.

Algunos de los primeros autos eléctricos entre 1990 y 2000 utilizaron baterías de hidruro de níquel-metal, que tienen hasta el doble de la relación peso-volumen de las baterías de plomo-ácido. Sin embargo, estas baterías han sido completamente eliminadas en favor de la química del litio más moderna.

El término "ion-litio" generalmente cubre las sustancias químicas con litio. Las baterías de ion-litio ofrecen de 3-6 veces la capacidad de baterías de plomo-ácido (www.batterividecenter.dk). La química más conocida que se empleó por primera vez en los BEV (como el Tesla Roadster) se utiliza comúnmente en computadoras

²⁰ Estimación de la intensidad de carbono del sector energético de alrededor de 140 g CO₂/kWh en 2035, Tendencias de la Comisión Europea para 2050

²¹ Motores de combustión interna

²² Ver JEC (2014b) WTW Versión 4a

portátiles, herramientas eléctricas y otras aplicaciones de energía exigentes. Tiene un cátodo de óxido de cobalto y un ánodo de grafito. Este tipo de batería tiene una densidad de potencia muy alta, pero tiene una tendencia a encenderse y quemarse sin control cuando está dañada. También tiene una vida útil limitada, debido a la rápida degradación y un número relativamente bajo de ciclos de descarga.

Se han desarrollado nuevas químicas de litio (como el hierro-fosfato, el titanato y las espinelas) que son generalmente seguras, pero con menor densidad de energía que el variante cobalto/grafito. Sin embargo, estas nuevas sustancias químicas se optimizan para una mayor vida útil con muchos ciclos de descarga y en algunos casos con corrientes de carga muy altas, lo que permite una recarga muy rápida. Estas nuevas generaciones de baterías eliminan la mayoría de las incertidumbres relacionadas con la seguridad, la degradación de la batería y la duración de la carga.

La tensión de corriente continua en el BEV es, en muchos casos, superior a 400 voltios. Para evitar el riesgo de choque eléctrico, el sistema de alta tensión queda completamente aislado del chasis. Esto es, en contraste con el sistema común de 12 voltios utilizado para la iluminación y otros accesorios de automóviles, que están conectados a tierra directamente al chasis. También es muy diferente a las líneas eléctricas aéreas, que sólo están aisladas por el aire, y pueden descargarse directamente a la tierra.

Tecnología del motor eléctrico

La mayoría de los autos eléctricos de precio moderado tienen un motor eléctrico conectado a las ruedas delanteras o traseras. Los vehículos de lujo más caros, por ejemplo, el Tesla y el BMW, tienen configuraciones duales de motor, que proporcionan tracción total. Algunos prototipos tienen un motor eléctrico integrado en cada rueda.

Los BEV modernos utilizan corriente directa sin escobillas, sincrónicos de corriente alterna o motores asíncronos de corriente alterna. Los controladores de frecuencia de alta potencia se utilizan para moderar la velocidad y la potencia del motor según la demanda. Los motores de corriente directa usan normalmente los imanes hechos del material de tierra rara, en cambio, el motor sincrónico de corriente alterna utiliza las bobinas magnetizadoras. El motor asíncrono de corriente alterna no utiliza ninguna.

Los motores eléctricos tienen excelentes características para la propulsión del vehículo, con par de torsión máximo disponible de baja a media velocidad. Por la

misma razón, la mayoría de los autos eléctricos tienen un engranaje fijo, que proporciona una aceleración satisfactoria y una velocidad máxima limitada, principalmente, por la energía disponible de la batería. Al comparar la potencia de los autos eléctricos con la potencia nominal de los autos de gasolina o diésel, vale la pena señalar que los motores alimentados suelen ofrecer su par máximo a velocidades del motor por encima de 2000 RPM. Por lo tanto, los autos eléctricos con una potencia equivalente a los autos con combustibles fósiles pueden tener una aceleración significativamente más rápida, lo que es particularmente ventajoso en el tráfico urbano. Como regla general, un kW eléctrico equivale a 1½ tradicional, kW del motor.²³

Vehículos

La electrificación también está siendo introducida para los MDV en el mercado mundial (aunque aún no se está introduciendo en México), para autobuses y pequeños vehículos de carga pesada. Los MDV que hasta ahora se han introducido en el mercado son MDV de tamaño pequeño, mientras que todavía no hemos visto MDV más grandes con motores eléctricos, ya que aún no es una tecnología madura.

Hay algunos camiones eléctricos más pequeños o HDV que hoy se introducen en el mercado internacional. Sin embargo, sólo en un número muy limitado. El principal problema es el tener suficiente potencia para conducir un vehículo y, al mismo tiempo, tener suficiente capacidad de carga en el vehículo. Muchas de las furgonetas y camiones eléctricos son llamados híbridos de alcance extendido, pero se ven ejemplos de vehículos eléctricos completos. Los camiones eléctricos de recolección de basura también se han introducido como camiones diésel reacondicionados, por ejemplo, en los Países Bajos y Dinamarca. El camión de recolección de basura eléctrico es ventajoso debido a un menor ruido al operar el incinerador. Esto se considera un beneficio en áreas urbanas densas. Los costos de los camiones y furgonetas son, sin embargo, todavía bastante altos debido a la gran capacidad de batería necesaria.

