



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

INTRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO HÍBRIDO—
ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE MÉXICO COMO
UNA MEDIDA PARA DISMINUIR EL CONSUMO
DE ENERGÍA Y LA EMISIÓN DE
CONTAMINANTES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO—ELECTRÓNICO

PRESENTA

HUGO ENRIQUE GUTIÉRREZ CAMBRÓN

ASESORES

ING. FRANCISCO JAVIER GARCÍA OSORIO
DR. JUAN LUIS FRANCOIS LACOUTURE



MÉXICO, D.F.

2005



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

A Dios por darme vida para realizar este sueño.

A mis padres y hermanos quienes me apoyaron y brindaron su amor incondicional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por conferirme una educación universitaria y permitirme ser uno de sus hijos.

A la Facultad de Ingeniería, por la formación profesional que me instituyó y los valores como ingeniero que me inculcó.

A mis profesores por transmitirme sus conocimientos.

Al ingeniero Francisco Javier García Osorio, por su valiosa ayuda en la elaboración de este trabajo y su amistad.

Al doctor Juan Luis Francois Lacouture, por su apoyo y sus consejos en la realización del presente trabajo.

A la familia García Jiménez por su apoyo incondicional

A mis amigos, por estar conmigo y brindarme su apoyo en todo momento.

A mis compañeros de la Facultad de Ingeniería.

Dedicatorias:

A mi abuela, la señora Hortensia Jiménez Meneses† quien me apoyo cuando más lo necesitaba, te recordare por siempre.

A mi madre, la señora Marisela Cambrón Jiménez pues siempre me apoyo y creyó en mi, gracias por todo.

A mi gran amigo Juan Antonio Márquez Sánchez, por su valiosa amistad y su apoyo incondicional.

A las señoritas, Adriana Juárez Toris, Isabel Colorado y Yerlín Heredia por estar conmigo en el momento más difícil de mi vida y por su sincera amistad.

Índice.

Introducción	i
Lista de Tablas	iv
Lista de Gráficas y Figuras	v
Glosario	vii

Capítulo 1. Marco Socioeconómico de la Tecnología Híbrida.

	Página
1.1. Aspectos Históricos	1
• Combustibles Fósiles	1
• Combustibles Alternos	3
1.1.1. Antecedentes Históricos de los Vehículos Híbrido—Eléctricos	5
1.1.2. Situación actual	7
1.1.3. Vehículos de contaminación cero	8
1.2. Aspectos Energéticos	8
1.2.1. Conservación de los recursos energéticos	9
1.2.2. Eficiencia energética	10
1.2.3. Balance de energía	10
1.3. Aspectos Económicos	15
1.4. Aspectos Ambientales	15
1.4.1. Contaminación	15
1.4.1.a. Contaminación atmosférica	16
1.4.1.b. Disminución de la contaminación atmosférica	19
1.4.1.c. Contaminación acústica	20
1.4.2. Programas implementados en la Ciudad de México	21
1.4.2.a. “Hoy No Circula”	21
1.4.2.b. PROAIRE	25

Capítulo 2. Tecnología del Vehículo Híbrido—Eléctrico: Descripción y Aplicación.

	Página
2.1. Introducción a la Tecnología y su Definición	28
2.1.1. Tipo de Configuraciones	28
2.1.2. Configuración en serie	28
2.1.3. Configuración en paralelo	30
2.1.4. Componentes de los vehículos híbridos	31
2.1.5. Vehículo Híbrido—Eléctrico ultraligero	33
2.1.6. Sistema híbrido del tipo turbina—eléctrico	34
2.2. Ingeniería Térmica del Vehículo Híbrido—Eléctrico	35
2.2.1. Combustibles fósiles	35
2.2.1.1. Petróleo y sus derivados	35
2.2.1.2. Gas Natural y L.P.	36
2.2.1.3. Combustibles alternativos	37
2.2.1.3.a. Combustibles sintéticos	37
2.2.1.3.b. Biocombustibles	38
2.2.1.3.c. Hidrógeno	39
2.2.2. Motor de combustión interna	40
2.2.2.1. Motor Atkinson	41
2.3. Sistemas de Control	42
2.3.1. Estrategias de control del vehículo	43
2.3.1.1. Modelo paralelo con asistencia eléctrica	43
2.3.1.2. Modelo paralelo con asistencia térmica	43
2.3.1.3. Modelo termostático en serie	44
2.3.1.4. Modelo serie de carga a nivel	44
2.3.2. Sistema de control del vehículo	44
2.3.3. Control electrónico de la energía	45
2.3.4. Controlador de manejo	45
2.3.5. Sistema de control de velocidad	46
2.4. Eléctrica	46

2.4.1. Motor eléctrico	47
2.4.1.1. Motor de corriente directa	47
2.4.1.2. Motor de corriente alterna	49
2.4.1.2.a. Motores síncronos	49
2.4.1.2.b. Motores de inducción	50
2.4.2. Dispositivos de Almacenamiento de Energía Eléctrica	51
2.4.2.1. Baterías	51
2.4.2.2. Baterías de níquel—hidruro	52
2.4.2.3. Ultracondensadores	55
2.4.2.4. Celdas de combustible	55
2.4.2.5. Volantes de inercia	57
2.4.3. Generador	58
2.4.3.1. Dinamo	58
2.4.3.2. Alternador	59
2.4.4. Sistema de frenado regenerativo eléctrico	60
2.5. Electrónica	61
2.5.1. Electrónica de Potencia	61
2.5.2. Estructura básica de los sistemas electrónicos de potencia	62
2.5.3. Circuitos electrónicos para el control de motores y la conversión de energía	63
2.5.3.1. Reguladores de corriente alterna	63
2.5.3.2. Inversores	64
2.5.3.3. Troceadores o choppers	65

Capítulo 3. Experiencias en el Desarrollo de la Tecnología Vehicular Híbrida.

	Página
3.1. Experiencias Internacionales	67
3.1.1. Vehículos Híbrido—Eléctricos experimentales	67
3.1.2. Vehículos Híbrido—Eléctricos prototipo	70
3.1.3. Vehículos Híbrido—Eléctricos comerciales	73
3.1.3.1. Ford Escape Hybrid	73

3.1.3.2. Toyota Prius	75
3.1.3.3. Segunda generación (Toyota Prius)	75
3.1.3.4. Honda Insight	78
3.1.3.5. Nissan Tino	79
3.1.3.6. Chrysler Citadel	81
3.1.3.7. Renault Next	82

Capítulo 4. Experiencias en México sobre el Uso del Vehículo Híbrido—Eléctrico

	Página
4.1. Políticas Gubernamentales Relacionadas a los Vehículos Alternos	84
4.1.1. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, CONAE	84
4.1.2. Secretaría de Energía, SENER	86
4.1.3. Instituto Nacional de Ecología, INE	87
4.2. Seminario Internacional Vehículos Híbrido—Eléctricos y No Convencionales	89
4.3. Seminario Internacional de Celdas de Combustible para el Transporte	90
4.4. Toyota Prius: Pruebas en México	91
4.5. Análisis de los Recorridos Realizados en México	92

Capítulo 5. Perspectivas del Vehículo Híbrido—Eléctrico

	Página
5.1. Costos y Beneficios de la Compra del Vehículo Híbrido—Eléctrico	101
5.2. Incentivos, Conclusiones y Metas a Nivel Internacional	102
5.3. Vehículo Híbrido—Eléctrico vs los Vehículos Convencionales	104
5.4. Inconvenientes de los Vehículos Híbrido—Eléctricos	106

	Página
Conclusiones	107
Bibliografía	111
Anexo 1. Seminario Internacional Vehículos Híbrido—Eléctricos y No Convencionales	114

Anexo 2. Seminario Internacional de Celdas de Combustible
para el Transporte

119

Introducción.

En la ciudad de México circulan diariamente más de 3 millones de automóviles y se realiza un consumo de aproximadamente 20 millones diarios de litros de combustibles. Esto trae consigo un elevado índice de contaminación ambiental, que resulta de difícil solución para las autoridades encargadas de disminuir las emisiones contaminantes de los vehículos automotores.

La producción y consumo de energía tienen una repercusión directa en el Medio Ambiente. El hombre se ve afectado por la grave contaminación ambiental. Los recursos energéticos se agotan además de crearnos dependencias, por lo que es necesario fomentar el uso de otro tipo de tecnología a fin de disminuir el consumo de energéticos derivados del petróleo.

Por otro lado existe un desconocimiento importante sobre el uso de tecnologías eléctrico—térmicas con el fin de ser aplicado de manera significativa en nuestra ciudad.

Las tecnologías alternas nos pueden brindar entre otros beneficios: a) el ahorro energético; b) la disminución de la contaminación ambiental; c) la reducción de los niveles de ruido; d) menor estrés y una conducción más segura.

En el transporte la combinación del motor eléctrico y de combustión interna permitiría reducir drásticamente el índice de consumo energético de cada automóvil, en virtud de que los vehículos híbridos arrojan eficiencias hasta del 75% comparada con los convencionales de 35%.

Esto aunado a que un Vehículo Híbrido—Eléctrico es 80% menos contaminante que los autos convencionales, lo que por consiguiente con este tipo de vehículo se lograría una disminución importante del consumo de energía y una reducción en la emisión de gases contaminantes.

De acuerdo al Inventario de Emisiones a la Atmósfera para la Zona Metropolitana del Valle de México 2000, las fuentes móviles generan más del 80 por ciento de las emisiones contaminantes a la atmósfera, por esto es indispensable tomar medidas necesarias para reducir tales emisiones, a fin de evitar mayores concentraciones de contaminantes que pongan en riesgo la salud de la población.

Existen en otros países resultados muy positivos en la adopción de los vehículos híbridos.

El objetivo de esta tesis es describir y analizar la tecnología del automóvil híbrido-eléctrico para ser aplicada en la Ciudad de México, con el objeto de disminuir el consumo de energía y la emisión de contaminantes. Analizar las experiencias internacionales y del propio país, en particular el programa piloto de Toyota con el Gobierno Federal.

Se espera que las autoridades así como la sociedad, asuman con corresponsabilidad la protección del ambiente, así como la conservación y el mejoramiento de la calidad del aire en el Distrito Federal, con el fin de proteger la salud humana y elevar el nivel de vida de su población.

En el trabajo se desarrollan los temas que a continuación se describen:

En el Capítulo 1, se delimita y señala la importancia que tiene la problemática que se pretende solucionar en el presente estudio, en cuestiones ambientales, económicos y energéticos. En él, se plantean: los combustibles y su relación con la actividad humana, los principales gases contaminantes, una breve reseña histórica de los vehículos alternos, el consumo de energía en nuestro país y su contribución en el presupuesto nacional de ingresos por concepto de impuesto especial.

En el capítulo 2, se analizan las características y componentes de la tecnología híbrida; como son: su definición, las configuraciones típicas dependientes de la distribución de los motores, sistemas de control del vehículo, componentes mecánicos (el motor de combustión interna), componentes eléctricos (el motor, sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, electrónica de potencia y frenos regenerativos).

El capítulo 3 muestra las experiencias a nivel internacional de los Vehículos Híbrido—Eléctricos experimentales, prototipo y comerciales, así como las características principales de cada uno de ellos.

Los esfuerzos realizados por parte del Gobierno Federal (Secretaría de Energía, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, Instituto Nacional de Ecología) son analizados en el capítulo 4, junto con las pruebas realizadas al Prius de Toyota y una breve descripción de los seminarios realizados sobre celdas de combustible aplicadas al transporte y vehículos no convencionales.

Las ventajas y desventajas de este sistema de transporte están contenidos en el capítulo 5, conjuntamente con las ventajas de la tecnología híbrida con respecto a los sistemas convencionales.

Lista de Tablas

	Página
Tabla 1.1. Emisiones de contaminantes más comunes	17
Tabla 4.1. Límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para vehículos 1994 y posteriores	94
Tabla 4.2. Límites permisibles para la obtención del holograma “0”	94
Tabla 4.3. Promedios de los recorridos realizados	101
Tabla 5.1. Precios de algunos vehículos híbridos	102

Lista de Gráficas y Figuras

	Página
Gráfica 1.1. Consumo final de energía por sectores (total de petrolíferos)	11
Gráfica 1.2. Consumo final de energía por sectores (total de gas natural)	12
Gráfica 1.3. Consumo final de energía en el sector transporte (total de petrolíferos)	13
Gráfica 1.4. Consumo final de energía en el Sub-sector autotransporte (por tipos de combustible)	14
Gráfica 4.1. Lecturas del óxido nítrico (recorrido 1)	95
Gráfica 4.2. Lecturas de monóxido de carbono (recorrido 1)	96
Gráfica 4.3. Lecturas de Hidrocarburos (recorrido 1)	96
Gráfica 4.4. Análisis de CO ₂ y O ₂ (recorrido 1)	97
Gráfica 4.5. Lecturas del óxido nítrico (recorrido 2)	98
Gráfica 4.6. Lecturas de CO (recorrido 2)	99
Gráfica 4.7. Lecturas de HC (recorrido 2)	99
Gráfica 4.8. Análisis de CO ₂ y O ₂ (recorrido 2)	100

	Página
Figura 1.1. Inversión Térmica	22
Figura 2.1. Configuración en Serie	29
Figura 2.1. Configuración en Serie	30
Figura 2.3. Configuración de un automóvil híbrido ultraligero	33
Figura 2.4. Funcionamiento de una celda de combustible	56
Figura 2.5. Estructura básica de un sistema electrónico de potencia	62
Figura 2.6. Inversor conectado a un motor de corriente alterna	64
Figura 3.1. Lexus RX400h	70
Figura 3.1. Lexus RX400h	71
Figura 3.1. Lexus RX400h	72
Figura 3.4. Grand Sports Tourer	72

Figura 3.5. Renault Espace Vert	73
Figura 3.6. Ford Escape Hybrid	74
Figura 3.7. Toyota Prius	76
Figura 3.8. Honda Insight	79
Figura 3.9. Nissan Tino	80
Figura 3.10. Chrysler Citadle	81
Figura 3.11. Renault Next	82

Glosario

Adsorción: En la física se le conoce como adsorción a la acción y efecto de adsorber, es decir, atraer y retener en la superficie de un cuerpo moléculas o iones de otro cuerpo.

Amianto: Mineral que se presenta en fibras blancas y flexibles, de aspecto sedoso. Es un silicato de cal, alúmina y hierro, y por sus condiciones tiene aplicación para hacer con él tejidos incombustibles.

Área Metropolitana: Conformada por las 16 demarcaciones políticas del Distrito Federal y 18 Municipios del Estado de México (Atizapán de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán, Chalco, Chicoloapan, Chimalhuacán, Ecatepec, Huixquilucan, Ixtapaluca, La Paz, Naucalpan de Juárez, Nezahualcoyotl, Nicolás Romero, Tecámac, Tlalnepantla, Tultitlán y Valle de Chalco Solidaridad)

Benceno: Hidrocarburo cíclico, aromático, de seis átomos de carbono. Es un líquido incoloro e inflamable, de amplia utilización como disolvente y como reactivo en operaciones de laboratorio y usos industriales.

Carburador: Pieza de los automóviles, donde se efectúa la carburación.

Cárter: En los automóviles y otras máquinas, pieza o conjunto de piezas que protege determinados órganos y a veces sirve como depósito de lubricante.

Ciclones: Aparato estático, que mediante la fuerza centrífuga originada por un fluido en movimiento turbulento, separa las partículas sólidas que este lleva en suspensión.

Conmutador: El conmutador es un anillo de metal partido montado sobre el eje de la armadura

Coque: Combustible sólido, ligero y poroso que resulta de calcinar ciertas clases de carbón mineral.

Destilación fraccionada: Este proceso se basa en el hecho de que las volatilidades (y por lo tanto las presiones de vapor) de los diferentes hidrocarburos varían inversamente con sus masas moleculares. Los compuestos que poseen menor masa molecular tienen mayor volatilidad y hierven a menor temperatura.

Electrólisis del agua: Proceso de descomposición del agua en sus dos componentes básicos, el oxígeno y el hidrógeno, producido mediante la electricidad.

HNC: "Hoy No Circula"

Inversión térmica: En una inversión térmica una capa de aire cálido se sitúa sobre el aire superficial más frío e impide la ascensión de este último, por lo que la contaminación queda encerrada y va aumentando.

Partículas por millón: El nivel del grado de contaminantes contenidos en el aire suele expresarse en términos de concentración atmosférica (microgramos de contaminantes por metro cúbico de aire) o, en el caso de los gases, en partes por millón, es decir, el número de moléculas de contaminantes por millón de moléculas de aire.

Pirólisis: La pirólisis se define como la degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo.

Polución ambiental: Contaminación intensa y dañina del agua o del aire, producida por los residuos de procesos industriales o biológicos.

Precipitador electrostáticos: Aparato eléctrico desarrollado hacia 1906 para eliminar impurezas como el polvo, el humo o el vapor que se encuentran

suspendidas en el aire o en otros gases, por medio de la ionización de las impurezas y campos electrostáticos.

PROAIRE. Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002—2010

PWM: Pulse Width Multiple.

Sha: Rey de Persia o del Irán

Sinergia: Acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales.

Sistema híbrido: Dícese de la combinación dos tecnologías totalmente distintas en un sólo sistema.

Smog: La palabra inglesa *smog* (de *smoke*: humo y *fog*: niebla) se usa para designar la contaminación atmosférica que se produce en algunas ciudades como resultado de la combinación de unas determinadas circunstancias climatológicas y unos contaminantes concretos.

Sonómetro: Instrumento destinado a medir y comparar los sonidos e intervalos musicales.

Subvenciones: Venir en auxilio de alguno o acudir a las necesidades de alguna cosa.

Turba: Combustible fósil formado de residuos vegetales acumulados en sitios pantanosos, de color pardo oscuro, aspecto terroso y poco peso, y que al arder produce humo denso.