Para los autobuses, la electrificación no es nueva. Los tranvías se han utilizado durante muchos años, sin embargo, los autobuses eléctricos de batería son más recientes y se están introduciendo en las líneas de autobuses urbanos. La tecnología de carga se está desarrollando rápidamente para apoyar también la

²³ Ver el proyecto Green eMotion. <http://education.greenemotion-project.eu/before-you-decide/performance-and-consumption-metrics/performance.aspx>

introducción de vehículos eléctricos en rutas con un rango de operación más largo. La carga puede hacerse en las paradas de autobús con los pantógrafos levantados desde el vehículo (ver la Figura 2-12).

Infraestructura de recarga

En México, ya existe una infraestructura básica de combustible para LDV eléctricos. Todas las áreas donde las casas tienen un lugar de estacionamiento y un enchufe eléctrico son candidatos adecuados para los LDV eléctricos. La carga no debe hacerse directamente desde la toma, sino desde una estación de carga, que hace un instalador, electricista certificado. Éstos son, por lo general, de alrededor de \$ 1,000 USD. Sin embargo, para aprovechar al máximo el potencial de los LDV eléctricos y también para viajes más largos, las redes de carga rápida deben ser configuradas por empresas privadas o públicas. Éstas son bastante costosas, costando \$ 50,000-100,000 USD por estación²⁴, y pueden no ser utilizadas mucho, debido a la conveniencia obvia de cargar en casa durante la noche, en lugar de esperar en un establecimiento público de carga. Sin embargo, son necesarios para proporcionar seguridad para los dueños de los LDV eléctricos. Esta seguridad es necesaria para que la gente acepte en general a los autos eléctricos como una alternativa viable a los LDV de combustible especialmente para los viajes interurbanos más largos.

Precios

El precio de un LDV eléctrico es todavía mucho más alto que un LDV híbrido (INECC, 2016). En algunos países, los créditos fiscales u otro tipo de incentivos compensan la diferencia de precios. El paquete más fuerte de incentivos para los autos eléctricos se encuentra en Noruega. Estos incentivos incluyen exenciones fiscales, cargos gratuitos, estacionamiento gratuito, paseos en ferry gratuitos, pasaje gratuito al puente y mucho más. Esto ha convertido a Noruega en el mercado en desarrollo más rápido para los LDV eléctricos. INECC (2016) estima además que el auto eléctrico tiene un costo total de propiedad de más de 15 años, alrededor de un 80% más alto que un LDV de gasolina. La diferencia de precio para un LDV híbrido se estima en alrededor del 29% respecto al de gasolina.

²⁴ Ver la página web Clean Technica: <https://cleantechnica.com/2014/05/03/ev-charging-station-infrastructure-costs/>

Perspectiva

El transporte eléctrico está ahora ampliamente desarrollado con varios productores de vehículos introduciendo BEV en estos años y algunos PHEV en el mercado. La principal barrera aún con los vehículos eléctricos es el rango de operación. Los autos con rangos de operación muy largos son todavía bastante costosos. Sin embargo, la tecnología de batería también se mejora continuamente, pero todavía hay espacio para aumentar el rendimiento y el costo de las baterías.

A medida que la electricidad está cambiando cada vez más hacia combustibles renovables, los vehículos eléctricos se convertirán en una de las tecnologías más limpias del mercado. Por lo tanto, esto es altamente dependiente de los cambios que ocurren en el sector de producción de energía.

Hidrógeno

Introducción

Los FCEV²⁵ y el hidrógeno proporcionan una proposición alternativa en el sector del transporte. El hidrógeno es un gas con un valor calorífico de 142 MJ/kg, un mayor valor calorífico, (HHV por sus siglas en inglés). El bajo valor calorífico (LHV por sus siglas en inglés) se obtiene al multiplicarlo por 0.846.

La densidad del hidrógeno, a temperatura y presión estándar, es de sólo 0.09 kg/m³. Por lo tanto, el hidrógeno debe ser comprimido o licuado si se va a utilizar como un combustible para automóviles.

El punto de ebullición es de -252 °C a presión atmosférica. Las soluciones avanzadas de almacenamiento criogénico pueden utilizarse para almacenar hidrógeno en este estado.

Aunque el hidrógeno puede usarse en motores de combustión, generalmente es mucho más eficiente usar hidrógeno en pilas de combustible. El hidrógeno también se puede añadir al gas natural o al biometano para mejorar sus características de combustión.

Producción y almacenamiento

Al igual que la electricidad, el hidrógeno es un portador de energía que puede ser producido a partir de una amplia variedad de fuentes de energía primaria.

La tecnología para la producción de hidrógeno es madura y existen varias vías de producción alternativas. Sin embargo, la distribución del hidrógeno es exigente.

Actualmente, el hidrógeno se produce predominantemente mediante el reformado con vapor del metano, a través de un proceso de transformación química que implica generalmente la descarbonización de un hidrocarburo. El hidrógeno también puede producirse a partir de energías renovables o nucleares mediante electrólisis o reformado de biometano, a través de materia prima orgánica y el fraccionamiento del agua (aquí se hará referencia al hidrógeno "térmico"), que ofrece emisiones cero o cercanas a cero desde el pozo hasta la rueda.