Capítulo 1. Marco Socioeconómico de la Tecnología Híbrida.

1.1. Aspectos Históricos

A continuación se describen aspectos históricos relacionados con la tecnología de los Vehículos Híbrido—Eléctricos.

- Combustibles Fósiles

La leña fue la primera fuente de energía que el ser humano utilizó y la de mayor importancia durante gran parte de su historia. Antiguamente también se utilizaban otras fuentes de energía que sólo se encontraban en zonas específicas: asfalto, carbón y turba¹ de depósitos superficiales, así como el petróleo procedente de filtraciones de yacimientos subterráneos.

La situación cambió en la edad media cuando la leña empezó a utilizarse para fabricar carbón vegetal, que se empleaba para obtener metales. A medida que se talaban los bosques y disminuía la cantidad de leña disponible, en los comienzos de la Revolución Industrial, el carbón vegetal fue sustituido en la obtención de metales por el coque² procedente del carbón. Éste, además empezó a usarse para propulsar las máquinas de vapor, con lo que se fue convirtiendo en la fuente de energía dominante a medida que avanzaba la Revolución Industrial.

Aunque hacía siglos que el petróleo se empleaba en campos tan diferentes como la medicina o la construcción, la era moderna del llamado “oro negro” inició con la perforación de un pozo comercial en Pensilvania (Estados Unidos), en 1959. La

¹ Combustible fósil formado de residuos vegetales acumulados en sitios pantanosos, de color pardo oscuro, aspecto terroso y poco peso, y que al arder produce humo denso. Fuente: Diccionario de la Real Academia Española, 1992.

² Combustible sólido, ligero y poroso que resulta de calcinar ciertas clases de carbón mineral. Fuente: Diccionario de la Real Academia Española, 1992.

industria petrolera estadounidense creció rápidamente, y surgieron numerosas refinerías para fabricar productos derivados del crudo. Estas compañías comenzaron a exportar su principal producto, el queroseno —empleado para iluminación—, a todas las zonas del mundo. El desarrollo del motor de combustión interna y del automóvil creó un enorme mercado nuevo para otro derivado importante, la gasolina. Un tercer producto, el gasóleo para calefacción, empezó a sustituir al carbón en muchos mercados energéticos.

En 1960, indignados por los recortes de precios unilaterales llevados a cabo por las siete grandes compañías petroleras, los gobiernos de los principales países exportadores—Venezuela y cuatro países del Golfo Pérsico— formaron la Organización de los Países Exportadores de Petróleo (OPEP) para intentar evitar recortes. El aumento del consumo de petróleo, sobre todo en Europa y Japón, provocó una enorme expansión de la demanda de productos derivados.

Dos grupos de acontecimientos simultáneos transformaron el suministro seguro de petróleo barato en un abastecimiento caro e inseguro.

En octubre de 1973, como resultado de la guerra entre árabes e israelíes, los países árabes productores de petróleo recortaron su producción. Aunque el recorte árabe representaba una pérdida de menos del 7% del suministro mundial, provocó el pánico de las compañías petroleras, los consumidores, los operadores del petróleo y algunos gobiernos. El panorama petrolero mundial se calmó gradualmente, ya que la recesión económica mundial provocada por el aumento de los precios del petróleo recortó la demanda de crudo. Entretanto, la mayoría de los gobiernos de la OPEP se hicieron con la propiedad de los campos petrolíferos situados en sus países.

En 1978 comenzó una segunda crisis cuando, como resultado de la revolución que acabó destronando al Sha³ de Irán, la producción y exportación iraní de

³ Rey de Persia o del Irán

petróleo cayeron hasta niveles casi nulos. Como Irán había sido un gran exportador, el pánico volvió a cundir entre los consumidores. Una repetición de los acontecimientos de 1973, incluidas las pujas desorbitadas, volvió a provocar la subida de los precios de crudo durante 1979. El estallido de la guerra entre Irán e Irak en 1980 dio un nuevo impulso a los precios del petróleo.

Los elevados precios del petróleo volvieron a provocar una recesión económica mundial y dieron un fuerte impulso a la conservación de energía; a medida que se reducía la demanda y aumentaba la oferta, el mercado se fue debilitando. El crecimiento significativo en la oferta de petróleo procedente de países ajenos a la OPEP, como México, Brasil, Egipto, China, la India o los países del mar del Norte, hizo que los precios del crudo cayeran aún más.

Las naciones industrializadas son las que utilizan la mayor parte de la energía mundial. El carbón también fue una fuente importante, mientras que la energía nuclear, la energía solar y otras energías alternativas tuvieron menor peso.

- Combustibles Alternos

Debido a los altos costos que han alcanzado los combustibles fósiles, la dificultad de obtener carburantes a precios bajos y una concientización del impacto ambiental que estos provocan, la búsqueda de energías alternativas goza de grandes perspectivas, se han emprendido iniciativas orientadas a buscar posibles combustibles sintéticos de bajo costo o abordar soluciones imaginativas con el objetivo de un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, mejorar los sistemas que actualmente utilizamos o introducir otras tecnologías tendientes a disminuir el consumo de energéticos.

La celda de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica utiliza el mismo principio que una batería química, combina hidrógeno (que se obtiene de forma

pura o a partir del gas natural, alcoholes, etc.) con el oxígeno presente en el aire para generar energía eléctrica, obteniendo agua como residuo. Aunque el hidrógeno es un combustible usado en el campo aeroespacial para motores—cohete, adaptarlo para su uso en vehículos de superficie es un enorme reto que sin duda seguirá ocupando décadas de investigación y desarrollo; en la actualidad existen prototipos aplicados al transporte muy esperanzadores y con el interés por parte de las grandes empresas automotrices muy pronto saldrán a la venta automóviles de línea con tecnología de celda de combustible.

La energía solar podría ocupar un puesto de primera magnitud en el mercado de las energías alternativas en un corto plazo. Su carácter de fuente inagotable y el progreso tecnológico que registra año tras año, la sitúan en el inicio de una espectacular expansión. Por un lado, el costo de los paneles solares y sus accesorios disminuye cada vez más, haciendo viable para particulares disponer de una instalación casera privada. Por otro, la eficiencia de los paneles está experimentando importantes avances tecnológicos. La energía solar ha demostrado su capaz de proporcionar electricidad a gran escala, con lo cual los paneles fotoeléctricos no son sólo capaces de abastecer de energía una vivienda sino que además ya existen centrales eléctricas solares que funcionan en el mundo demostrando su viabilidad, de manera que esta energía se produce en grandes proporciones.

La investigación avanzada está proporcionando resultados alentadores, no sólo optimizando el poder de conversión fotoeléctrico de las nuevas generaciones de paneles, sino también abriendo novedosas posibilidades de aprovechamiento. Un ejemplo de esto último lo constituyen los sistemas revolucionarios que además de usar la luz solar hacen lo propio con el calor.

Además existen los biocombustibles, que aunque son conocidos desde hace tiempo, su utilización en sistemas de transporte y generación de energía eléctrica es muy reciente.

También existen técnicas como la cogeneración y tecnologías como la de los vehículos eléctricos e Híbrido–Eléctrico, que si bien, no son combustibles, representan una alternativa viable para disminuir el consumo de energéticos. De estos últimos se hablará a continuación.

1.1.1. Antecedentes Históricos de los Vehículos Híbrido—Eléctricos

En 1839 se construyó en Escocia el primer Vehículo Eléctrico, aunque resultó ser muy poco competitivo con los vehículos de vapor que se fabricaban en Inglaterra.

Para 1870 se desarrolló un auto eléctrico también en el Reino Unido, un poco más evolucionado, y con una velocidad máxima de 13 km/h. Y así continuamente a lo largo de la historia de la automoción se fueron creando diferentes modelos de prototipos de automóviles eléctricos.

Hacia 1920 los beneficios del vehículo de combustión interna, superan notablemente las ventajas del vehículo eléctrico con lo que a partir de este año y hasta mediados de los sesenta los vehículos eléctricos carecen de un desarrollo e investigación.

Ya en 1970 tras la crisis del petróleo de esta época se incrementa el interés por las energías renovables y mediante la financiación por parte de los gobiernos se promueve la investigación y el desarrollo de nuevas alternativas energéticas, por lo que aparecen nuevos prototipos de vehículos eléctricos más avanzados.

A pesar de todos los avances tecnológicos el principal problema de estos automóviles era la autonomía, demandaban una gran cantidad de energía para su funcionamiento, requiriendo un enorme conjunto de baterías, lo que encarecía su producción además de la dificultad que presentaban las baterías para su recarga.

En 1976 se presenta en Estados Unidos la primera ley pública para la investigación, desarrollo y demostración del vehículo eléctrico e híbrido. Desde este año y hasta la actualidad, son numerosas las iniciativas tanto de organismos oficiales como del sector privado para hacer que este tipo de vehículos sea una realidad.

La evolución tecnológica de los componentes eléctricos y electrónicos ha sido espectacular en los últimos años. El avance en la tecnología de semiconductores ha permitido su aplicación al control de los motores de inducción, con lo que se elimina el problema de desgaste de los colectores y escobillas de los motores de corriente continua. Un aspecto importante en la evolución de los vehículos híbridos es el control de velocidad, donde el sistema que variaba la corriente por conexión y desconexión de resistencias en serie, fue sustituido por rectificadores de silicio y los transistores que permiten un ajuste fijo de la velocidad y de una forma más eficaz y sencilla, disminuyendo las pérdidas eléctricas notablemente. El control de los motores eléctricos ha mejorado sustancialmente gracias a los microprocesadores.

Sin embargo las baterías presentan un notablemente atraso en su evolución, desarrollo y abaratamiento, hoy en día es el componente que más investigación necesita para mejorar los beneficios y costos de este tipo de vehículos.

La tecnología híbrida fue diseñada para operar en zonas urbanas, donde existen problemas de contaminación⁴ ambiental, con lo que el sistema híbrido es el más adecuado en este momento para cumplir con el objetivo de la reducción de emisiones contaminantes atmosféricas, especialmente en vehículos de transporte público. Con la llegada del siglo XXI las empresas automotrices están realizando multimillonarias inversiones con el fin de que sus vehículos dejen la alimentación a

⁴ Contaminación intensa y dañina del agua o del aire, producida por los residuos de procesos industriales o biológicos. Fuente: Diccionario de la Real Academia de la Lengua, 1992.

gasolina o diesel, y se encaminen, decididamente, hacia la motorización semi-eléctrica.

Se estima que cada una de las cinco marcas que dominan el mercado mundial (General Motors, Ford, Toyota, Daimler Chrysler y Volkswagen) invierten unos 5.000 millones de dólares al año en este tipo de desarrollos.⁵

1.1.2. Situación actual

En la actualidad hay una gran preocupación por el medio ambiente y por la disminución del impacto medioambiental. Esta preocupación se extiende al campo de la automoción justificadamente. La investigación sobre nuevas fuentes de energía no está igualmente avanzada en todas las compañías. Las marcas japonesas y europeas se centran en una mejor combustión y eficiencia en los motores actuales. En cambio, las grandes marcas americanas, empujadas por la estricta legislación sobre emisiones de California, se ven obligadas a investigar en este sentido.

De esta manera, está aumentando la competitividad entre los fabricantes para desarrollar la tecnología más respetuosa con el medio ambiente, a la vez que se deben satisfacer las necesidades de los clientes. Esta competitividad es la manera más rápida de conseguir mejoras ambientales, lo que no evita que se deban redactar normas que los fabricantes deban cumplir. Los fabricantes deben entender la protección ambiental como una parte de la estrategia de la empresa dirigida a aumentar el valor a largo plazo.

La industria de la automoción se está dedicando a investigar nuevos combustibles y fuentes de energía que resulten viables, fáciles de implantar y sean menos contaminantes. El objetivo es fabricar vehículos que contaminen menos, que sean

⁵Ver referencia: García Rodríguez, Rafael. Motores Híbridos.

más rápidos y más eficientes, todo ello a un razonable costo para los consumidores.

Los tipos de motores que son adecuados para utilizar en los automóviles son los motores de combustión interna y los motores eléctricos. Otros, como las turbinas, que se utilizan en otros medios de transporte, no permiten las prestaciones de aceleración a las que estamos acostumbrados si no es con un tamaño excesivamente grande, sin embargo, los avances obtenidos en las microturbinas hacen posible pensar en una pronta implementación de estos sistemas en la automoción.

1.1.3. Vehículos de contaminación cero

Existen motores de contaminación cero que se conocen desde el siglo pasado, los motores eléctricos. La mayor limitación del motor eléctrico está en su autonomía debido a que hasta tiempos muy recientes sólo se disponía de un medio para alimentarlos: las baterías eléctricas. Sin embargo, con el desarrollo de las celdas de combustible durante los años noventa se dispone hoy de un medio práctico para crear vehículos de contaminación cero.

Esto aunado a la utilización de combustibles alternos, se está logrando una reducción en el empleo de los derivados del petróleo. Con estos carburantes se consiguen una menor emisión de dióxido de carbono, sulfuros y óxidos de nitrógeno.

1.2. Aspectos Energéticos

Un aspecto importante para el entendimiento que tiene el ahorro de energía es tener en cuenta el valor que tiene ésta en la vida cotidiana.

1.2.1. Conservación de los recursos energéticos

Los recursos energéticos son el conjunto de medios con los que se intenta cubrir las necesidades de energía. La energía es la base de la civilización industrial. En la década de los 70's, en el mundo se comenzó a considerar la vulnerabilidad de los recursos energéticos, por lo cual se implementaron estrategias y se desarrollaron tecnologías para su conservación.

Pueden describirse tres tipos de medidas de conservación de energía. El primer tipo es el recorte, es decir, prescindir del uso de energía. El segundo es la reforma, que consiste en cambiar los hábitos de vida y la forma de producción de bienes y servicios. El tercer tipo de medidas implica un uso más eficiente de la energía. Esta última alternativa es más fácil de aceptar para los gobiernos y la sociedad en general.

Sin embargo existen numerosos obstáculos. Un importante freno para la conservación productiva de la energía es su carácter altamente fragmentado y poco práctico, ya que exige que cientos de millones de personas tomen medidas para el ahorro de la energía. Otra barrera ha sido la económica. Los precios excesivamente bajos de la energía hacen que sea difícil de convencer a la población para invertir en eficiencia energética. Un tercer obstáculo es la falta de información y subvenciones⁶ para que los consumidores realicen inversiones en conservación energética. Con el tiempo, las mejoras en la eficiencia se amortizan con creces, pero a corto plazo exigen inversiones que resultan más difíciles en algunos sectores de la economía que en otros.

⁶ Venir en auxilio de alguno o acudir a las necesidades de alguna cosa. Fuente: Diccionario de la Real Academia Española, 1992.

1.2.2. Eficiencia energética

La eficiencia energética consiste en obtener más y mejores productos con un menor uso de la energía, lo cual se traduce en disminución en los costos de producción. El uso eficiente de la energía permite reducir su consumo, disponer de potencial de utilización, escasos desperdicios y tener menores niveles de contaminación.

Hacia 1980 se había concientizado a la gente de que el aumento de la eficiencia energética podía contribuir positivamente al balance mundial de energía a corto y medio plazo, y de que la llamada conservación productiva debería considerarse como una solución adicional tan importante como las fuentes de energía. En la década de los 70's comenzaron a producirse ahorros sustanciales y parecía posible aumentarlos hasta 30% o 40% sin afectar de modo drástico la vida humana⁷.

1.2.3. Balance de energía

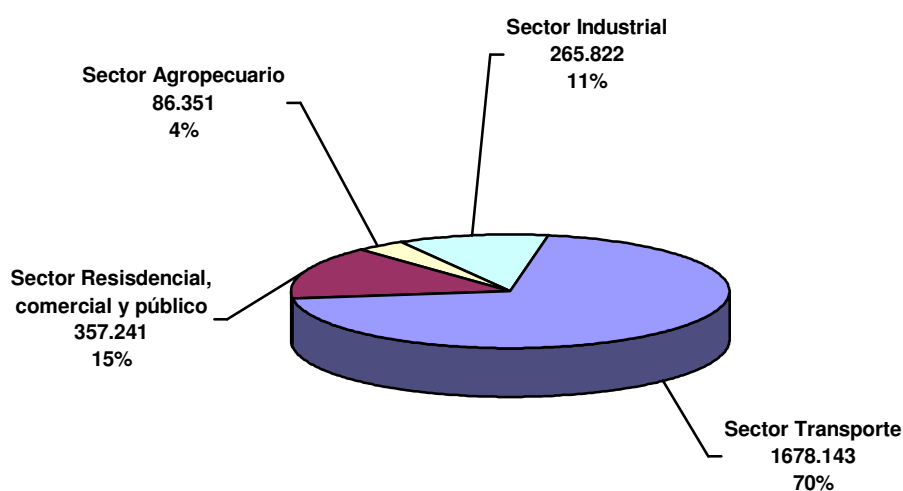
El balance de energía es un medio eficaz, tanto en el diagnóstico como en el diseño de estrategias de gestión de la calidad del aire, es el análisis del consumo de combustibles fósiles.

La actividad económica de una ciudad se expresa a través de su demanda de energía. De hecho, en diversos estudios se ha encontrado una correlación significativa entre el producto interno de una economía y la demanda de energía.

La forma en que esta demanda impacta la calidad del aire depende en buena medida del balance energético.

⁷ Ver referencia: Enciclopedia Electrónica Encarta 1999

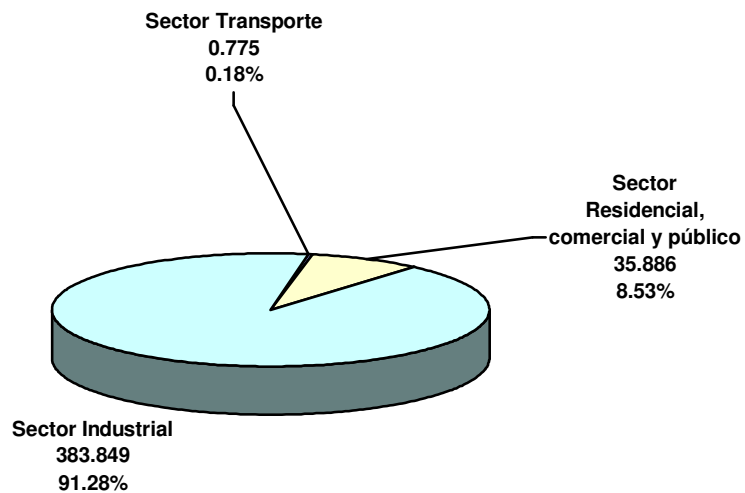
Dado que el consumo de gasolina en usos vehiculares constituye la mayor demanda energética y, por lo tanto, el porcentaje más significativo de emisiones, es importante prever las tendencias en la evolución del consumo de este combustible. Los factores que afectan el consumo son entre otros, la cantidad de kilómetros recorridos, la edad del vehículo, el tipo de motor, el congestionamiento vial, etc.



Gráfica 1.1. Consumo final de energía por sectores (total de petrolíferos)

Fuente: SENER, Balance Nacional de Energía, 2003, valores en Petajoules.

En la gráfica 1.1 se puede observar que el sector transporte en nuestro país es el de mayor consumo de combustibles petrolíferos, además de que su consumo es mayor al de los otros sectores juntos.

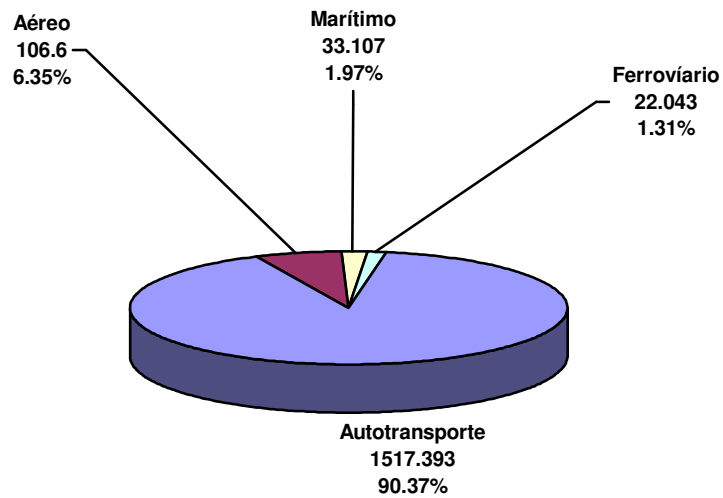


Gráfica 1.2. Consumo final de energía por sectores (total de gas natural)

Fuente: SENER, Balance Nacional de Energía, 2003, valores en Petajoules.

Por el contrario en la gráfica 1.2 se muestra que el transporte consume sólo el 0,18% del gas natural, por lo que se contempla en diversos programas la mayor utilización en el autotransporte.

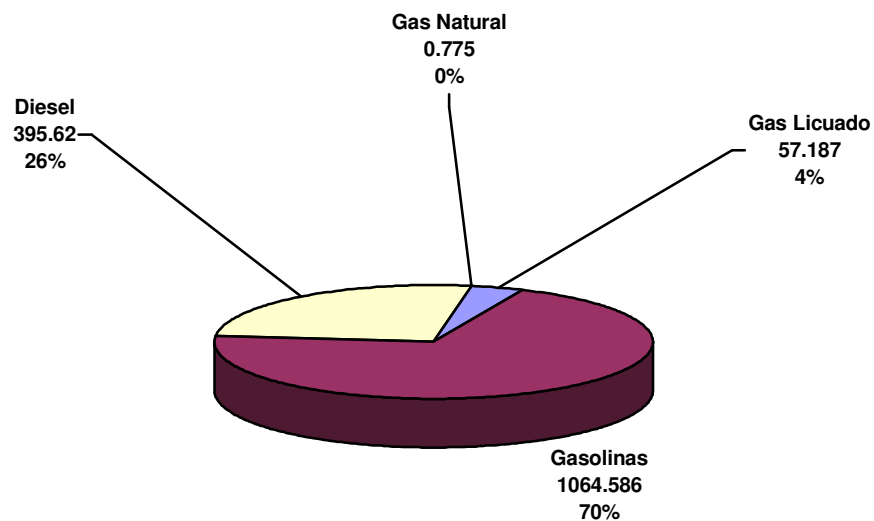
Cabe señalar que el gas natural utilizado para este sector es consumido por los vehículos automotores.



Gráfica 1.3. Consumo final de energía en el sector transporte (Total de petrolíferos)

Fuente: SENER, Balance Nacional de Energía, 2003, valores en Petajoules.

En la gráfica 1.3 podemos observar que el mayor consumidor de combustibles derivados del petróleo es el autotransporte, por esto, es imperativo el empleo de otros recursos y tecnologías para satisfacer y garantizar el funcionamiento de este servicio.



Gráfica 1.4. Consumo final de energía en el Sub-sector autotransporte (por tipos de combustibles)

Fuente: SENER, Balance Nacional de Energía, 2003, valores en Petajoules.

En la gráfica 1.4 muestra que el mayor consumo de combustibles dentro del sub-sector de autotransporte es la gasolina, este gasto representa 99,93% del total de energía utilizada por gasolinas, 44,57% del total de petrolíferos, 28% del total de consumo energético y 26,09% del consumo total final incluyendo aquellos que son de consumo no energético.

Lo anterior da una idea de la importancia que tiene el autotransporte en el desarrollo económico del país.

Finalmente según estimaciones de PEMEX, las reservas totales de hidrocarburos del país ascienden a 48 041 millones de barriles, por lo que se considera que se cuenta con petróleo crudo para unos 30 años.

1.3. Aspectos Económicos

El aspecto más importante por considerar en este subcapítulo es la forma en como impactaría la introducción de los vehículos híbridos en la economía del país.

Un objetivo secundario que queda fuera del contexto del presente trabajo es el ahorro en combustible que obtienen los usuarios de este tipo de tecnología, lo cual repercutiría en las finanzas de la recaudación de impuestos.

La recaudación por concepto del impuesto especial sobre producción y servicios, asciende a 110 805,9 millones de pesos en lo que se refiere al apartado de gasolinas y diesel, para combustión automotriz suma un total de 75 860 millones de pesos, lo que representa un 68,46% del impuesto mencionado y 4,17% del total del presupuesto de ingresos, según cifras obtenidas del Diario Oficial de la Federación del día 24 de noviembre de 2004.

Teniendo en cuenta que los vehículos híbridos presentan un ahorro de combustible, dicha recaudación se vería disminuida considerablemente si todo el parque vehicular actual fuera reemplazado por este tipo de automóviles.

1.4. Aspectos Ambientales

Uno de los aspectos fundamentales por considerar es el ambiental, ya que la preservación del ecosistema es un enfoque fundamental del presente trabajo.

1.4.1. Contaminación

La contaminación es la impregnación del aire, el agua o el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas.

1.4.1.a. Contaminación atmosférica

Se entiende por contaminación de la atmósfera a la expulsión de residuos o productos secundarios gaseosos, sólidos o líquidos en la atmósfera, que ponen en peligro la salud del hombre y la salud y bienestar del ecosistema, atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. Entre los contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes naturales, sólo el radón, un gas radiactivo, es considerado un riesgo importante para la salud. Subproducto de la desintegración radiactiva de minerales de uranio contenidos en ciertos tipos de roca, el radón se filtra en los sótanos de las casas construidas sobre ella, lo que representa un riesgo de cáncer pulmonar.

La alteración del ecosistema de la ciudad de México, por ejemplo, fue alarmante en la segunda mitad del siglo XX debido a políticas equivocadas en la organización y manejo económico del país. Esto repercutió en el crecimiento acelerado de la Zona Metropolitana debido a la centralización que se llevó a cabo dentro de la misma, atrayendo a grandes cantidades de personas desde otros lugares del Territorio Nacional con la idea de encontrar mejores condiciones de vida. La demanda de servicios se hizo cada vez mayor, generándose una serie de problemas propios de las grandes ciudades como es la contaminación atmosférica, cuya causa principal es el continuo desplazamiento de millones de automotores que circulan diariamente, ya sean de tipo privado o de transporte público. Sumado a esto, las emisiones propias producidas por las industrias y las de tipo natural que invariablemente impactan con mayor o menor grado a todos los seres vivos de la Cuenca.

Cada año, los países industriales generan miles de millones de toneladas de contaminantes. Las emisiones más frecuentes y más ampliamente dispersos son los que se muestran en la tabla 1.1:

Contaminante	Fuentes principales	Comentario
Monóxido de carbono (CO)	Gases de escape de vehículos de motor; algunos procesos industriales	Máximo permitido: 10 mg/m ³ (9 p.p.m. ⁸) en 8 hr; 40 mg/m ³ en 1 hr (35 p.p.m.)
Dióxido de azufre (SO ₂)	Instalaciones generadoras de calor y electricidad que utilizan petróleo o carbón con contenido sulfurado; plantas de ácido sulfúrico	Máximo permitido: 80 µg/m ³ (0,03 p.p.m.) en un año; 365 µg/m ³ en 24 hr (0,14 p.p.m.)
Partículas en suspensión	Gases de escape de vehículos de motor; procesos industriales; incineración de residuos; generación de calor y electricidad; reacción de gases contaminantes en la atmósfera	Máximo permitido: 75 µg/m ³ en un año; 260 µg/m ³ en 24 hr; compuesto de carbón, nitratos, sulfatos y numerosos metales, como el plomo, el cobre, el hierro y el cinc
Plomo (Pb)	Gases de escape de vehículos de motor, fundiciones de plomo; fábricas de baterías	Máximo permitido: 1,5 µg/m ³ en 3 meses; la mayor parte del plomo contenido en partículas en suspensión
Óxidos de nitrógeno (NO, NO ₂)	Gases de escape de vehículos de motor; generación de calor y electricidad; ácido nítrico; explosivos; fábricas de fertilizantes	Máximo permitido: 100 µg/m ³ (0,05 p.p.m.) en un año para el NO ₂ ; reacciona con hidrocarburos y luz solar para formar oxidantes fotoquímicos
Oxidantes fotoquímicos (fundamentalmente ozono [O ₃]; también nitrato peroxiacetílico [PAN] y aldehídos)	Se forman en la atmósfera como reacción a los óxidos de nitrógenos, hidrocarburos y luz solar	Máximo permitido: 235 µg/m ³ (0,12 p.p.m.) en 1 hr
Hidrocarburos no metánicos (incluye etano, etileno, propano, butanos, pentanos, acetileno)	Gases de escape de vehículos de motor; evaporación de disolventes; procesos industriales; eliminación de residuos sólidos; combustión de combustibles	Reacciona con los óxidos de nitrógeno y la luz solar para formar oxidantes fotoquímicos
Dióxido de carbono (CO ₂)	Todas las fuentes de combustión	Posiblemente perjudicial para la salud en concentraciones superiores a 5000 p.p.m. en 2-8 hr; los niveles atmosféricos se han incrementado desde unas 280 p.p.m. hace un siglo a más de 350 p.p.m. en la actualidad; probablemente esta tendencia esté contribuyendo a la generación del efecto invernadero

Tabla 1.1. Emisiones de contaminantes más comunes. Fuente: Enciclopedia Electrónica Encarta 1999

⁸ El nivel del grado de contaminantes contenidos en el aire suele expresarse en términos de concentración atmosférica (microgramos de contaminantes por metro cúbico de aire) o, en el caso de los gases, en partes por millón, es decir, el número de moléculas de contaminantes por millón de moléculas de aire.

Muchos contaminantes proceden de fuentes fácilmente identificables; el dióxido de azufre, por ejemplo, procede de las centrales energéticas que queman carbón o petróleo. Otros se forman por la acción de la luz solar sobre materiales reactivos previamente emitidos a la atmósfera (los llamados precursores). Por ejemplo, el ozono, un peligroso contaminante que forma parte del *smog*⁹, se produce por la interacción de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno bajo la influencia de la luz solar. El ozono ha producido también graves daños en las cosechas. Por otra parte, el descubrimiento de que algunos contaminantes atmosféricos, como los clorofluorocarbonos (CFC), están produciendo una disminución de la capa de ozono protectora del planeta ha conducido a una supresión paulatina de estos productos.

Los contaminantes más usuales que emite el tráfico de vehículos son el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles y las macropartículas.

El transporte en los países desarrollados constituye entre 30% y 90% del total de emisiones¹⁰. Existen además compuestos de plomo y una cantidad menor de dióxido de azufre y de sulfuro de hidrógeno que representan un factor de riesgo para la salud. El amianto¹¹ se libera a la atmósfera al frenar. El tráfico vehicular es también una fuente importante de dióxido de carbono.

El monóxido de carbono es venenoso. A dosis reducidas produce dolores de cabeza, mareos, disminución de la concentración y del rendimiento. Los óxidos de nitrógeno y azufre tienen graves efectos sobre las personas que padecen asma bronquial, cuyos ataques empeoran cuanto mayor es la contaminación, pues además estas sustancias irritan las vías respiratorias, si bien aún no hay una

⁹ La palabra inglesa *smog* (de *smoke*: humo y *fog*: niebla) se usa para designar la contaminación atmosférica que se produce en algunas ciudades como resultado de la combinación de unas determinadas circunstancias climatológicas y unos contaminantes concretos.

¹⁰ Referencia: Enciclopedia Electrónica Encarta 1999

¹¹ Mineral que se presenta en fibras blancas y flexibles, de aspecto sedoso. Es un silicato de cal, alúmina y hierro, y por sus condiciones tiene aplicación para hacer con él tejidos incombustibles. Fuente: Diccionario de la Real Academia Española, 1992.

explicación médica precisa. Entre los compuestos orgánicos volátiles está el benceno¹², que puede provocar cáncer, al igual que el amianto, aunque su efecto sólo está claramente establecido a dosis más altas que las debidas al tráfico. Las macropartículas son partículas sólidas y líquidas muy pequeñas que incluyen el humo negro producido sobre todo por los motores diesel y se asocian a una amplia gama de patologías, entre ellas las enfermedades cardíacas y pulmonares.

El plomo dificulta el desarrollo intelectual de los niños. El dióxido de carbono no siempre se clasifica como contaminante, pero sí guarda relación con el calentamiento global.

Los catalizadores limpian parte de las emisiones, pero no así el plomo, el dióxido de carbono ni las macropartículas. El dióxido de carbono es inevitable en los combustibles fósiles; su reducción depende de la utilización de otros combustibles, de mejorar la eficacia del combustible o de reducir el volumen de tráfico.

1.4.1.b. Disminución de la contaminación atmosférica

La concentración de los contaminantes se reduce al dispersarse éstos en la atmósfera, proceso que depende de factores climatológicos como la temperatura, la velocidad del viento, el movimiento de sistemas de altas y bajas presiones y la interacción con la topografía local, por ejemplo las montañas y valles.

Entre los materiales que participan en un proceso químico o de combustión puede haber ya contaminantes (como el plomo de la gasolina), o éstos pueden aparecer como resultado del propio proceso. El monóxido de carbono, por ejemplo, es un producto típico de los motores de explosión. Los métodos de control de la contaminación atmosférica incluyen la eliminación del producto peligroso antes de su uso, la eliminación del contaminante una vez formado, o la alteración del

¹² Hidrocarburo cíclico, aromático, de seis átomos de carbono. Es un líquido incoloro e inflamable, de amplia utilización como disolvente y como reactivo en operaciones de laboratorio y usos industriales. Fuente: Diccionario de la Real Academia Española, 1992.

proceso para que no produzca el contaminante o lo haga en cantidades inapreciables. Los contaminantes producidos por los automóviles pueden controlarse consiguiendo una combustión lo más completa posible de la gasolina, haciendo circular de nuevo los gases del depósito, el carburador¹³ y el cárter¹⁴, y convirtiendo los gases de escape en productos inocuos por medio de catalizadores. Las partículas emitidas por las industrias pueden eliminarse por medio de ciclones¹⁵, precipitadores electrostáticos¹⁶ y filtros. Los gases contaminantes pueden almacenarse en líquidos o sólidos, o incinerarse para producir sustancias inocuas.

En la Ciudad de México, desde hace algunos años, reducir la contaminación que provoca el tráfico vehicular es una de las grandes prioridades y, en la mayoría de los casos (aunque no siempre), se reconoce que ello puede pasar por restringir en cierta medida el aumento del volumen total de tráfico, ya sea con medidas de urgencia durante algunos días, cuando la contaminación es demasiado alta, o mediante políticas más completas a largo plazo. La calidad del aire es uno de los motivos de políticas como la implantación de zonas peatonales en el centro de las ciudades, la limitación del tráfico y la creación de autopistas de peaje.

1.4.1.c. Contaminación acústica

Se hace referencia al ruido cuando éste se considera como un contaminante, es decir, un sonido molesto que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos nocivos para una persona o grupo de personas. La causa principal de la contaminación acústica es la actividad humana: el transporte, la construcción de edificios y obras públicas, la industria, entre otras. Los efectos producidos por el

¹³ Pieza de los automóviles, donde se efectúa la carburación.

¹⁴ En los automóviles y otras máquinas, pieza o conjunto de piezas que protege determinados órganos y a veces sirve como depósito de lubricante.

¹⁵ Aparato estático, que mediante la fuerza centrífuga originada por un fluido en movimiento turbulento, separa las partículas sólidas que este lleva en suspensión.

¹⁶ Aparato eléctrico desarrollado hacia 1906 para eliminar impurezas como el polvo, el humo o el vapor que se encuentran suspendidas en el aire o en otros gases, por medio de la ionización de las impurezas y campos electrostáticos.

ruido pueden ser fisiológicos, como la pérdida de audición, y psicológicos, como la irritabilidad exagerada. El ruido se mide en decibeles (dB); los equipos de medida más utilizados son los sonómetros¹⁷. Un informe publicado en 1995 por la Universidad de Estocolmo para la Organización Mundial de la Salud (OMS), considera los 50 dB como el límite superior deseable. Además, cada país ha desarrollado la legislación específica correspondiente para regular el ruido y los problemas que este conlleva.