El aumento de fuentes de energía renovables intermitentes, como la solar y la eólica, en los sistemas de energía está causando retos operativos, como la estabilidad de la red, y ha llevado a un mayor uso del almacenamiento de energía entre otras medidas. El hidrógeno es visto como una de las soluciones clave para el almacenamiento de energía a gran escala y a largo plazo. Para cumplir con esto, se necesitan desarrollar algunas tecnologías prometedoras. Por ejemplo, mediante la conversión de la electricidad en hidrógeno, que ya es posible mediante la electrólisis.

El almacenamiento a gran escala de hidrógeno es factible y ha sido probado comercialmente en, al menos, un caso en el que el hidrógeno se almacena en una formación de sales subterráneas. Sin embargo, aún no se ha demostrado la integración con la producción intermitente de hidrógeno, mientras que aún no se ha definido un caso comercial adecuado en el que la ubicación del almacenamiento esté dictada por los patrones de viento/sol y las condiciones geológicas. Para explotar la capacidad de almacenamiento a gran escala de la red de gas natural (GN), las primeras demostraciones de mezcla de hidrógeno en la red de gas natural están comenzando ahora mismo. Éstos siguen siendo de pequeña escala y se inyectan en un punto de entrada de presión relativamente baja.

El potencial del hidrógeno como combustible es significativo. El hidrógeno puede producirse a partir de una variedad de fuentes de energía primaria. La vía de dominación absoluta para la producción de hidrógeno es el reformado a vapor de hidrocarburos, en primer lugar, el metano. Pequeñas cantidades son producidas por la electrólisis del agua. El hidrógeno se produce en grandes cantidades para aplicaciones industriales. El costo de producción y la eficiencia energética todavía pueden mejorarse. Además, se necesitarían inversiones significativas en la red de distribución de hidrógeno, que se ha identificado como uno de los principales cuellos de botella para la adopción del hidrógeno como combustible de transporte

a gran escala. La disponibilidad de hidrocarburos, como tal, no se ve como una barrera contra la expansión del hidrógeno como combustible de transporte futuro.

El hidrógeno ya se produce en cantidades importantes hoy en día, principalmente, para fines industriales y de refinería. Las refinerías de petróleo, en particular, son grandes consumidores de hidrógeno para la hidrodeshulfuración de diversos flujos, tales como los procesos de conversión de gasóleo y aceite pesado. Sin embargo, para el uso de hidrógeno en las pilas de combustible, el hidrógeno tiene que ser purificado a un nivel alto, implicando la eliminación de las impurezas que podrían afectar el funcionamiento de la pila de combustible. El hidrógeno se almacena en tanques a muy alta presión (hasta 700 bar).

En el corto plazo, los combustibles fósiles (principalmente el gas natural) seguirán siendo las materias primas menos costosas para la producción de hidrógeno. Dado que su conversión todavía emite carbono en la atmósfera; la transición a la movilidad de emisiones cero requerirá el paso a vías de producción más limpias, que tienen el potencial de eliminar virtualmente las emisiones de GEI.

Por ejemplo, la producción de hidrógeno a partir de biomasa renovable es una prometedora opción de mediano plazo con emisiones netas de carbono muy bajas. A mayor largo plazo, la transición al hidrógeno a partir de la energía eólica debería permitir una movilidad sin carbono. Si bien esta tecnología está mejorando rápidamente, el alto costo de los electrolizadores y la electricidad renovable constituyen obstáculos clave para una mayor aceptación.

Abastecimiento y almacenamiento a bordo

Aunque el hidrógeno tiene un contenido muy elevado de energía por kilogramo, es muy ligero en peso (debido a su bajo peso molecular), incluso, cuando está altamente comprimido o licuado. Por lo tanto, no tiene un alto contenido energético por litro de espacio necesario para almacenarlo.

La secretaría de la ISO/TC 197 ha desarrollado más de 30 normas para la seguridad, el aprovisionamiento de combustible y el almacenamiento a bordo, de hidrógeno -tanto líquido como presurizado- así como otras normas técnicas relacionadas, incluidas las especificaciones relativas al hidrógeno. Éstos pueden encontrarse en un catálogo en el sitio web de ISO.²⁶

Los tanques de combustible compuestos se construyen para acomodar el hidrógeno hasta 700 bar. A esta presión, la densidad de hidrógeno es de 42 kg/m³

²⁶ <https://www.iso.org/committee/54560/x/catalogue/>

y la densidad de energía es, por lo tanto, de 5,9 MJ/L (HHV). El volumen y el peso requeridos para el tanque de presión son, sin embargo, considerables, ya que se debe construir con cantidades excesivas de compuesto de fibra de refuerzo.

El suministro de hidrógeno presurizado a los vehículos requiere avanzadas estaciones de abastecimiento de combustible. La estación de abastecimiento debe ser capaz de suministrar dos niveles de presión diferentes (350 y 700 bar). También debe compensar el calor generado en el tanque, que debe permitir que se disipe durante el reabastecimiento. Cuando ésto se hace, el reabastecimiento de combustible es, generalmente, sin complicaciones para el consumidor, y el proceso se puede terminar en una cuestión de menos de 10 minutos.