1.4.2. Programas implementados en la Ciudad de México

Debido a la problemática que existe de contaminación en la ciudad, el gobierno del Distrito Federal y del Estado de México han implementado medidas para su disminución, entre otras se puede mencionar el Programa “Hoy No Circula”, las verificaciones que se realizan a los automotores públicos y privados y el programa PROAIRE, los cuales se abordarán con mayor detalle.

1.4.2.a. “Hoy No Circula”

En 1984 la agrupación ecologista “Mejora tu Ciudad” impulsó un programa voluntario que consistió en invitar a los automovilistas a dejar de utilizar su vehículo un día a la semana, para lo cual se lograron repartir cerca de 400 mil calcomanías, mismas que se colocaban en los parabrisas de los automóviles y mostraban el día hábil que la unidad no circularía.

En 1989, el programa es tomado por la entonces administración de la Ciudad de México, por lo que los días 6 y 20 de noviembre de ese año, se publicó en la Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal y en el Diario Oficial de la Federación respectivamente, el “Acuerdo por el que se establecieron los criterios para limitar la circulación de los vehículos automotores un día a la semana”.

¹⁷ Instrumento destinado a medir y comparar los sonidos e intervalos musicales. Fuente: Diccionario de la Real Academia Española, 1992.

En dicho acuerdo, se fijaron las condiciones de aplicación del programa conocido como “Hoy No Circula” (HNC), mediante el cual se prohibía la circulación en horario comprendido entre las 5:00 y las 20:00 horas, un día a la semana, del 20% del parque vehicular que circulara en el territorio del Distrito Federal, en los períodos comprendidos entre el 20 de noviembre y el último día de febrero del año siguiente.

La decisión de aplicarlo durante la temporada invernal obedeció al hecho que durante ella se tornaba común la ocurrencia de inversiones térmicas¹⁸ (figura 1.1) que dificultaban la dispersión de los contaminantes generados en el Área Metropolitana¹⁹, por lo cual resultaba necesario bajar la tasa de emisión de contaminantes, evitando la circulación del porcentaje ya señalado de la flota vehicular, la cual en su conjunto era responsable de la emisión de más del 70% de los contaminantes en la Ciudad de México²⁰.

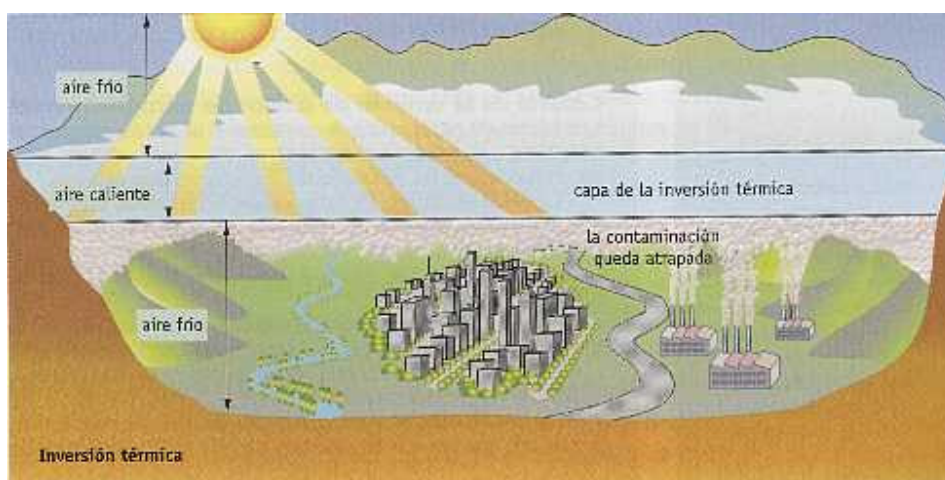


Figura 1.1. Inversión Térmica

¹⁸ En una inversión térmica una capa de aire cálido se sitúa sobre el aire superficial más frío e impide la ascensión de este último, por lo que la contaminación queda encerrada y va aumentando.

¹⁹ Conformada por las 16 demarcaciones políticas del Distrito Federal y 18 Municipios del Estado de México (Atizapán de Zaragoza, Coacalco, Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán, Chalco, Chicoloapan, Chimalhuacán, Ecatepec, Huixquilucan, Ixtapaluca, La Paz, Naucalpan de Juárez, Nezahualcoyotl, Nicolás Romero, Tecámac, Tlalnepantla, Tultitlán y Valle de Chalco Solidaridad)

²⁰ Ver referencia: Secretaria del Medio Ambiente. Actualización del programa “Hoy No Circula”.

El primero de marzo de 1990 se publicó un nuevo acuerdo en el Diario Oficial de la Federación, en donde se otorgó el carácter de obligatorio y permanente a la limitación de la circulación vehicular durante uno de los días hábiles semanales. El programa aplicó a todos los automotores que prestaran cualquier servicio, excepto aquellas unidades de servicios médicos, seguridad pública, bomberos, servicio público de pasajeros y unidades en que se acredite la atención a alguna emergencia médica.

Cabe mencionar que este programa tuvo y sigue manteniendo el carácter de metropolitano, ya que el Gobierno del Estado de México lo aplicó en igualdad de circunstancias a las establecidas en el Distrito Federal.

El 16 de enero de 1991, se publicó un nuevo acuerdo para limitar la circulación de los vehículos que prestaban el servicio de transporte público de pasajeros en el Distrito Federal. Esta situación se debió a que en el acuerdo publicado en 1990, todo el transporte público de pasajeros se encontraba exento de la aplicación de dicha restricción, por lo que en el nuevo documento se obligaba el descanso de los vehículos de este sector, los días sábados de forma alternada y de acuerdo con el último dígito de su matrícula.

El 31 de octubre de 1991, y como consecuencia de la petición de organizaciones de transportistas en el Distrito Federal, se actualizó el acuerdo del 16 de enero del mismo año. Dicha modificación estableció la restricción del 20% del parque vehicular de transporte público de pasajeros en día hábil, considerando los mismos criterios que aplicaban al parque vehicular en general, salvo en el horario restrictivo, el cual fue de las 10:00 a las 21:00 horas.

El cambio en el horario de aplicación del “Hoy No Circula” tuvo como objetivo asegurar el servicio público de pasajeros en el horario de mayor demanda de éste, máxime que la demanda de servicio de estos vehículo se incrementó al entrar en vigor el programa “Hoy No Circula” para automóviles particulares.

El programa operó de esa forma hasta 1997, toda vez que el 30 de diciembre de 1996 se publicó una actualización al acuerdo establecido en 1990, mediante el cual se definieron condiciones especiales para exentar de la restricción a la circulación a vehículos de baja emisión de contaminantes, situación que aplicó tanto a unidades a gasolina como a diesel y gases carburantes.

Esta actualización tuvo como objetivo el incentivar la renovación del parque vehicular, particularmente el de los vehículos privados modelos 1992 y anteriores que carecían de convertidor catalítico y, en un alto porcentaje, de sistemas de inyección electrónica de combustible.

El 30 de octubre de 1998, el programa “Hoy No Circula” vuelve a ser objeto de actualización, y en esta ocasión, la pretensión de la misma fue motivar a la Industria Automotriz Mexicana a cumplir voluntariamente, durante ese año, con estrictos niveles de emisión que aplicarían obligatoriamente a partir del año 2001. De esta forma, surge un esquema en donde los vehículos nuevos cuyas emisiones vehiculares cumplieran con niveles de autorregulación, estarían exentos del programa de verificación vehicular y del “Hoy No Circula” por un período de hasta dos años.

Asimismo, el “Hoy No Circula” presenta restricciones adicionales aplicables durante momentos en que los valores de concentración de contaminantes han alcanzado niveles altos, que se decreta un estado de alerta denominado “Contingencia Ambiental”, en donde se vuelve insostenible la carga de emisión de contaminantes que cotidianamente se lanza a la atmósfera.

Estas restricciones adicionales, originalmente consistían en prohibir la circulación del 40% del parque vehicular, pero actualmente consisten en evitar la circulación del 60% del parque vehicular con holograma “2”, el cual es obtenido por los vehículos modelo 1991 o anteriores, así como por las unidades modelos 1993 y

posteriores con problemas de mantenimiento vehicular, mismos que propician altos niveles de emisión vehicular.

El programa “Hoy No Circula” pretendió el retiro del 20% de los vehículos que diariamente se movían por las vialidades de la Ciudad de México, de esta forma, en 1990 se estimó en 450.000 las unidades que dejarían de circular al día, lo cual propiciaría una reducción en el consumo de gasolina que ascendía a 11.800 barriles.

La reducción supuesta del combustible permitía, a su vez, estimar un beneficio ambiental cercano a 30 millones de toneladas mensuales de contaminantes, ya que se evitaba la emisión diaria de 920 toneladas de monóxido de carbono, 40 de hidrocarburos y 15 de óxidos de nitrógeno. Asimismo, se estimó un ahorro de un millón de horas—hombre semanal, misma que se perdían en los traslados vehiculares. Esto como consecuencia del incremento esperado en la velocidad

1.4.2.b. PROAIRE

Por primera vez se ha planeado un programa a diez años, el cual reúne las acciones que desarrollarán las diferentes dependencias gubernamentales, los sectores privado, educativo y la sociedad en general, para lograr la reducción de las emisiones contaminantes que propician el incumplimiento de las normas de calidad del aire para la protección de la salud. El Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002—2010 (PROAIRE 2002—2010), ha sido concensado con los diferentes sectores de la sociedad, buscando con ello legitimarlo y hacerlo un programa integral para la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).

El PROAIRE 2002-2010 será revisado bianualmente con objeto de dar seguimiento a las medidas planteadas, con posibilidades de modificar y/o reestructurar aquellas que no sean efectivas e incluir nuevas si fuera el caso.

La incorporación a este Programa del conocimiento científico, adquirido en la última década por investigadores nacionales e internacionales que han trabajado sobre el problema de la contaminación del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México, ha sido fundamental. Con estas investigaciones se ha apoyado el diseño de muchas de las estrategias planteadas, ya que se contó para la integración del mismo, con la asesoría de reconocidos investigadores e instituciones, que han desarrollado un gran número de estudios en la zona más habitada del país, los cuales sirvieron como base para el diseño de las estrategias y acciones que se proponen para reducir la contaminación atmosférica.

El apoyo para la realización de estudios en que se basó la elaboración de este programa fue obtenido del Banco Mundial, del Global Environmental Found (GEF), del Consejo de Estudios de Restauración y Valoración Ambiental (CONSERVA) y del Fideicomiso Ambiental del Valle de México (FIDAM), entre otros. Por la parte tecnológica, destaca el apoyo brindado por el Gobierno de Alemania, a través de la Agencia de Cooperación Técnica GTZ.

Este programa plantea la disminución de emisiones generadas por el transporte mediante el mejoramiento de las tecnologías y la operación de las flotas actuales y futuras del parque vehicular, en combinación con esfuerzos adicionales para el mejoramiento de la calidad de los combustibles y la organización e integración de un sistema de transporte multimodal, donde se promueva la complementariedad de los diferentes modos de transporte en lugar de la competencia. Asimismo, se requiere también el uso de los sistemas de planeación especial que faciliten la reducción de las tasas actuales de incremento de viajes y kilómetros recorridos, así como la integración de instrumentos y sistemas para revertir la congestión vial que enfrenta la ZMVM.

Este proyecto se enfoca principalmente a la normatividad de los vehículos de combustión interna como puede ser medidas más estrictas y enérgicas para el retiro de automotores que son ostensiblemente contaminantes, homologación con

legislaciones de Estados Unidos, reevaluación de programas como el “Hoy No Circula” y el programa de verificación vehicular, disminución de contenidos de azufre en gasolina y diesel, renovación de la flota vehicular de pasajeros, implementación de dispositivos que permitan la disminución de contaminantes, uso de vehículos alternos (híbridos, eléctricos, celdas de combustible, etcétera).

Estas medidas son en su mayoría tendientes a la mejora en la calidad de los automotores utilizados en la actualidad, sin embargo se menciona la posible introducción de otras tecnologías como la propuesta en el presente trabajo.

Capítulo 2. Tecnología del Vehículo Híbrido— Eléctrico: Descripción y Aplicación.

En este capítulo se abordará con mayor detalle las características generales de los Vehículos Híbrido—Eléctricos así como los componentes y el funcionamiento de los mismos.

2.1. Introducción a la tecnología y su definición

Un sistema híbrido²¹ es aquel que utiliza más de una fuente de poder para su funcionamiento.

Los Vehículos Híbrido—Eléctricos son aquellos que además de utilizar un motor eléctrico para su propulsión cuentan también con un motor de combustión interna, que dependiendo de la configuración que se utilice, puede ayudar en la tracción o bien ser utilizado para la generación de energía eléctrica. Los vehículos híbridos pueden incorporar varios tipos de acumuladores y/o conversores de energía.

2.1.1. Tipo de Configuraciones

Existen tres formas de configurar los vehículos híbridos, dependiendo de como son colocados sus fuentes motrices, en el presente trabajo sólo se desarrollará la configuración en serie y la configuración en paralelo, aunque existe la configuración mixta, es decir una configuración serie—paralelo.

2.1.2. Configuración en serie

En esta configuración el motor de combustión, alimentado por un tanque de combustible, mueve un generador, el cual a su vez alimenta al motor eléctrico (que se encuentra acoplado a la transmisión del vehículo) y además puede

²¹ Dícese de la combinación dos tecnologías totalmente distintas en un sólo sistema

cargar las baterías. En este caso el motor térmico no mueve directamente al automóvil.

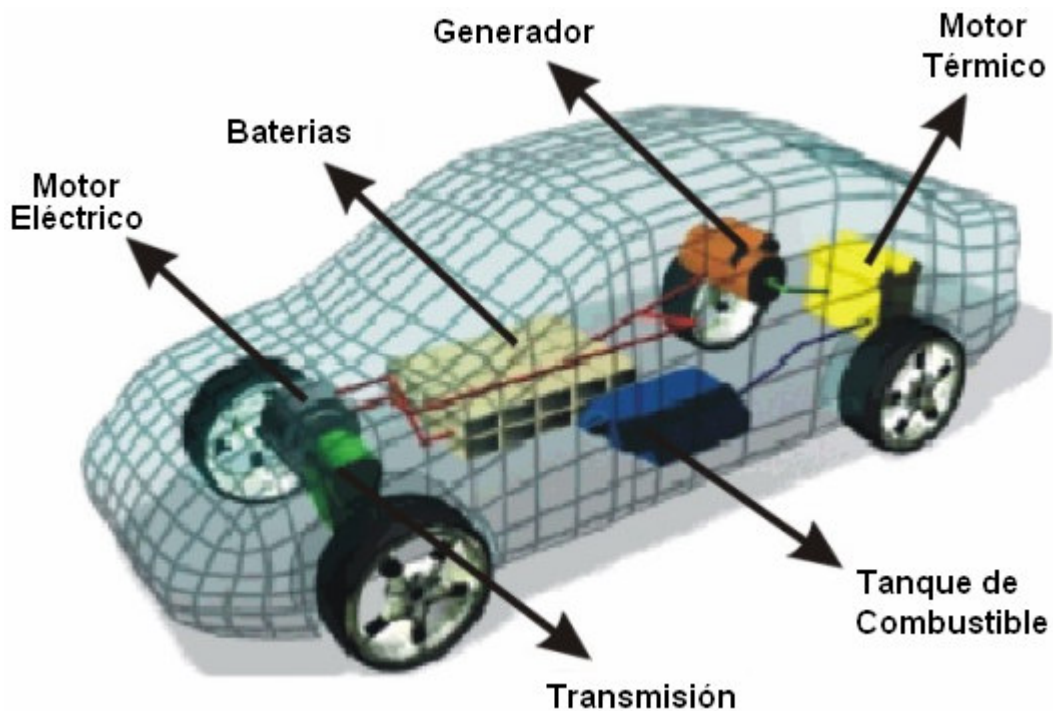


Figura 2.1. Configuración en Serie

Como se muestra en la figura 2.1, comenzando con el tanque de combustible, se observa que todos los componentes forman una línea, la cual se conecta con la transmisión del automóvil.

Las ventajas de este tipo de configuración son:

- El motor térmico nunca trabaja en vacío, reduciendo de esta forma la emisión de contaminantes
- El grupo motor—generador funciona en el punto de diseño, lográndose un rendimiento óptimo
- Se permite una gran variedad de emplazamientos del grupo motor, generador, motor, ya que no es necesaria una transmisión mecánica motor térmico—ruedas
- En algunos casos podemos evitarnos la transmisión, eliminando así una de las causas que reducen la eficiencia del sistema

Modos de funcionamiento: El motor térmico puede estar trabajando o no y el motor eléctrico puede estar trabajando y a su vez cargando las baterías o no.

Sus desventajas son:

- Se necesita de un alternador—rectificador no requerido en la configuración en paralelo
- La eficiencia total del sistema es reducido por la doble conversión de potencia mecánica a eléctrica
- Ambos motores no pueden proporcionar movimiento al vehículo

2.1.3. Configuración en paralelo

En este tipo de configuración ambos motores, tanto el eléctrico como el de combustión interna, pueden mover la transmisión simultánea o individualmente, con lo que se logra que el vehículo se mueva. En la configuración en paralelo se cuenta con un tanque de combustible, el cual alimenta al motor de combustión interna, pero a su vez cuenta con un conjunto de baterías que proveen energía al motor eléctrico.

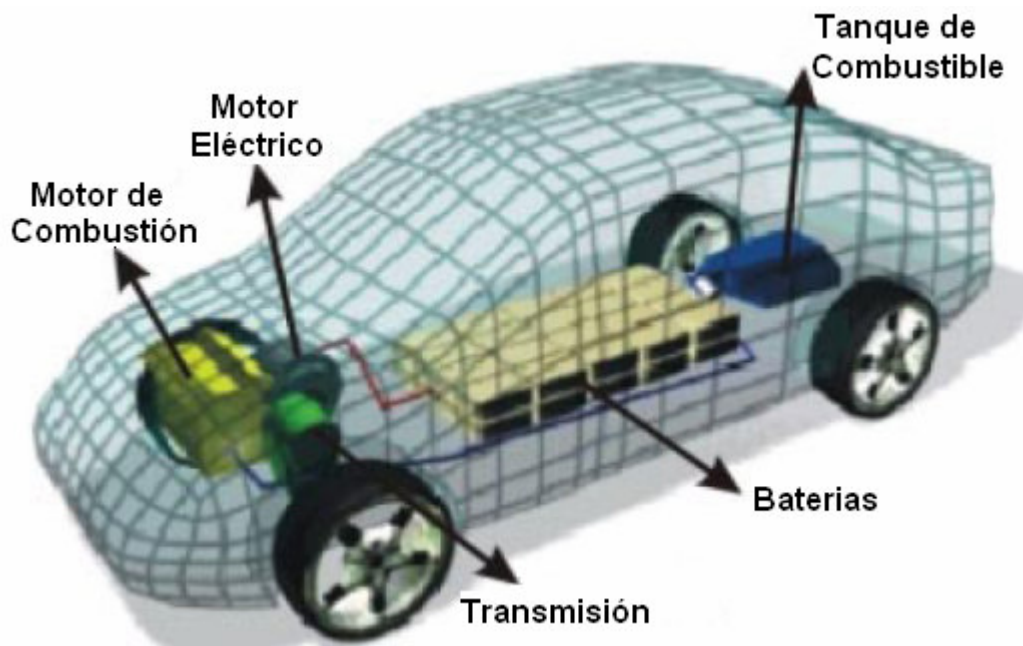


Figura 2.2. Configuración en paralelo

En la figura 2.2 se muestra una típica configuración en paralelo de un vehículo híbrido. Nótese que el tanque de combustible y el motor de combustión están conectados a la transmisión. A su vez las baterías y el motor eléctrico están acoplados a la transmisión de forma independiente. Como resultado, en la configuración en paralelo, ambos motores proveen de propulsión al automóvil.

Algunas de las ventajas de este tipo de configuración:

- El vehículo tendrá mayor potencia debido a que ambos motores pueden trabajar simultáneamente, por lo cual el motor térmico puede ser más pequeño y ligero
- No es necesario un generador, sólo que se acople un motor generador que realiza ambas funciones, con el consiguiente ahorro en costo y espacio
- La potencia del motor es transmitida directamente a las ruedas. Por lo que todo el conjunto es más eficiente

Modos de funcionamiento: Este tipo de configuración, a diferencia de la configuración serie, debe ser capaz de soportar diversos modos de funcionamiento.

- Motor eléctrico y térmico generando potencia para las ruedas
- Motor eléctrico generando potencia y motor térmico en reposo
- Motor térmico generando y motor eléctrico cargando las baterías
- Motor térmico en reposo y motor eléctrico cargando las baterías

2.1.4. Componentes de los vehículos híbridos

- Motor de combustión: Este es similar al que poseen los automóviles convencionales. Sin embargo, el motor en un vehículo híbrido es más pequeño y cuenta con tecnología avanzada que reduce las emisiones e incrementa la eficiencia del mismo.

- **Tanque de combustible:** El tanque de combustible del automóvil híbrido es la fuente de energía del motor de combustión. En la mayoría de los casos de la tecnología híbrida se utiliza motor de gasolina, ya que tiene mucha mayor densidad energética que las baterías.
- **Motor eléctrico:** El motor eléctrico de un auto híbrido es muy sofisticado. Una electrónica avanzada permite que éste actúe correctamente como motor y generador. Debe ser capaz de generar energía eléctrica o potencia mecánica de manera que se ajuste a las necesidades del vehículo. Además debe hacerlo de forma que su eficiencia sea elevada. Otra de las características que debe tener el motor eléctrico es la capacidad de actuar como generador en los momentos en los que se necesite recargar las baterías.
- **Generador:** Funciona bajo el mismo principio que el motor eléctrico, pero este sólo trabaja para producir energía eléctrica mediante energía mecánica. Es mayormente usado en vehículos híbridos que tienen configuración en serie.
- **Baterías:** Las baterías en un auto híbrido son las encargadas de suministrar energía al motor eléctrico. A diferencia del tanque de combustible, que sólo puede proveer de energía al motor de combustión, el motor eléctrico puede suministrar energía a las baterías, así como obtenerla de éstas.
- **Transmisión:** La transmisión en un automóvil híbrido cumple la misma función que en un vehículo convencional. Algunos híbridos, como el Honda Insight, tiene un sistema de transmisión convencional, a diferencia de otros como el Toyota Prius, que cuenta con una transmisión completamente distinta.

2.1.5. Vehículo Híbrido—Eléctrico ultraligero

La combinación sinérgica²² híbrido—ultraligero en un vehículo es aquella que combina una reducción en el peso y la resistencia aerodinámica, con un sistema de propulsión Híbrido—Eléctrico, con lo que le permiten conseguir una muy alta eficiencia con muy bajas emisiones. En los híbridos ultraligeros se espera reducir más de 50% la resistencia a la rodadura actual.

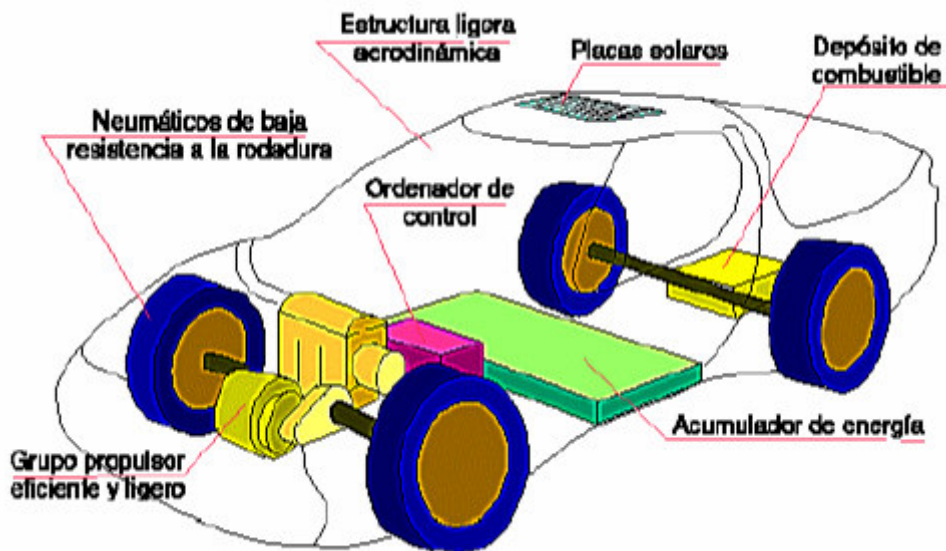


Figura 2.3. Configuración de un automóvil híbrido ultraligero

En un auto ultraligero, dado su diseño simple e integrado y teniendo en cuenta que no necesita servomecanismos, el sistema de refrigeración y muchos de los engranajes y sistemas normales puede reducirse el peso del vehículo.

En este tipo de vehículos se debe combinar materiales ultraligeros (compuestos de fibra y cerámicos), el diseño aerodinámico, una propulsión Híbrido-Eléctrica, neumáticos más estrechos y de baja resistencia a la rodadura y la integración de accesorios eficientes. Con todas estas características será posible lograr una importante sinergia que multiplique el ahorro de combustible y suprima las desventajas individuales.

²² Acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales. Fuente: Diccionario de la Real Academia Española, 1992.

Con esto se suprimen varios pesos compuestos por lo que necesita menos energía para su desplazamiento, aunado a que pierde muy poca energía debido a la fricción con el aire y a la rodadura.

Los híbridos ultraligeros cuentan con las ventajas de los automóviles eléctricos, pero sin tener que soportar los pesados y costosos paquetes de baterías, de corta autonomía y escasa vida útil. En ensayos realizados con prototipos híbridos ultraligeros se ha demostrado que podrán ser competitivos con los automóviles convencionales tanto en precio como en prestaciones, si son fabricados en serie.

2.1.6. Sistema híbrido del tipo turbina—eléctrico

La utilización de una microturbina en reemplazo de un motor de combustión interna en un vehículo híbrido eléctrico ofrece ventajas adicionales a la configuración híbrida. Las turbinas tienen una operación casi silenciosa y por ser motores rotatorios, ofrecen una operación casi libre de vibraciones. Además, las turbinas poseen mayores temperaturas de operación, permitiendo una combustión más completa del combustible, lo que incide en menores emisiones.

En este sistema se utiliza una microturbina, basada en una tecnología similar a la de las turbinas de los jet, pero utilizada como generador eléctrico, la cual es capaz de utilizar diferentes combustibles y de realizar una operación silenciosa y limpia.

Este sistema se encuentra en etapa de desarrollo, pero tiene muy buenas expectativas, debido a su versatilidad y disminución de emisiones contaminantes.

2.2. Ingeniería Térmica del Vehículo Híbrido—Eléctrico

En esta parte se desarrollará de manera más extensa, los combustibles fósiles, las alternativas actuales en la sustitución de los carburantes y tecnologías que reemplacen al motor de combustión interna.

Así mismo explicará el funcionamiento del motor de combustión interna que generalmente es utilizado en los vehículos híbridos.

2.2.1. Combustibles fósiles

Se entiende por combustibles fósiles los provenientes de depósitos de petróleo, gas, carbón, esquistos bituminosos, turba, lignito y antracita, aunque para el interés de este tema sólo abordaremos los dos primeros, por ser los de mayor aplicación en el autotrasporte.

2.2.1.1. Petróleo y sus derivados

El petróleo es un líquido oleaginoso, inflamable, cuyo color varía de incoloro a negro.

A pesar de que algunos compuestos del oxígeno, azufre y nitrógeno se encuentran en el petróleo, éste está compuesto, principalmente, por una mezcla de hidrocarburos, los cuales se refinan, mediante el proceso llamado destilación fraccionada²³, para obtener productos útiles. El enorme mercado del petróleo reside en la demanda de gases ligeros, gasolina, aceites combustibles, disolventes, aceites para motores, grasas, parafinas y asfalto.

Existen tres grandes categorías de petróleos crudos (denominados a veces simplemente crudos): los de tipo parafínico; que están compuestos por moléculas en las que el número de átomos de hidrógeno es siempre superior en dos unidades al doble del número de átomos de carbono, los de tipo

²³ Este proceso se basa en el hecho de que las volatilidades (y por lo tanto las presiones de vapor) de los diferentes hidrocarburos varían inversamente con sus masas moleculares. Los compuestos que poseen menor masa molecular tienen mayor volatilidad y hierven a menor temperatura.

asfáltico donde las moléculas características son los naftenos, que contienen exactamente el doble de átomos de hidrógeno que de carbono y los de base mixta que contienen hidrocarburos de ambos tipos.

2.2.1.2. Gas Natural y L.P.

Gas natural

Los yacimientos de petróleo casi siempre llevan asociados una cierta cantidad de gas natural, que sale a la superficie junto con él cuando se perfora un pozo. Sin embargo, hay pozos que proporcionan solamente gas natural.

Éste contiene elementos orgánicos importantes como materias primas para la industria petrolera y química. Antes de emplear el gas natural como combustible se extraen los hidrocarburos más pesados, como el butano y el propano. El gas que queda, llamado gas seco, se distribuye a usuarios domésticos e industriales como combustible. Este gas, libre de butano y propano, también se encuentra en la naturaleza. Está compuesto por los hidrocarburos más ligeros, metano y etano.

Las tres características más importantes sobre el gas natural son: quema en forma más limpia con respecto a otros hidrocarburos, libera energía y se puede transportar en forma fácil y segura a través de barcos y por tuberías subterráneas. Por estas razones es que ganó terreno rápidamente para ser utilizado como combustible en todas partes del mundo.

Gas licuado de petróleo (gas L.P.).

Este carburante se obtiene tanto de la destilación del petróleo, como en forma de condensado de gas natural (fracción que se separa del metano durante la producción de dicho gas). Las cantidades resultantes dependen del petróleo crudo, tipo y grado de refinamiento y de las condiciones específicas de cada yacimiento.

El gas L.P. es barato y ha gozado siempre de la consideración de combustible respetuoso del medio ambiente. Sin embargo, con el mayor grado de limpieza que están adquiriendo tanto la gasolina como el gasóleo, esa ventaja disminuye con rapidez.

Parte del gas L.P. es utilizado como materia prima en la industria química y para otros usos específicos como el transporte.

2.2.1.3. Combustibles alternativos

Ante la inminente disminución de los carburantes fósiles de bajo costo, los esfuerzos tecnológicos están tendientes a producir combustibles que puedan ser rentables, abundantes y que no representen una amenaza para el equilibrio ecológico.

Existen diversas fuentes que pueden ser utilizadas para proporcionar energía como puede ser, la energía solar, nuclear, combustibles sintéticos, biocombustibles o el hidrógeno, pero en el presente trabajo sólo se estudiarán los tres últimos, ya que los dos primeros por el momento no son opciones viables para su aplicación en la automoción.

2.2.1.3.a. Combustibles sintéticos

Los combustibles sintéticos se fabrican a partir de sustancias halladas en la naturaleza. Se prevé que los únicos dos combustibles sintéticos que estarán disponibles en cantidades comerciales serán el gasohol (una mezcla de gasolina y alcohol destilado de plantas) y los combustibles gaseosos y líquidos fabricados a partir del carbón. Sin embargo, es probable que la producción de combustible a partir de carbón se vea limitada por los elevados costos y los problemas de contaminación, de los que algunos aún se desconocen. Es probable que la fabricación de grandes cantidades de combustibles de alcohol quede restringida a zonas en las que una combinación de mano de obra y terrenos cultivables de bajo costo, junto con una larga temporada de crecimiento, hagan rentable su producción. Por tanto, hay pocas posibilidades

de que los combustibles sintéticos supongan una contribución importante a los recursos energéticos mundiales.

2.2.1.3.b. Biocombustibles

Los materiales biológicos pueden utilizarse como combustible para el transporte de diversas maneras.

Los avances tecnológicos permiten suponer que, a mediano plazo, podrían llegar a ser competitivos otros biocarburentes líquidos y gaseosos producidos mediante tratamiento termoquímico de la biomasa, entre los que cabe mencionar, el biodimetiléter, el biometanol, el biodiesel.

La remolacha azucarera, los cereales y otros cultivos, producen por fermentación, un alcohol (bioetanol) que además de poder aditivarse directamente a la gasolina puede ser utilizado como combustible en estado puro. El bioetanol se emplea como carburante de automoción por sí sólo o en mezcla con los convencionales en porción de hasta 15%²⁴.

El estiércol y los residuos orgánicos de origen doméstico permiten producir biogás (metano) y los residuos vegetales son transformables en bioetanol. En la mayoría de los casos, las cantidades son limitadas, pero las materias primas son gratuitas y su utilización permitirá reducir los problemas de tratamiento de residuos.

El ETBE (etil ter-butyl éter) se obtiene por síntesis del bioetanol y puede utilizarse como aditivo a la gasolina en proporciones de hasta 15%.

El biogás producido por fermentación anaerobia de la biomasa o de la fracción biodegradable de los residuos puede refinarse hasta alcanzar la calidad del gas natural, lo cual permite su uso en el transporte.

²⁴ Ver Referencia: Comisión de las Comunidades Europeas. Los combustibles alternativos para el transporte por carretera.

El biometanol producido a partir de la biomasa es equivalente al metanol fósil, por lo que puede utilizarse como combustible para el transporte en las mismas condiciones que éste. El biodimetiléter es un combustible de calidad similar a la del gasóleo.

Los aceites vegetales (colza, soja, girasol, etcétera) pueden transformarse (mediante la pirólisis²⁵ de la biomasa) en un sustituto del gasóleo denominado biodiesel, que puede mezclarse con el gasóleo convencional o utilizarse en estado puro.

2.2.1.3.c. Hidrógeno

Durante los últimos años, el uso del hidrógeno como combustible alternativo para vehículos de motor ha sido objeto de un esfuerzo intensivo de investigación. Ello se debe, principalmente, a los requisitos establecidos por la legislación de EE.UU. para que los fabricantes de automóviles empiecen a comercializar vehículos de emisión cero. Las celdas de combustible de hidrógeno, cuya única emisión es vapor de agua, ofrece esa posibilidad.

Las ventajas que pueden derivarse del uso del hidrógeno como combustible, desde el punto de vista de la seguridad del abastecimiento y de las emisiones de gases de efecto invernadero, dependen de cuál sea el procedimiento de producción empleado para su obtención y almacenamiento. Lo anterior implica que para la utilización del hidrógeno como combustible para el transporte, es preciso contar con una serie de premisas en cuanto a la evolución a largo plazo de la política energética y ese es un ámbito en que el nivel de incertidumbre es muy elevado.

El uso del hidrógeno como futuro portador de energía a gran escala presenta la ventaja de permitir la generación a partir de cualquier fuente imaginable de energía, a la que se añade la característica de hacer posible su almacenamiento durante un período de tiempo.

²⁵ La pirólisis se define como la degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno o con una cantidad limitada del mismo.

La producción de hidrógeno a gran escala utilizando la energía del gas natural se basa en la oxidación del metano produciendo dióxido de carbono e hidrógeno, el cual es directamente almacenado. Además se puede obtener el hidrógeno mediante la electrólisis del agua²⁶, la electricidad producida por módulos solares, eólicos o algún otro tipo en donde se aprovechen recursos renovables, opera un equipo de electrólisis que divide el agua en sus dos componentes elementales, hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂). El oxígeno se libera a la atmósfera mientras que el hidrógeno se bombea a los tanques, donde es almacenado en el lugar de producción, este proceso industrial constituye una tecnología completamente desarrollada.