Las soluciones criogénicas del tanque se construyen para acomodar el hidrógeno a temperaturas alrededor de -250 °C. A esta temperatura, la densidad de hidrógeno es de 71 kg/m³ y la densidad de energía es, por lo tanto, de 10.1 MJ/L (HHV). Las construcciones de tanques son avanzadas y normalmente implican varias capas de escudos que reflejan el calor separados por vacío, para proteger el tanque del calor convectivo y conductor. Por lo tanto, los tanques criogénicos son componentes costosos, lo que se suma al precio de una ya costosa tecnología de vehículos.

Alimentar el hidrógeno criogénico no es muy diferente para el consumidor, que alimentar el hidrógeno presurizado. Una boquilla estandarizada está conectada al vehículo, lo que garantiza que el hidrógeno líquido se transfiere al vehículo con evaporación minimizada y con seguridad, devolviendo gas hidrógeno evaporado a la estación. El abastecimiento de un vehículo debe ser posible en menos de 10 minutos.

Todavía se necesitan esfuerzos significativos para establecer la infraestructura necesaria de estaciones de reabastecimiento de hidrógeno. Sin embargo, no requiere un cambio en los hábitos de los usuarios en términos de movilidad y reabastecimiento de combustible, y ofrece importantes beneficios en términos de sostenibilidad medioambiental y energética.

Tecnología del motor

Los vehículos con hidrógeno utilizan principalmente la tecnología de celdas de combustible, en la que el hidrógeno se combina con el oxígeno atmosférico por medio de una membrana de intercambio de protones para formar agua. El proceso crea electricidad, que se utiliza para alimentar uno o más motores eléctricos en el tren de la unidad del vehículo.

Los cambios rápidos de la carga en el motor eléctrico son manejados normalmente por las baterías, que pueden entregar energía adicional cuando es necesario y almacenar energía de la pila de combustible y frenado regenerativo. Esto permite el tiempo de arranque de las pilas de combustible y una carga constante optimizada en el sistema.

Los sistemas de propulsión en FCEV son generalmente mucho más eficaces que los sistemas de propulsión basados en motores de combustión y, por lo tanto, los vehículos normalmente pueden conducir más de 100 km por kg de hidrógeno.

Vehículos comercialmente disponibles

Muchos vehículos del concepto se han propuesto y se exhiben en demostraciones de motores por todo el mundo. Algunos han entrado en la producción a pequeña escala para los mercados limitados. Sólo unos cuantos FCEV están disponibles hoy.

Precios

Los diferentes métodos de producción de hidrógeno como la hidrólisis muestran una amplia gama de costos entre \$38 MXN y \$206 MX/kg H₂.

Los modelos de vehículos en producción tienen campos de conducción de 426-589 km. Las cifras de consumo de los modelos en el mercado ahora equivalen a aproximadamente 66 MPG (gasolina), mientras que los vehículos más grandes tienen un consumo equivalente a 50 MPG.

La tecnología es todavía joven y los costos de los vehículos de hidrógeno de celda de combustible son todavía mucho más altos que los vehículos convencionales. Por lo tanto, es también muy difícil dar estimaciones reales de los precios cuando los vehículos se introducen en un mercado de masas.

Perspectiva

Europa sigue siendo considerada un líder tecnológico en ciertas áreas de aplicación del FCH, pero otras regiones (por ejemplo, Japón y Estados Unidos) se están desarrollando rápidamente como resultado de la intervención y el apoyo público. Las empresas europeas han logrado un impresionante progreso tecnológico, especialmente en el sector del transporte, gracias también al buen apoyo de los proyectos desarrollados conjuntamente bajo el programa Marco Europeo de R&D. Los sectores público y privado se unieron para formar la primera Empresa Común de Pilas de Combustible e Hidrógeno (FCH JU por sus siglas en inglés) en 2008, con el fin de promover la coordinación y la colaboración en todo el

sector europeo de FCH y acelerar la comercialización de tecnologías FCH. Esta iniciativa se ha ampliado en el marco de Horizonte 2020 como FCH 2JU.

Además de una fuente fiable de suministro de hidrógeno, se necesitan dos cosas para la introducción en el mercado de FCEV: los propios autos y las estaciones de recarga de hidrógeno para apoyarlos. En cualquier mercado, un número mínimo de cada uno es necesario para apoyar la demanda del otro (FuelCelltoday, 2013).

Es probable que los despliegues iniciales se concentren en las flotas gubernamentales, en otras operaciones de flota de retorno a base y en el mercado de automóviles de alta calidad en áreas con un nivel adecuado de infraestructura. Después de la introducción temprana en el mercado, la aceptación y adopción generalizada de los consumidores será gradual, acelerándose a medida que aumente la densidad de la infraestructura y disminuya el costo de producción de los vehículos y del hidrógeno. En última instancia, el aprovechamiento dependerá de las ventajas y costos de FCEV cuando se juzgue contra otras alternativas (FuelCelltoday, 2013).

4. Hojas de datos

El principal elemento del catálogo de tecnología son las hojas de datos. Las hojas de datos representan un conjunto de tecnologías de vehículos dentro de cuatro grupos: vehículos ligeros (LDV), vehículos de servicio medio (MDV), vehículos pesados (HDV) y autobuses. Dentro de cada uno de estos tipos de categorías de vehículos, se incluyen diferentes variantes representativas. Las categorías típicas son tres categorías de "tamaño" y una o más categorías que representan tecnologías futuras o de baja emisión de carbono.

Cada tipo de vehículo incluido en las hojas de datos representa un grupo o clase de vehículos. Por lo tanto, los parámetros incluidos en las hojas de datos muestran el valor más común de los vehículos contenidos en la categoría. Esto significa que los datos no corresponden a un vehículo en particular, sino que son los valores más comunes para esta tecnología.

Los datos presentados se basan, en gran medida, en fuentes de datos mexicanos y se complementan con valores y fuentes internacionales, donde se consideran más confiables y cuando no se han identificado datos mexicanos. La ambición ha sido asegurar el más alto nivel de generalidad y fiabilidad de los datos.

Elementos de las hojas de datos

Para cada tecnología, la hoja de datos mostrará los siguientes datos para los años 2017 (la situación actual), 2020 y 2030. Los datos para 2020 y 2030 deben ser considerados como los valores esperados para un vehículo nuevo comprado en este año en particular. Las proyecciones en los próximos años son obviamente inciertas. Por lo tanto, las proyecciones se basan en fuentes internacionales, que indican los cambios relativos en el consumo de energía y los patrones de emisión (por ejemplo, de la AIE). Estos cambios relativos se utilizan para proyectar las características actuales del vehículo.

Parámetros técnicos

- Tipo de combustible (diésel, GNC, gasolina, electricidad u otros)
- Consumo de energía (MJ combustible por km)
- Uso de energía (Km/L, kwh/km y similares)
- Disponibilidad (si el auto se encuentra en el mercado mexicano)
- Vida técnica útil (años)
- Rango anual en km por carga/abastecimiento para tecnologías de combustibles alternativos

Medio ambiente

- Certificación (si está certificada por PROFEPA, en caso contrario, cuáles son las emisiones)
- CO₂ (g por km)
- Partículas (g por km)
- Carbono negro (g por km)
- SO_x (g por km)
- NO_x (g por km)
- CH₄ (g por km)
- N₂O (g por km)

Parámetros de costo de inversión y operación

- Precio (precio en el mercado mexicano incluyendo IVA)
- Costos de mantenimiento (costo de mantenimiento anualizado incluyendo IVA)
- Costos de seguro
- Costos de combustible

Las cifras de costos se calculan utilizando un conjunto de parámetros:

- Precios del combustible por litro, kwh o Nm³ (Fuente: Listas de precios oficiales mexicanos)
- Factores de inflación de precios basados en el aumento % anual de precios (Fuente: Perspectiva Económica de México por SHCP para 2017-2022, asumiendo la misma inflación hasta 2030)
- El seguro como un factor de costos de inversión (Fuente: INECC, 2016)
- El mantenimiento como una parte de los costos de inversión (fuente: INECC, 2016)
- Costos de adquisición (costos de inversión) (Fuente: una amplia selección de páginas web de los productores, valores medios utilizados)

Los costos se calculan entonces como un costo por kilómetro utilizando los principales insumos anteriores.

Principales fuentes utilizadas en las hojas de datos

Existen varias fuentes de datos disponibles para el impacto medioambiental de los vehículos. La principal fuente de datos ha sido la base de datos de Ecovehículos (INECC), en casi todas las versiones de vehículos matriculados en México. Esto se complementa con bases de datos y modelos desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) en EE.UU., para los cuales se

toman en cuenta datos mexicanos específicos (por ejemplo, la herramienta AFLEET y el modelo MOVES con una aplicación especial para México y datos). Las fuentes de la EPA se basan en las composiciones de la flota de vehículos para encontrar los valores "promedio" correctos. Las flotas de automóviles en México y Estados Unidos difieren de las europeas en los siguientes aspectos:

- Los automóviles y los motores suelen ser más pequeños en Europa
- La mayoría de los automóviles en Europa tienen transmisiones manuales
- La mitad de los autos en Europa son diésel
- Los camiones y furgonetas de gasolina se utilizan muy raramente en Europa

Debido a las circunstancias mencionadas anteriormente, hemos elegido tres fuentes de datos principales. Se trata de la base de datos mexicana Ecovehículos que cubre todos los modelos de LDV y MDV introducidos al mercado mexicano, el modelo AFLEET internacional y la base de datos del modelo MOVES basada en los registros de energía y medio ambiente de los vehículos de la US EPA. La herramienta combina el rendimiento real de los vehículos individuales con la flota real y la composición del uso en México (o cualquier otro país de interés).

ECOVEHÍCULOS

El Portal de Eficiencia Energética y Emisiones de Vehículos (Ecovehículos), desarrollado por el INECC, recopila y publica información clara y oportuna sobre emisiones, rendimiento y gastos anuales de combustible de vehículos ligeros nuevos y semi-nuevos disponibles en el mercado nacional. Las características técnicas de los vehículos se resumen en dos grados que combinan los atributos de rendimiento y emisiones, con el fin de proporcionar información a los consumidores de automóviles para tomar decisiones informadas que impactan su economía y en favor del medio ambiente. Además, busca alentar a la industria automotriz a producir tecnologías más eficientes y limpias y vincular las decisiones de consumo con los costos y los beneficios para la sociedad.