El almacenamiento de una cantidad suficiente de hidrógeno, es uno de los problemas para los que todavía no se ha encontrado una solución satisfactoria. A volúmenes iguales, el hidrógeno sólo posee el 30% del contenido energético del gas natural, por esa razón, los depósitos necesarios para almacenar una cantidad de combustible suficiente acaban siendo muy grandes y pesados, sin embargo, con los avances obtenidos en celdas de combustible y la flexibilidad de utilizar otros combustibles con base de hidrógeno, aplicando esta tecnología, ha hecho posible pensar en vehículos eléctricos propulsados mediante celdas de combustible.

2.2.2. Motor de combustión interna

Se le denomina motor de combustión interna a cualquier tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Se utilizan motores de combustión interna de cuatro tipos: el motor ciclo Otto, el motor diesel, el motor rotatorio y la turbina de combustión.

²⁶ Proceso de descomposición del agua en sus dos componentes básicos, el oxígeno y el hidrógeno, producido mediante la electricidad.

Para el propósito del presente trabajo se detallará solamente una variante del motor de Otto de cuatro tiempos, el motor de ciclo Atkinson, que es el motor comúnmente utilizado en los Vehículos Híbrido—Eléctricos.

2.2.2.1. Motor Atkinson

El motor ciclo Atkinson es un tipo de motor de combustión interna inventado por James Atkinson en 1882. El ciclo Atkinson es diseñado para proveer altas eficiencia a expensas de la potencia.

El ciclo permite la admisión, compresión, expansión y escape (del ciclo de cuatro tiempos) en una sola revolución del cigüeñal.

Bien es sabido que el rendimiento termodinámico de cualquier motor de combustión interna se ve favorecido por un alto valor de la relación de compresión, factor que choca frontalmente con la tendencia que tiene la gasolina a producir detonación para altas relaciones de compresión.

El ciclo Atkinson trata de aprovechar las ventajas que supone una alta relación de compresión, reduciendo la duración efectiva de la carrera de compresión con respecto a la de expansión del tradicional ciclo Otto. La forma más viable y sencilla de conseguir esto es retrasar el cierre de la válvula de admisión, permitiendo un cierto reflujo de gases hacia el colector de admisión mientras el pistón asciende.

El cierre de la válvula determina la cantidad de gases que permanecen en el interior del cilindro y el comienzo de la compresión. La menor cantidad de mezcla retenida se traduce en unas menores prestaciones, pero autoriza a usar relaciones de compresión altas sin que se produzca detonación, lo que permite un mayor aprovechamiento de la energía liberada en la combustión durante la carrera de expansión. Este ciclo ha sido en ocasiones denominado como “de cinco tiempos”: admisión, reflujo de gases, compresión, expansión y escape.

2.3. Sistemas de control

El sistema de control es necesario en un vehículo híbrido con cualquier configuración. La misión del sistema de control es la de regular el funcionamiento de los dos motores del vehículo, de cuando entran en funcionamiento y cuando paran. La estrategia de control ha de tener en cuenta las características de los sistemas de almacenamiento de electricidad y de los motores que tenga instalados el vehículo, conocer el estado de todas las variables que influyan en su control y finalmente utilizar una estrategia que de prioridad a unos u otros factores para generar unos flujos de potencia de acuerdo con los requerimientos del usuario.

Las mayores diferencias entre los métodos de control serán las dependientes que influyan en la composición del vehículo si es configuración serie, paralelo o una combinación de los anteriores.

Otra distinción entre las estrategias de control de un vehículo híbrido, tomando en cuenta los ciclos de carga de las baterías, son:

- Una primera estrategia consistiría en dejar que la batería se descargue mientras el coche rueda por encima de la media de velocidad hasta que las mismas queden descargadas. Esto es recomendable si no queremos que el motor térmico salga de la zona óptima de funcionamiento más que si es imprescindible. O si el motor térmico está calculado exactamente para la velocidad media.
- La segunda posibilidad es que tengamos un motor lo suficientemente potente para que, en caso de ser necesario, se pueda aumentar el nivel de carga de la batería aún conduciendo con más carga de la estipulada.

La única manera de que todo lo anterior sea posible es diseñar conjuntamente los parámetros de funcionamiento y los motores de tal forma que estén perfectamente compenetrados.

2.3.1. Estrategias de control del vehículo

Las estrategias de control son la forma en cómo se escoge la operación de los motores del vehículo, seleccionando la fuente principal de propulsión y analizando las potenciales variantes, tomando en consideración, que de todas las posibles estrategias de control para un vehículo híbrido debemos tratar de encontrar aquella que:

- Ahorre la mayor cantidad de combustible
- Haga mínimas las emisiones de contaminantes
- Haga lo anterior manteniendo las características del vehículo, de acuerdo con las exigencias del mercado, haciendo que sea competitivo con los tradicionales

2.3.1.1. Modelo paralelo con asistencia eléctrica

Este modelo utiliza como fuente principal de energía mecánica del motor térmico. El motor eléctrico trabaja únicamente como una ayuda al motor térmico para que aumente la potencia en los momentos en que sea necesario. Liberando al motor térmico de trabajar en zonas muy ineficientes.

Con este tipo de modelo se obtiene una gran competitividad del vehículo, no obstante al ser el motor térmico la principal fuente de energía, el ahorro en el consumo de combustible no tiene ningún cambio con respecto a los automóviles convencionales, por consiguiente tampoco se presenta un cambio en la emisión de contaminantes.

2.3.1.2. Modelo paralelo con asistencia térmica

En este caso, el motor eléctrico funciona como motor principal, dejando que el motor térmico únicamente se encienda en los momentos de máxima carga o cuando las baterías se han descargado. Este es el sistema que más utiliza la energía eléctrica y por tanto suele ser el más económico, el de mayor ahorro de combustible y menor emisión de contaminantes además de hacerlo muy

competitivo, a no ser que el motor térmico, al encenderse tenga que estar trabajando por mucho tiempo a elevadas cargas, ya que entonces los motores resultan muy ineficientes.

2.3.1.3. Modelo termostático en serie

El objetivo de este modelo es el de trabajar con energía eléctrica, mientras que las baterías se descarguen hasta llegar a un punto de baja carga, en el que el motor térmico y el generador se enciendan cargando la batería hasta que el nivel de carga vuelva a ser alto. Con este modelo se tiene un ahorro de combustible sólo cuando el motor eléctrico está en funcionamiento, además de que éste debe ser dimensionado para proveer la suficiente potencia como para hacer competitivo al vehículo. La principal ventaja de este sistema es que si el motor térmico está bien dimensionado puede permanecer todo el tiempo en sus condiciones de funcionamiento óptimas, es decir, con la mayor eficiencia

2.3.1.4. Modelo serie de carga a nivel

Este modelo pretende suministrar la potencia media requerida por el vehículo gracias al motor térmico y utilizar el motor eléctrico para suministrar los picos de corriente que requiere el motor. La ventaja de este tipo de vehículo híbrido es que el tamaño de las baterías puede ser relativamente pequeño. Y su desventaja es que el motor térmico tiene que trabajar en gran cantidad de puntos de funcionamiento y esto hace que se pierda eficiencia con el consecuente consumo de combustible y emisión de contaminantes.

2.3.2. Sistema de control del vehículo

Para la operación eficiente del vehículo es esencial que el sistema sea monitoreado todo el tiempo, manteniendo un estricto control sobre los parámetros del automóvil para que su funcionamiento sea óptimo y se aproveche al máximo la energía disponible.

2.3.3. Control Electrónico de la Energía

El sistema de control de la energía, utiliza un microcontrolador, el cual realiza un análisis de todas las variables tanto internas como externas para generar el óptimo aprovechamiento de la energía disponible.

El microcontrolador examina el sistema, preparándolo para el manejo de un grupo de entradas tomadas por los sensores como son: medición de la carga de las baterías, estado del motor, condiciones del vehículo y ambientales, combinando esta información con las entradas de la señal de demanda de conducción, tal como son el frenado, la conducción, la aceleración y varios interruptores de control disponibles y utilizando modelos electrónicos. Las condiciones del vehículo son optimizadas y son generadas las salidas para tener el control continuo del torque y la velocidad del automóvil, relación de cambio, frenado regenerativo, iluminación externa, calefacción, ventilador y aire acondicionado.

Así pues dependiendo de las características del automóvil, las condiciones climatológicas y topográficas, escoge las disposiciones adecuadas, ya sea el encendido de uno o ambos motores y cuando se debe regenerar la energía eléctrica de las baterías, a partir del motor de combustión, etcétera.

2.3.4. Controlador de Manejo

Este control se realiza mediante el uso de un sofisticado sistema de navegación, la información obtenida por los sensores es registrada por el microcontrolador y procesada para proporcionar las instrucciones de navegación al conductor.

Una útil característica de este controlador es la habilidad para generar información sobre el vehículo, las condiciones del mismo y el camino. Esto permite al conductor obtener indicaciones sobre el estado del automóvil y la batería así como también cualquier problema funcional y proveer de información sobre los instrumentos de conducción, mostrando la velocidad,

distancia recorrida, estado de la carga de la batería, kilómetros con la batería en “vacío”, etcétera.

2.3.5. Sistema de control de velocidad

En un sistema Híbrido—Eléctrico el controlador del motor es el encargado de regular el potencial y la intensidad que se le suministra a los motores. Tomando una señal del acelerador, debe ser capaz de interpretar lo que se le pide al vehículo y actuar en consecuencia.

Con los avances en la electrónica de potencia se ha podido variar la velocidad de los motores eléctricos conociendo los parámetros que intervienen en el funcionamiento de los mismos. Anteriormente se utilizaban una serie de resistencias con el fin de modificar el voltaje de armadura.

En la actualidad es común el uso de semiconductores para realizar esta función, con el consecuente aprovechamiento de la energía que se derrochaba con los resistores²⁷, un ajuste más exacto y la ventaja de no tener dispositivos móviles, por lo que no necesitan mantenimiento por desgaste de sus piezas.

2.4. Eléctrica

En esta parte se analizarán los componentes eléctricos del vehículo, tales como los motores encargados de la propulsión, dispositivos de almacenamiento de energía y el frenado regenerativo, el cual es una innovación en los automotores.

²⁷ Los semiconductores tienen un menor desperdicio de energía que los elementos resistivos, debido a que los primeros sólo presentan un calentamiento debido a la impureza de los elementos con que fueron fabricados, además de la zona en donde se encuentren operando y la potencia que estén manejando, lo cual no representa un problema ya que se pueden ajustar para su óptimo funcionamiento, mientras que las resistencias son elementos que no permiten el libre flujo de la corriente con lo cual se presenta un pérdida de energía en forma de calor (I^2R) que produce un desgaste del elemento, acortando su vida útil y un mayor desperdicio de energía.

2.4.1. Motor eléctrico

Se le denomina motor eléctrico a la máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica.

Dos principios físicos relacionados entre sí sirven de base al funcionamiento de los motores (y los generadores). El primero es el principio de la inducción descubierto por el científico e inventor británico Michael Faraday en 1831. Si un conductor se mueve a través de un campo magnético, o si está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se establece o se induce una corriente eléctrica en el primer conductor. El principio opuesto a éste fue observado en 1820 por el físico francés André Marie Ampère. Si una corriente pasa a través de un conductor situado en el interior de un campo magnético, éste ejerce una fuerza mecánica sobre el conductor.

El campo magnético de un imán permanente sólo tiene fuerza suficiente como para hacer funcionar un motor pequeño. Por ello, los electroimanes se emplean para grandes máquinas. Los motores tienen dos unidades básicas: el inductor, que crea el campo magnético y que suele ser un electroimán y la armadura o inducido, que es la estructura que sostiene los conductores que cortan el campo magnético y transporta la corriente de excitación del motor. La armadura es por lo general un núcleo de hierro dulce laminado, alrededor del cual se enrollan los cables conductores.

2.4.1.1. Motor de corriente directa

Cuando la corriente pasa a través de la armadura de un motor de corriente directa, se genera un par de fuerzas debido a la acción del campo magnético y la armadura gira. La función del conmutador²⁸ es la de servir como bornes de la bobina. Las escobillas fijas de metal o de carbón se mantienen en contacto con el conmutador, que al girar conectan eléctricamente la bobina a los cables

²⁸ El conmutador es un anillo de metal partido montado sobre el eje de la armadura

externos. Cuando la armadura gira, cada escobilla está en contacto de forma alternada con las mitades del conmutador, al cambiar de posición las escobillas se invierte el sentido de la corriente dentro de la bobina de la armadura. Así al producirse un flujo de corriente se produce el movimiento del motor. La revolución de la armadura induce un voltaje en las bobinas de ésta. Este voltaje es opuesto al voltaje exterior que se aplica a la armadura y de ahí que se conozca como voltaje inducido o fuerza contraelectromotriz. Cuando el motor gira más rápido, el voltaje inducido aumenta hasta que es casi igual al aplicado. La corriente entonces es pequeña y la velocidad del motor permanecerá constante siempre que el motor no esté bajo carga y tenga que realizar otro trabajo mecánico. Bajo carga, el rotor gira más lentamente, reduciendo el voltaje inducido y permitiendo que fluya una corriente mayor en la armadura.

Debido a que la velocidad de rotación controla el flujo de la corriente en la armadura, deben usarse dispositivos especiales para arrancar los motores de corriente continua. Cuando la armadura está parada, ésta no tiene realmente resistencia y si se aplica el voltaje de funcionamiento normal, se producirá una gran corriente, que podría dañar el conmutador y las bobinas de la armadura. El medio normal de prevenir estos daños es el uso de una resistencia de encendido conectada en serie a la armadura, para disminuir la corriente antes de que el motor consiga desarrollar el voltaje inducido adecuado. Cuando el motor acelera, la resistencia se reduce gradualmente, tanto de forma manual como automática (conocidos como arrancadores).

La velocidad a la que funciona un motor depende de la intensidad del campo magnético que actúa sobre la armadura, así como de la corriente de ésta. Cuanto más fuerte es el campo, más bajo es el grado de rotación necesario para generar un voltaje inducido lo bastante grande como para contrarrestar el voltaje aplicado. Por esta razón, la velocidad de los motores de corriente continua puede controlarse mediante la variación de la corriente del campo.

2.4.1.2. Motor de corriente alterna

Se diseñan dos tipos básicos de motores para funcionar con corriente alterna polifásica: los motores síncronos y los motores de inducción.

2.4.1.2.a. Motores síncronos

Los imanes del campo se montan sobre un rotor y se excitan mediante corriente continua, para obtener una alternancia de polos magnéticos, las bobinas de la armadura están divididas en tres partes y alimentadas con corriente alterna trifásica. La variación de las tres ondas de corriente en la armadura provoca una reacción magnética variable con los polos de los imanes del campo y hace que el campo gire a una velocidad constante, que se determina por la frecuencia de la corriente en la línea de potencia de corriente alterna.

La velocidad constante de un motor síncrono es ventajosa en ciertos aparatos. Sin embargo, no puede utilizarse este tipo de motores en aplicaciones cuando la carga mecánica sobre el motor llega a ser muy grande, ya que si el motor reduce su velocidad cuando está bajo carga puede quedar fuera de fase con la frecuencia de la corriente y llegar a pararse.

La velocidad del motor síncrono depende de la frecuencia de la alimentación y del número de polos en el estator, mediante la variación de la frecuencia de la alimentación es posible variar la velocidad del motor como se verá más adelante.

Una de las ventajas de estos motores es que tienen un mejor rendimiento que los motores de inducción.

2.4.1.2.b. Motores de inducción

Los motores de inducción son, en esencia, motores de velocidad constante, siendo ésta función de la frecuencia de la alimentación y del número de pares de polos del devanado.

Los motores de inducción pueden ser de anillos rozantes y de jaula de ardilla, según la construcción del rotor. El motor de anillos rozantes tiene en el rotor un devanado conectado a unos anillos colectores, que permiten cerrar el circuito a través de unas escobillas sobre una resistencia externa calculada para limitar la corriente durante el arranque y mantener el par necesario para acelerar la carga a su velocidad de trabajo.

El más simple de todos los tipos de motores eléctricos de inducción es el motor de jaula de ardilla que se usa con alimentación trifásica. La armadura de este tipo de motor consiste en tres bobinas fijas y es similar a la del motor síncrono. El elemento rotatorio consiste en un núcleo, en el que se incluye una serie de conductores de gran capacidad colocados en círculo alrededor del árbol y paralelos a él.

El rotor se encuentra aislado del exterior, de manera que no se puede variar la característica par—velocidad elegida al diseñarlo, a no ser que se reduzca la tensión aplicada al devanado del estator, variando entonces el par desarrollado.

Cuando no tienen núcleo, los conductores del rotor se parecen en su forma a las jaulas cilíndricas que se usaban para las ardillas. El flujo de la corriente trifásica dentro de las bobinas de la armadura fija genera un campo magnético rotatorio y éste induce una corriente en los conductores de la jaula. La reacción magnética entre el campo rotatorio y los conductores del rotor que transportan la corriente hace que éste gire. Si el rotor da vueltas exactamente a la misma velocidad que el campo magnético, no habrá en él corrientes inducidas y por tanto, el rotor no debería girar a una velocidad síncrona. En funcionamiento, la velocidad de rotación del rotor y la del campo difieren entre

sí de un 2 a un 5%. Esta diferencia de velocidad se conoce como deslizamiento.