Los datos de consumo de combustible y emisiones contaminantes reportados en el Portal de Ecovehículos se obtienen a partir de las pruebas realizadas por los fabricantes bajo condiciones de laboratorio controladas y se proporcionan únicamente para fines comparativos no oficiales.

Herramienta AFLEET

La herramienta AFLEET 2016, es un módulo del software GREET1_2015 producido por el Laboratorio Nacional Argonne en la Universidad de Chicago. GREET es un modelo muy completo de las emisiones del ciclo de vida del vehículo. Argonne ha desarrollado la Herramienta de Transporte Ambiental y Económico de Ciclo de Vida del Combustible Alternativo (AFLEET por sus siglas en inglés) para las partes interesadas de las Ciudades Limpias a estimar el uso del petróleo, las emisiones de gases de efecto invernadero, las emisiones de contaminantes atmosféricos y el costo de propiedad de los vehículos ligeros y pesados, usando insumos de hojas de cálculo simples.

La herramienta utiliza datos del modelo de ciclo de combustible de Argonne de Gases de efecto invernadero, Emisiones Reguladas y uso de la Energía en el Transporte (GREET por sus siglas en inglés) para generar el uso necesario de petróleo y los coeficientes de emisión de GEI para las vías principales de producción de combustible y los tipos de vehículos.

Además, el modelo MOVES-MX de la EPA y los datos de certificación se utilizan para estimar las emisiones de contaminantes del aire del tubo de escape, se usan varias fuentes para proveer datos de costo por defecto, incluyendo el Informe de Precios de Combustibles Alternativos de Ciudades Limpias y la Ley de Recuperación y Reinversión Americana. El software es de licencia gratuita.

En las hojas de datos, la herramienta AFLEET se utiliza, principalmente, para establecer factores de ahorro de combustible del tanque a la rueda y estimaciones de costos para los diferentes tipos de vehículos.

MOVES factores de emisión en GREET:

La última actualización a partir de 2014 tiene como objetivo actualizar los factores de emisión GREET del año de modelo (MY por sus siglas en inglés) del vehículo - basados en los factores de emisión de varios contaminantes del aire a partir de las actividades de la operación del vehículo, que implican varias tecnologías del vehículo, usando el modelo MOVES-MX de la EPA (EPA, 2014).

En las hojas de datos, el modelo MOVES se utiliza principalmente para establecer factores de emisión de contaminantes tales como NOx, CH4 y materia particulada.

Otros factores de emisión están relacionados con el consumo de energía, utilizando la cantidad de emisiones por MJ de energía consumida.

Tecnologías cubiertas

Las hojas de datos incluyen, como se mencionó, tanto las tecnologías actuales convencionales (baseline) como las tecnologías bajas en carbono.

Tecnologías de baseline

- Vehículo de gasolina estándar (baseline LDV):
 - Alta tecnología, subcompacto de baja emisión
 - Subcompacto
 - Compacto
 - SUV
- Pick-ups
 - Pick-up pequeña, gasolina
 - Pick-up mediana, gasolina
 - Pick-up de diésel y camionetas
- Camiones Diésel (baseline HDV)
 - Camión pequeño (Clase 2b a 5, camión profesional)
 - Camión mediano (Clase 6 y 7, uno profesional y un tractor-remolque)
 - Camión grande (Clase 8, uno profesional y un tractor-remolque)
- Autobuses diésel (baseline HDV)
 - Autobuses pequeños (Clase 5-6, autobús urbano)
 - Autobuses medianos (Clase 7, Autobuses urbanos e interurbanos - dos variaciones)
 - Grandes autobuses (Clase 8, autobuses interurbanos y autocar - dos variaciones)

Observamos que los vehículos baseline representan las tecnologías que ya se introducen en el mercado mexicano. Por lo tanto, corresponden a la tecnología en los vehículos que se pueden comprar y utilizar en 2017. Esto significa que cumplen con los actuales estándares de energía y emisiones como las normas Euro V y EPA 2010.

Las clases de vehículos HDV y la definición de las Clases 2b a 8 se resumen en la siguiente tabla (de la EPA, 2015) y es la misma categorización propuesta para México:

Regulatory Class Description	regClassName	regClassID	Gross Vehicle Weight Rating (GVWR) [lb]	Source Types (SourceTypeID)	Operating Mode Basis ²
Light-heavy duty ≤ 10,000 lbs. (Class 2b Trucks with 2 Axles and 4 Tires.)	LHD≤ 10K	40	8,501 – 10,000	Passenger Trucks,(31) Light Commercial Trucks(32)	VSP
Light-heavy duty ≤ 14,000 lb. Class 2b (Trucks with 2 Axles and at least 6 Tires or Class 3 Trucks.)	LHD≤14K	41	8,501 – 14,000	Buses (41, 43), and Single Unit Trucks (51,52,53,54)	STP
Light-heavy duty 4-5	LHD45	42	14,001 – 19,500	Buses (41, 42, 43) and Single Unit Trucks (51,52,53,54)	STP
Medium-heavy duty	MHD	46	19,501 – 33,000	Buses (41,42,43), Single Unit Trucks (51,52,53,54), and Combination Trucks (61,62)	STP
Heavy-heavy duty	HHD	47	> 33,000	Buses (41,42,43), Single Unit Trucks (51,52,53,54), and Combination Trucks (61,62)	STP
Urban Bus	Urban Bus ¹	48	> 33,000	Transit Bus (42)	STP

¹ see CFR § 86.091(2).
² MOVES assigns operating modes based on VSP or STP, depending on source type

Las clases se pueden describir como:

Camiones de servicio ligeros

Los camiones de servicio ligeros forman parte de las clases de camiones comerciales 1, 2 y 3. La clase está determinada por el GVWR del vehículo.

- Clase 1 - Esta clase de camión tiene un GVWR de 0 a 2,722 kg (0 a 6,000 libras).
- Clase 2 - Esta clase de camión tiene un GVWR de 2,722 a 4,536 kg (6,001 a 10,000 libras).
- Clase 3 - Esta clase de camión tiene un GVWR entre 4,536 y 6,350 kg (10,001 a 14,000 libras).

Camiones de servicio medio

Los camiones de servicio medio comprenden las clases de camiones comerciales 4, 5 y 6. La clase está determinada por el GVWR del vehículo.

- Clase 4 - Esta clase de camión tiene un GVWR de 6,351 a 7,257 kg (14,001 a 16,000 libras).
- Clase 5 - Esta clase de camión tiene un GVWR de 7,258 a 8,845 kg (16,001 a 19,500 libras).
- Clase 6 - Esta clase de camión tiene un GVWR de 8,846 a 11,793 kg (19,501 a 26,000 libras).

Camiones de servicio pesado

Los camiones pesados forman parte de las clases de camiones comerciales 7 y 8. La clase está determinada por el GVWR del vehículo.

Los vehículos de clase 7 y 8 requieren que el conductor tenga una licencia de conductor industrial Clase B para operar el vehículo.

- Clase 7 - Esta clase de camión tiene un GVWR de 11,794 a 14,969 kg (26,001 a 33,000 libras).
- Clase 8 - Esta clase de camión tiene un GVWR de más de 14,969 kg (33,001 libras), e incluye todos los remolques de tractores.

Para las proyecciones en los años futuros, los vehículos cumplen generalmente con las normas Euro VI. Sin embargo, los datos presentados se basan en el rendimiento medio esperado de los futuros vehículos.

Para las tecnologías diésel presentadas, se reconoce que existe incertidumbre en cuanto a cuándo el diésel bajo en azufre (ver el análisis de la calidad del combustible en este documento) es ampliamente requerido e introducido en México. Por lo tanto, las hojas de datos también incluyen una proyección alternativa de Diésel con Alto Contenido en Azufre.

Tecnologías con bajas emisiones de carbono:

Las diferentes tecnologías de baja emisión de carbono incluyen combustibles alternativos y combustibles convencionales con tecnología híbrida. Los biocombustibles no se consideran ya que, como se describe en este documento, se utilizan principalmente como mezcla en los combustibles convencionales y no cambian la emisión o la energía de los patrones del vehículo del tanque a la rueda.

- Híbrido gasolina-eléctrico (LDV)
- Híbrido eléctrico enchufable (LDV)
- Eléctrico (LDV, MDV y autobuses)

- GNC (HDV y autobuses)
- Pilas de combustible de hidrógeno (LDV)

Generalmente, también se pueden utilizar un número biocombustibles. Sin embargo, éstos no requieren normalmente de nuevos tipos de tecnologías de vehículos, puesto que los biocombustibles se mezclan dentro como combustibles convencionales. Hay algunas restricciones en la calidad del biocombustible para hacerlo disponible. Además, en las mezclas superiores, se requieren tecnologías específicas del motor (como la tecnología del etanol o del vehículo E-85).

Supuestos básicos y cálculos

SO₂:

Para la gasolina, utilizamos un contenido de azufre de referencia de 30ppm.

$$\frac{30 \text{ mgS/kg fuel}}{43 \text{ MJ/kg fuel}} \cdot \frac{64,066}{32,065} \text{ mgSO}_2/\text{mgS} = 1.39 \text{ mgSO}_2/\text{MJ}$$

Para el diésel, utilizamos un contenido de azufre de referencia de 500ppm.

$$\frac{500 \text{ mgS/kg fuel}}{42.7 \text{ MJ/kg fuel}} \cdot \frac{64,066}{32,065} \text{ mgSO}_2/\text{mgS} = 23.40 \text{ mgSO}_2/\text{MJ}$$

Consumo de energía:

Toda la energía se basa en Valor Calórico Inferior (LHV, por sus siglas en inglés) también conocido como Valor Calórico Neto.