Los motores con rotores del tipo jaula de ardilla se pueden usar con corriente alterna monofásica utilizando varios dispositivos de inductancia y capacitancia, que alteren las características del voltaje monofásico y lo hagan parecido al bifásico. Estos motores se denominan motores multifásicos o motores de condensador, según los dispositivos que usen. Los motores de jaula de ardilla monofásicos no tienen un par de arranque grande y se utilizan motores de repulsión—inducción para las aplicaciones en las que se requiere el par. Este tipo de motores pueden ser multifásicos o de condensador, pero disponen de un interruptor manual o automático que permite que fluya la corriente entre las escobillas del conmutador cuando se arranca el motor, hasta después de que el motor alcance una velocidad crítica. Los motores de repulsión—inducción se denominan así debido a que su par de arranque depende de la repulsión entre el rotor y el estator, el par del motor, mientras está en funcionamiento, depende de la inducción.

2.4.2. Dispositivos de Almacenamiento de Energía Eléctrica

Estos dispositivos son los encargados de suministrar energía al motor eléctrico, su avance tecnológico es el que menos desarrollo presenta, no obstante con las nuevas investigaciones sobre las baterías, se tendrá un impulso de los vehículos híbridos y celdas de combustible aplicadas al transporte, harán posible la autonomía de los automóviles eléctricos.

2.4.2.1. Baterías

Las baterías son el sistema clásico de almacenamiento de energía. En ellas se utilizan reacciones químicas reversibles. Las baterías es una tecnología madura en comparación con otras opciones, además se sigue investigando de forma muy activa para aumentar la eficacia de las mismas.

Se han desarrollado diversos tipos de baterías para uso en los vehículos Híbrido—Eléctricos. Se trata de versiones mejoradas de las baterías convencionales, no obstante aún se tienen numerosos inconvenientes como su corta duración, alto costo, gran volumen o problemas medioambientales. Las baterías destinadas a vehículos eléctricos incorporan sulfuro de litio—hierro, cinc—cloro, níquel—hidruro metálico y sulfuro de sodio.

Sólo vamos a limitarnos a desarrollar las baterías de níquel—hidruro por ser las que se utilizan ampliamente en los vehículos híbridos.

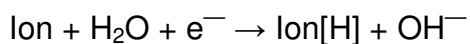
2.4.2.2. Baterías de níquel—hidruro

La base de la tecnología de hidruro metálico es la capacidad de ciertas aleaciones metálicas para absorber los átomos de hidrógeno, en los resquicios que dejan entre ellos los átomos del metal (fenómeno conocido como adsorción²⁹). Se han identificado dos clases de materiales susceptibles de adsorber grandes volúmenes de hidrógeno: aleaciones entre tierras raras y níquel, basadas generalmente en LaNi_5 y aleaciones formadas fundamentalmente por titanio y circonio. En ambos casos, cierta parte de los metales base se sustituye por otros elementos metálicos. La composición exacta de la aleación se puede adaptar para que se adecúe a los requisitos específicos de utilización de la batería. Estas aleaciones metálicas se emplean para suministrar los materiales activos de los electrodos negativos en celdas que, si no fuera por esto, serían muy similares a una batería de níquel—cadmio. El borne negativo es de hidruro metálico, para el electrodo positivo se emplea hidróxido de níquel con un hidróxido potásico acuoso como electrolito.

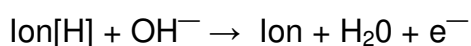
El uso del hidruro metálico proporciona las siguientes reacciones en el electrodo negativo de la batería:

²⁹ En la física se le conoce como adsorción a la acción y efecto de adsorber, es decir, atraer y retener en la superficie de un cuerpo moléculas o iones de otro cuerpo.

Cuando se aplica un potencial eléctrico a la celda, el agua del electrolito se descompone, en presencia de la aleación, produciendo iones de hidrógeno, que se adsorbe en la aleación, y iones hidróxilo, como se indica.



Durante la descarga se invierten las reacciones. La aleación devuelve el hidrógeno y éste se combina con el hidróxilo para formar agua, mientras que se libera un electrón.



Este electrodo dispone de 40% más de capacidad teórica que el electrodo negativo de cadmio de la batería de níquel—cadmio. El borne negativo de hidruro metálico tiene un excelente funcionamiento con el mismo electrodo positivo de níquel que se emplea en las celdas convencionales, sólo que proporcionando una densidad de energía entre 20% y 30% mayor en la batería de níquel—cadmio³⁰.

La tensión intrínseca es, aproximadamente, 1,2 voltios por celda.

La batería de níquel—hidruro metálico presenta una construcción enrollada similar a la que emplean las baterías redondas. Los componentes básicos son los electrodos, positivo y negativo aislados entre sí por separadores plásticos. Los electrodos se enrollan e insertan en un tanque metálico que se sella tras la inyección de una pequeña cantidad de solución electrolito de hidróxido potásico.

La densidad volumétrica de energía de esta celda es actualmente entre 25% y 30% mayor que en las baterías de níquel—cadmio de altas prestaciones y cerca del doble de normales. Esto se traduce en una capacidad de 2.700

³⁰ Ver Bibliografía: Equipo técnico de Marketing de Gates Energy Products, Inc. Baterías Recargables.

miliamperios—hora de las baterías de níquel—hidruro metálico, comparada con las 2.000 en una celda de las células de níquel—cadmio.

El comportamiento de la célula de níquel—hidruro metálico durante la recarga y su tolerancia a la sobrecarga es muy similar al de la batería de níquel—cadmio. Aunque existen dos diferencias entre sus fundamentos químicos:

1. La reacción en la recarga del binomio níquel—hidruro metálico es exotérmica, mientras que la del níquel—cadmio es endotérmica. Esto significa que la batería de níquel—hidruro metálico se calentará a medida que se vaya cargando, mientras que la temperatura de la de níquel—cadmio permanecerá relativamente constante hasta que llegue a la sobrecarga. Sin embargo, la batería de níquel—hidruro metálico mantiene la temperatura durante la sobrecarga, lo que hace posibles esquemas de detección del fin de la recarga basados en la medida de su temperatura.
2. La tensión durante la recarga de las baterías de níquel—hidruro metálico muestra en la sobrecarga una caída menor que en las de níquel—cadmio. A medida que las baterías de níquel—cadmio llegan a la sobrecarga, la tensión pasa por un máximo y después sufre una considerable reducción. Algunos esquemas utilizados en las baterías de níquel—cadmio han basado la finalización de la recarga en el flanco negativo de la curva de tensión. El diseño de tales sistemas para que funcionen con las de níquel—hidruro metálico requerirá una atención cuidadosa durante la selección de los parámetros adecuados.

A pesar de estas diferencias, es totalmente factible una recarga rápida tras una hora o menos de la batería de níquel—hidruro metálico con un adecuado control. En general, se pueden emplear los mismos métodos de recarga, aunque es preciso ajustar algunos parámetros de control para obtener un rendimiento y una vida de servicio óptimos.

Se espera que la batería de níquel—hidruro metálico tenga una vida de servicio prolongada.

El impacto medioambiental de los materiales empleados en las baterías de níquel—hidruro metálico no ha revelado ningún problema asociado con ésta.

2.4.2.3. Ultracondensadores

También llamado ultracapacitor, es una versión superior en potencia y energía específica al capacitor electrolítico. Éste se aprovecha como dispositivo de energía primaria para asistir de potencia durante la aceleración y las pendientes, tanto como en la recuperación de energía en el frenado. Éstos además, son utilizados en los Vehículos Híbrido—Eléctricos para almacenar energía, siempre que la carga en las baterías es baja. Se requiere electrónica adicional para mantener el voltaje constante debido a su baja densidad de energía.

2.4.2.4. Celdas de Combustible

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico que convierte la energía química de una reacción directamente en energía eléctrica. Puede generar electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electroquímicamente sin ninguna combustión. Estas celdas no se agotan como lo haría una batería, ni precisan recarga, ya que producirán energía en forma de electricidad y calor en tanto se les provea de combustible. En la práctica, la corrosión y la degradación de materiales y componentes de la celda limitan su vida útil.

La manera en que operan es mediante una celda electroquímica, similar a la usada en las baterías, consistente en dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separados por un electrólito. El oxígeno es proveído al cátodo proveniente del aire y el hidrógeno es continuamente suministrado al ánodo (ver figura 2.4).

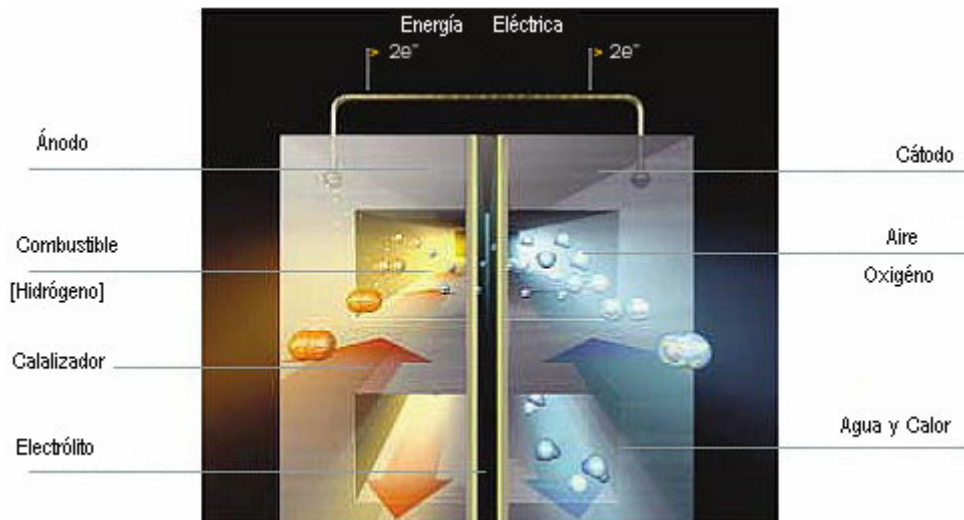


Figura 2.4. Funcionamiento de una celda de combustible

El hidrógeno fluye hacia el ánodo donde un catalizador (por lo general de platino) facilita su conversión en electrones y protones (H^+), el hidrógeno oxidado y el electrón toman diferentes caminos migrando hacia el segundo electrodo llamado cátodo. El hidrógeno lo hará a través del electrolito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor externo (carga). Al final de su camino ambos se vuelven a reunir en el cátodo donde ocurre la reacción de reducción o ganancia de electrones (reacción catalizada también por el platino) del oxígeno para formar agua junto con el hidrógeno oxidado. Así, este proceso produce agua 100% pura, corriente eléctrica y calor útil.

Como en las baterías, las celdas de combustible se agrupan en celdas para obtener un voltaje aceptable, así como cierta potencia de salida.

Sin ser baterías, como parece, las celdas de combustible no liberan energía almacenada, esto debido a que la energía eléctrica que se produce por la reacción electroquímica entre el hidrógeno y el oxígeno, se tiene que consumir en ese preciso instante.

Las celdas de combustible podrían reemplazar a los motores de combustión interna en el futuro, de hecho existen prototipos de autobuses y autos que circulan en países como: Canadá, Estados Unidos, Alemania y Japón entre otros.

Ventajas:

- Se tienen eficiencias de hasta 70% en comparación con la media del 30% de los motores de combustión interna
- Los vehículos que utilizan sólo hidrógeno como combustible para alimentar las celdas son considerados vehículos con cero emisiones contaminantes
- La autonomía de los prototipos es bastante aceptable (hasta de 500 km, con un solo tanque de combustible)
- Este tipo de vehículos resultan sumamente atractivos para circular en las ciudades, debido a los beneficios mecánicos obtenidos, ya que el tener un vehículo con un motor eléctrico se traduce en un excelente torque
- No requiere de una recarga, sólo se necesita suministrar continuamente combustible al tanque como en un automóvil de combustión interna

Desventajas:

- Disponibilidad de hidrógeno
- Los materiales con los que se fabrican las celdas son costosos
- El incremento de aditamentos (reformador, baterías, entre otros) incrementa el peso del vehículo

2.4.2.5. Volantes de Inercia

Los volantes de inercia son unos discos con una alta masa específica en la que se puede almacenar energía cinética en forma de rotación. Funcionan como un rotor de un motor que genera electricidad a costa del movimiento de rotación que tiene el disco y a su vez almacena la energía, aumentando la velocidad de giro del disco.

Además es capaz de entregar la energía que tiene almacenada de forma más rápida que las baterías.

Actualmente este tipo de sistemas tienen todavía una baja energía específica y existen problemas de seguridad debido a la posibilidad de que se pierda el control sobre un disco que permanece girando a tantas revoluciones. Otro tipo de problemas que se plantean son los relativos a los efectos giroscópicos del disco que producen momentos indeseados ya que pueden desestabilizar el vehículo. Esta forma de almacenar la energía resulta muy eficiente.

2.4.3. Generador

Este dispositivo eléctrico se basa en los mismos principios que los motores pero a diferencia de éstos, convierten la energía mecánica en energía eléctrica.

2.4.3.1. Dinamo

Si una armadura gira entre dos polos magnéticos fijos, la corriente en la armadura circula en un sentido durante la mitad de cada revolución y en el otro sentido durante la otra mitad. Para producir un flujo constante de corriente continua, en un aparato determinado, es necesario disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador una vez durante cada revolución. En las máquinas antiguas esta inversión se llevaba a cabo mediante un conmutador, un anillo de metal partido montado sobre el eje de una armadura. Las dos mitades del anillo se aislaban entre sí y servían como bornes de la bobina. Las escobillas fijas de metal o de carbón se mantenían en contacto con el conmutador, que al girar conectaba eléctricamente la bobina a los cables externos. Cuando la armadura giraba, cada escobilla estaba en contacto de forma alternativa con las mitades del conmutador, cambiando la posición en el momento en el que la corriente invertía su sentido dentro de la bobina de la armadura. Así se producía un flujo de corriente de un sentido en el circuito exterior al que el generador estaba conectado. Los generadores de corriente continua funcionan normalmente a voltajes bastante bajos para evitar las chispas que se producen entre las escobillas y el conmutador a voltajes altos. El potencial más alto desarrollado para este tipo de generadores suele ser de 1.500 volts. En las máquinas más modernas esta inversión se realiza mediante el uso de aparatos de electrónica de potencia.

Los generadores modernos de corriente continua utilizan armaduras de tambor, que suelen estar formadas por un gran número de bobinas agrupadas en hendiduras longitudinales dentro del núcleo de la armadura y conectadas a los segmentos adecuados de un conmutador múltiple. Si una armadura tiene un solo circuito de cable, la corriente que se produce aumentará y disminuirá dependiendo de la parte del campo magnético a través del cual se esté moviendo el circuito. Un conmutador de varios segmentos usado con una armadura de tambor conecta siempre el circuito externo a uno de cable que se mueve a través de un área de alta intensidad del campo y como resultado la corriente que suministran las bobinas de la armadura es prácticamente constante. Los campos de los generadores modernos se equipan con cuatro o más polos electromagnéticos que aumentan el tamaño y la resistencia del campo magnético. En algunos casos, se añaden interpolos más pequeños para compensar las distorsiones que causa el efecto magnético de la armadura en el flujo eléctrico del campo.

El campo inductor de un generador se puede obtener mediante un imán permanente (magneto) o por medio de un electroimán (dinamo). En este último caso, el electroimán se excita por una corriente independiente o por autoexcitación, es decir, la propia corriente producida en la dinamo sirve para crear el campo magnético en las bobinas del inductor. Existen tres tipos de dinamo según sea la forma en que estén acoplados el inductor y el inducido: en serie, en derivación y una combinación de ambas.

2.4.3.2. Alternador

Un generador simple sin conmutador producirá una corriente eléctrica que cambia de sentido a medida que gira la armadura. Este tipo de corriente alterna es ventajosa para la transmisión de potencia eléctrica, por lo que la mayoría de los generadores eléctricos son de este tipo. En su forma más simple, un generador de corriente alterna se diferencia de uno de corriente continua en sólo dos aspectos: los extremos de la bobina de su armadura están sacados a los anillos colectores sólidos sin segmentos del árbol del generador en lugar de los conmutadores y las bobinas de campo se excitan mediante una

fuente externa de corriente continua más que con el generador en sí. Los generadores de corriente alterna de baja velocidad se fabrican con hasta 100 polos, para mejorar su eficiencia y para lograr con mayor facilidad la frecuencia deseada. Los alternadores accionados por turbinas de alta velocidad, sin embargo, son a menudo máquinas de dos polos. La frecuencia de la corriente que suministra un generador de corriente alterna es igual a la mitad del producto del número de polos por el número de revoluciones por segundo de la armadura.

A veces, es preferible generar un voltaje tan alto como sea posible. Las armaduras rotatorias no son prácticas en este tipo de aplicaciones, debido a que pueden producirse chispas entre las escobillas y los anillos colectores ya que pueden producirse fallos mecánicos que podrían causar cortocircuitos. Por tanto, los alternadores se construyen con una armadura fija en la que gira un rotor compuesto de un número de imanes de campo. El principio de funcionamiento es el mismo que el del generador de corriente alterna descrito con anterioridad, excepto en que el campo magnético (en lugar de los conductores de la armadura) está en movimiento.

La corriente que se genera mediante los alternadores aumenta hasta un pico, cae hasta cero, desciende hasta un pico negativo y sube otra vez a cero varias veces por segundo, dependiendo de la frecuencia para la que esté diseñada la máquina. Este tipo de corriente se conoce como corriente alterna monofásica. Se puede obtener un número mayor de fases incrementando el número de bobinas en la armadura, pero en la práctica por lo general sólo se usa la corriente alterna trifásica, con el alternador trifásico, que es la máquina dinamoeléctrica que se emplea normalmente para generar potencia eléctrica.

2.4.4. Sistema de frenado regenerativo eléctrico

Al desacelerar o frenar, el motor eléctrico actúa como generador, recuperando la energía cinética desde las ruedas, convirtiéndola en electricidad que puede ser guardada en la batería o ultracondensadores. Son requeridos frenos de fricción tradicionales, así como un sistema de control electrónico que permita

maximizar la recuperación de energía y pueda operar el sistema dual de frenos. Sistemas comerciales en uso permiten recuperar alrededor de un 30% de la energía cinética típicamente pérdida como calor en frenos de fricción. La energía recuperada al freno puede reducir el consumo energético 15% en conducción en ciudad³¹.