Las siguientes relaciones se toman de la HERRAMIENTA AFLEET que se puede utilizar para estimar el consumo de energía de un vehículo de combustible alternativo cuando no hay otros datos disponibles. Estas relaciones son reconocidas internacionalmente (y en México) como confiables. Por lo tanto, en el desarrollo del consumo de energía para vehículos, donde no hay muchos vehículos a observar, estas relaciones se utilizan para establecer el consumo de energía en las hojas de datos. Los factores se basan en el tamaño del vehículo y peso similares. Deben utilizarse si no se dispone de un vehículo de combustible alternativo en el mismo tamaño y peso exactos que el vehículo de referencia.

- Gasolina = Etanol [MJ/km]
- Gasolina = 0.95 * GNC [MJ/km]
- Gasolina = 1.20 * Diésel [MJ/km]
- Gasolina = 1.40 * Híbrido [MJ/km]
- Gasolina = 1.49 * PHEV [MJ/km]
- Gasolina = 1.99 * Hidrogeno [MJ/km]
- Gasolina = 3.30 * Eléctrico [MJ/km]
- Diésel = Bio diésel [MJ/km]
- Diésel = 0.85 * GNC [MJ/km]
- Diésel = 1.65 * Hidrogeno [MJ/km]
- Diésel = 2.75 * Electric [MJ/km]
- Diésel dual fuel LNG = 0.95 * GNC [MJ/km]

CO₂:

Las emisiones de CO₂ se calculan sobre la base del tubo de escape, de acuerdo con el informe Concawe Tank to Wheel de la UE. Las emisiones de la producción y distribución de combustibles no están incluidas.

- Gasolina 73.4 g/MJ
- Diésel 73.2 g/MJ
- CNG 56.2 g/MJ
- LNG 56.2 g/MJ
- Bio diésel 0 g/MJ
- Electricidad 0 g/MJ
- Hidrógeno 0 g/MJ

5. Bibliografía

Autogas (2017) Políticas de Incentivos de Autogas. Auto-gas.net, <http://auto-gas.net/government-policies/autogas-incentive-policies/mexico/>

Cohon, J. et al (2017) COSTO, EFICACIA Y DESPLIEGUE DE LAS TECNOLOGÍAS DE ECONOMÍA DE COMBUSTIBLE PARA VEHÍCULOS LIGEROS. Comité de Evaluación de Tecnologías para Mejorar la Economía de Combustible de Vehículos Ligeros, Fase 2 Consejo de Sistemas Energéticos y Ambientales, División de Ingeniería y Ciencias Físicas de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015_bur_mexico_low_resolution.pdf

DTL (2015). Grøn Beregner – oportunidades tecnológicas. (*Calculadora verde – Posibilidades tecnológicas*) <http://gronberegner.teknologisk.dk/Katalog.pdf>

EGFTF (2015). *Combustibles de transporte alternativos de vanguardia. Comisión Europea, 2015 – Grupo de Expertos en Combustibles Alternativos de Transporte.*

EPA (2015) *Índice de emisiones de gases de escape para vehículos de uso pesados MOVES2014.*

EPA, (2012). Desarrollo de MOVES-México Etapa I: Ciudad Juárez, Chihuahua y Cuantificación de Incertidumbres. <https://www3.epa.gov/ttn/chief/conference/ei20/poster/yang.pdf>

EPA, (2014). *MOVES 2014a, Guía del usuario.* <https://www.epa.gov/moves/moves2014a-latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves>

Forbes, J. (2017). Ventas de autos Squeak Out Otro Récord en 2016 <https://www.forbes.com/sites/laurengensler/2017/01/04/us-auto-sales-2016/#367bcfc07bb2>

Pila de combustible hoy (2013) Vehículos eléctricos de celda de combustible: el camino por delante. http://www.fuelcelltoday.com/media/1711108/fuel_cell_electric_vehicles_-_the_road_ahead_v3.pdf

Harald Unger, Christian Schwarz, Jürgen Schneider, Karl-Friedrich Koch (2008) El Valvetronic - Experiencia de Siete Años de Producción Masiva y Discusión de Perspectivas Futuras. *MTZ en todo el mundo*, 69 (7), pp 30-37 https://www.nap.edu/read/21744/chapter/32.xhtml#chapter02_table_2.7

ICCT (2015) Estándares globales de vehículos de pasajeros. <http://www.theicct.org/info-tools/global-passenger-vehicle-standards>

INECC (2016). *Estudios de cadenas de valor de tecnologías climáticas seleccionadas para apoyar la toma de decisiones en materia de mitigación en el sector autotransporte y contribuir al fortalecimiento de la innovación y desarrollo de tecnologías.*

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/199174/Cadenas_de_Valor_Transporte1.pdf

INECC, (2015) Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco. http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2015_bur_mexico_low_resolution.pdf

INEGI, (2016)

Agencia Internacional de la Energía - Combustibles Avanzados de Motor (2016) *COMVEC: Alternativas de Combustible y Tecnología para Vehículos Comerciales.* <http://www.iea-amf.org/app/webroot/files/file/Annex%20Reports/Key%20Messages%20Annex%2049.pdf>

Agencia Internacional de Energía (2011). *Hoja de ruta de los biocombustibles para el transporte.* <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-biofuels-for-transport.html>

Agencia Internacional de Energía (2017) *Perspectiva de la tecnología energética 2017.* <http://www.iea.org/etp2017/summary/>

SENER (2016) *Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2016-2030,*