2.5. Electrónica

Como se mencionó en párrafos anteriores es de suma importancia el control sobre la velocidad del vehículo, es por esto, que en esta sección se detallan los dispositivos encargados de dicha función, además como introducción, se explica la importancia que tienen los semiconductores y sus ventajas sobre los métodos de control que tradicionalmente eran empleados para este fin.

2.5.1. Electrónica de Potencia

Pese a que los procesos de conversión y control de la energía eléctrica pueden ser realizados por la electrotecnia clásica, lo cierto es que cada vez más se está imponiendo la utilización de las soluciones aportadas por la electrónica de potencia. Esto se debe a que las ventajas aportadas por la electrónica superan con creces a los inconvenientes, los cuales, además, cada vez son menores debido al constante desarrollo de técnicas y componentes en el campo de los semiconductores.

Las ventajas en el uso de los semiconductores son las siguientes:

- Se tienen mejores características eléctricas, como son la rapidez, menor disipación de potencia, etcétera
- Mayor fiabilidad y duración
- Carencia casi total de mantenimiento por no tener partes móviles
- Ausencia de vibraciones y ruidos molestos

³¹ Toyota Prius, Disponible en World Wide Web: <http://www.toyota.com>

- No hay arco eléctrico, evitándose así inconvenientes tales como el desgaste de contactos, generación de ruido electromagnético, etcétera

Entre sus desventajas podemos encontrar:

- Algunos de los dispositivos tienen un alto costo, pero debido a los avances tecnológicos aplicados a los semiconductores, éstos están siendo disminuidos, aunque estos dispositivos son utilizados en la generación, transporte y distribución de energía eléctrica que no es el fin que se persigue en este trabajo

2.5.2. Estructura básica de los sistemas electrónicos de potencia

Todos los sistemas electrónicos de potencia presentan una estructura básica similar formada por tres bloques: el circuito de potencia, el circuito de disparo y bloqueo y el circuito de control tal como se muestra en la figura 2.5.

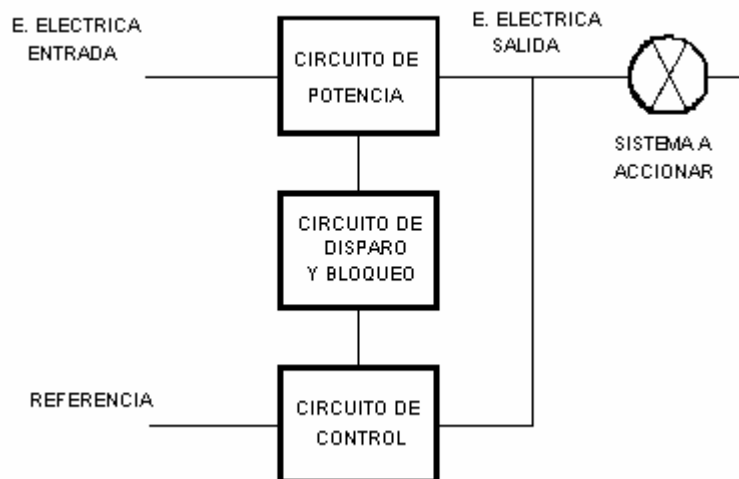


Figura 2.5. Estructura básica de un sistema electrónico de potencia.

El circuito de potencia comprende los dispositivos semiconductores de potencia agrupados, formando las diferentes topologías correspondientes a cada tipo de convertidor. Estos son los encargados de actuar sobre la energía eléctrica presente a la entrada del sistema para convertirla en la forma deseada, disponible en la salida.

El circuito de control se encarga de controlar el proceso de conversión de la energía. Esto se realiza comparando la salida del sistema con la salida deseada y, a partir del resultado, generar las señales necesarias para disparar y bloquear los semiconductores de forma adecuada.

Los circuitos de disparo y bloqueo se encargan de dar a las señales provenientes de los circuitos de control los niveles de tensión y corriente adecuados, además de proporcionar el aislamiento galvánico necesario entre la etapa de potencia y la de control.

2.5.3. Circuitos electrónicos para el control de motores y la conversión de energía

El control de motores depende del tipo de corriente de alimentación que se esté utilizando y la fuente de alimentación. A continuación se explican los convertidores utilizados para este fin, debido a que se ha extendido el uso de motores síncronos en los vehículos híbridos, abordaremos con mayor detalle los inversores, que son convertidores de corriente directa en corriente alterna de frecuencia variable. No obstante se mencionarán otros dispositivos encargados de controlar la velocidad de motores de inducción (reguladores de corriente alterna) y motores de corriente continua (choppers).

2.5.3.1. Reguladores de corriente alterna

Son dispositivos que convierten la tensión alterna de una determinada frecuencia y amplitud en una tensión alterna de amplitud variable y de la misma frecuencia, es utilizada para el control de velocidad de motores de inducción.

Los reguladores de corriente alterna utilizan como elementos de conmutación triac's para aplicaciones de pequeña y mediana potencia, y tiristores para aplicaciones de potencias elevadas.

2.5.3.2. Inversores

Los inversores son convertidores de corriente directa en corriente alterna de magnitud y frecuencia variables, son utilizados como controladores de velocidad de motores.

En la figura 2.6 se muestra el inversor de un motor de corriente alterna conectado a una fuente de corriente continua, en este caso baterías. Este dispositivo tiene la característica de que el flujo de potencia es reversible, esto es, que en caso de que el motor funcionara como generador, se puede realizar la recarga de las baterías.

Para disminuir la velocidad del motor, se recupera la energía cinética asociada con la inercia del motor, esto por medio de los frenos regenerativos, funcionando el inversor como rectificador.

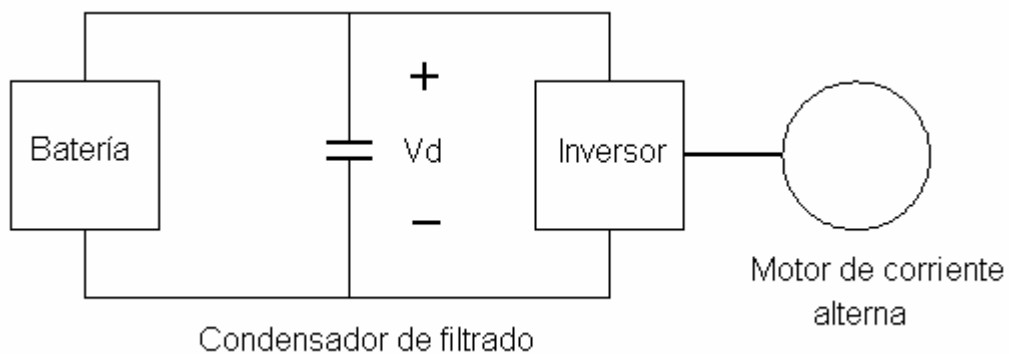


Figura 2.6. Inversor conectado a un motor de corriente alterna.

Existen dos tipos de convertidores, los inversores de fuente de tensión y los inversores de fuente de corriente. Estos últimos son utilizados en el control de motores de corriente alterna de muy alta potencia, aunque sólo se estudiarán los primeros.

Los inversores de fuente de tensión pueden dividirse en tres categorías generales:

- i. Inversores modulados por ancho de pulso. En estos inversores, la tensión de entrada es prácticamente constante en magnitud, el inversor debe controlar la magnitud y frecuencia de las tensiones de salida alternas. Esto se consigue por modulación en anchura (PWM³²) de los impulsos de disparo de los interruptores del inversor. Por ello, estos inversores son llamados inversores PWM. Existen varios esquemas para modular en anchura los pulsos de los interruptores del inversor para ajustar la tensión de salida alterna, de forma que sean lo más parecidas posible a una onda sinusoidal.
- ii. Inversores de onda cuadrada. En estos inversores, la tensión de entrada continua es variada para controlar la magnitud del voltaje de salida, y por lo tanto el inversor tiene que controlar sólo la frecuencia de salida. La salida tiene la forma de una onda similar a una onda cuadrada, de ahí que sean conocidos de esta manera.
- iii. Inversores de una fase con cancelación de tensión. En este caso pueden ser controlados en su magnitud y frecuencia, incluso a pesar de que la entrada al inversor es una tensión continua constante y los interruptores del inversor no son controlados por PWM (y por lo tanto la salida tiene forma de onda cuadrada). De esta forma, estos inversores combinan las características de los dos anteriores. Sin embargo, esta técnica sólo funciona con inversores de una fase y no con inversores trifásicos.

2.5.3.3. Troceadores o choppers

Los choppers convierten una tensión de corriente continua en otra de amplitud variable, es usado principalmente para el control de motores de corriente continua, en el caso de ser alimentados por baterías, la tensión no es regulada y por lo tanto fluctuará debido a los cambios existentes en la misma. Estos convertidores son utilizados para convertir la entrada no regulada en una salida continua controlada de un nivel de tensión deseado.

³² Pulse Width Multiple.

Como se puede observar en este capítulo, la tecnología del vehículo híbrido—eléctrico, reúne dos sistemas, con un pasado muy importante, que al ser aplicados actualmente y en forma conjunta, se aprovecha una mayor eficiencia energética.

Como resultado, encontramos en la actualidad varios vehículos híbridos, que cada compañía automotriz ha lanzado o tiene planeado hacerlo. Así podemos encontrar por ejemplo al Prius de Toyota, al Insigh de Honda, que son vehículos comercializados en Estados Unidos desde 1999 y Japón desde 1997, o el Almera Tino de Nissan y el Escape de Ford.

Capítulo 3. Experiencias en el Desarrollo de la Tecnología Vehicular Híbrida

Es de suma importancia conocer lo que se está haciendo a nivel internacional concerniente a la tecnología de los vehículos alternos y la disminución de la contaminación ambiental. En este capítulo se aborda con mayor detalle los esfuerzos de las compañías automotrices y de los gobiernos por mejorar la eficiencia de nuestras tecnologías de transporte y hacerlas menos agresivas con el ambiente.

3.1. Experiencias Internacionales

Debido principalmente a las legislaciones cada vez más estrictas en lo que se refiere a contaminación ambiental, los fabricantes de automóviles se han visto en la necesidad de explorar nuevas y mejores alternativas. A continuación se describen vehículos experimentales, prototipos y comerciales desarrollados en un nivel internacional.

3.1.1. Vehículos Híbrido—Eléctricos experimentales³³

- Experiencia de 5 autobuses híbridos en *Aalborg*

En enero de 1997 comenzó la implementación del proyecto con la puesta en servicio de 5 autobuses híbridos con configuración en serie de 12 metros.

Contaban con dos motores eléctricos de corriente alterna, cada uno de 75 kW; del tipo motor—generador. Motor de combustión interna tipo petrolero Saab, 2,0 litros acoplado a un generador de corriente continua; 10 baterías de Ni-Cd, colocadas en el techo del autobús, con un voltaje total de 400 V; además se contaba con un inversor para transformar los 400 V de corriente continua a corriente alterna trifásica.

³³ Ver referencia: Mauricio Osses. Vehículos Híbridos.

Con este proyecto se logró una reducción importante respecto del estándar EURO II para autobuses diesel y un pequeño incremento del consumo energético. Su principal característica fue que en zonas urbanas se condujeron en un régimen de cero emisiones.

- Servicio de Autobuses híbridos en Nueva Zelanda

Este proyecto comenzó operaciones en diciembre de 1998, con autobuses modelo *Shuttle*. Es una versión de 20 asientos del Híbrido—Eléctrico del Olympus construido en *Ashburton*, Australia.

Los autobuses son del tipo híbrido en serie; cuenta con 54 baterías de *solid gel*, enfriadas por agua; también con un motor—generador, además de un motor diesel europeo de bajas emisiones que gira a velocidad constante.

Su manejo fue similar al autobús diesel de ciudad, pero al estar en estado estacionario en tráfico pesado, no se utilizaba energía con lo que se lograba no tener emisiones.

- Venta de 5 autobuses híbridos de Nova BUS Corporation a New York Transit Authority en 1999

Esta tecnología es la culminación de 5 años de desarrollo, significando la primera venta para Nova BUS Corporation.

Los autobuses utilizan un motor diesel de 160 HP para generar electricidad que es almacenada en baterías. El sistema es híbrido en paralelo, de forma que al necesitar una intensa aceleración, tanto el grupo de baterías como el motor de combustión interna, proveen la energía suficiente. Esto permite tener un motor de 160 HP en vez de uno estándar de 250 HP.

La compañía pertenece al grupo Volvo Bus Group de Suecia y al grupo Henlys Group de Gran Bretaña.

- Magnet Motor, GmbH, de Alemania

Utiliza un motor diesel de un tercio del tamaño de uno normal, ocupando un volante para soportar condiciones de aceleración. Entró en operación en la ciudad de Munich.

- Audi Duo

Este vehículo funciona a base de un propulsor turbodiesel de 90 HP, (que puede funcionar también con combustible vegetal para carretera) y un motor eléctrico acoplado directamente al cambio manual de cinco marchas para ciudad.

- Citroën Xsara DYNalto

Este vehículo cuenta con un sistema llamado DYNalto, el cual integra un alternador y al arranque hace que el motor de gasolina de 90 HP se desconecte si el automóvil no está en movimiento. Al acelerar de nuevo, arranca gracias a un pequeño motor eléctrico, logrando que el motor de combustión no funcione en el período en que se tiene menores prestaciones: el arranque y cuando el auto se encuentra detenido.

- GM Impact

Nació como EV1, y era totalmente eléctrico, pero fracasó. De ahí que fuera convertido en un híbrido cuyo propulsor de combustión recibe la ayuda de un pequeño motor eléctrico.

- Mitsubishi Suw Advance

Utiliza un sistema parecido al DYNalto de Citroën, es decir, un conjunto formado por un motor eléctrico, un alternador y un arranque, junto a un propulsor de inyección directa de gasolina de 1,5 litros y 105 HP.

- Pininfarina Metrocubo

Este curioso prototipo mostrado en Francfort tiene un motor de combustión situado en la parte delantera que genera energía para recargar las baterías. Éstas mueven otro motor eléctrico, ubicado en el centro del chasis.

- Volvo ECC

Un motor eléctrico unido a una turbina que funciona con combustible líquido o gaseoso que hace que funcione. La turbina carga las baterías, no transmite potencia al suelo. Ésta llega por vía de la electricidad.

3.1.2. Vehículos Híbrido—Eléctricos prototipo

- Toyota Lexus RX400h.

El Lexus RX400h, una camioneta deportiva que se basa en la tecnología híbrida de segunda generación de Toyota, tendrá un mejor rendimiento de combustible que el sedán compacto promedio y una potencia máxima casi 20% superior a la camioneta deportiva RX2300 no híbrida.



Figura 3.1. Lexus RX400h

Cuenta con un motor convencional de gasolina de 3,3 litros y seis cilindros en V y dos eléctricos, es capaz de recorrer 1.000 kilómetros con 65 litros de

combustible, la potencia combinada de los tres motores alcanza los 270 HP, y está capacitado para alcanzar los 100 km/h en ocho segundos, según la medición ofrecida por la marca.

- Toyota Volta

El prototipo deportivo Volta, es un vehículo para tres personas y tracción en las cuatro ruedas, propulsión híbrida, potencia de 408 HP y controles electrónicos por cable. El diseño de carrocería fue a cargo de *Italdesign* y está construida con fibra de carbono.



Figura 3.2. Toyota Volta

Alcanza los 250 kilómetros por hora y una aceleración de 0 a 100 km/h en cuatro segundos, consume 7 litros de gasolina cada 100 kilómetros. Cuenta con un motor de gasolina de seis cilindros en V con 3,3 litros de cilindrada y dos eléctricos, uno en cada eje. Emplea la tecnología *by-wire*, de manera que tanto el volante como los pedales pueden colocarse delante de cualquiera de los asientos.

- Hyundai Portico

Este prototipo de la marca coreana Hyundai, está equipado con un nuevo motor, el Lambda V6 de 3,3 litros, construido completamente en aluminio para mayor ligereza del vehículo, con una potencia máxima aproximada de 237 HP.



Figura 3.3. Hyundai Portico

El prototipo cuenta además con dos motores eléctricos, uno delantero y otro trasero, que entregan sendas potencias de 136 y 83 HP sobre sus respectivos ejes.

- Grand Sports Tourer

Para su propulsión se utiliza un motor diesel de ocho cilindros procedente de la Clase S y otro eléctrico, que permiten pasar de 0 a 100 kilómetros por hora en 6,6 segundos. La velocidad máxima está limitada electrónicamente a 250 km/h. La potencia del motor de gasóleo es de 250 HP y la de generador eléctrico, de 68, en suma 318 HP, suficientes para alcanzar grandes prestaciones y flexibilidad.



Figura 3.4. Grand Sports Tourer

La ayuda eléctrica reduce considerablemente el consumo de combustible en la ciudad, a baja velocidad, o en maniobras. Según Mercedes-Benz, el Grand Sports Tourer sólo gastaría poco más de 7,5 litros de gasóleo cada 100 kilómetros

- Renault Espace Vert

Este Vehículo Eléctrico Rutero a Turbina (VERT) tiene propulsión eléctrica, dos motores, que actúan sobre las ruedas delanteras, unidos en serie a un turboalternador que transmite energía y recarga las baterías.



Figura 3.5. Renault Espace Vert

La turbina, puede ser movida por todo tipo de combustible (gasolina, gasóleo, gas licuado, etcétera), unida a un alternador que le suministra la potencia necesaria desde las unidades eléctricas. La combinación permite que se tenga una autonomía en carretera de 500 kilómetros.

3.1.3. Vehículos Híbrido—Eléctricos comerciales

En esta parte se mencionan sólo los vehículos que actualmente se comercializan en mayor cantidad.

3.1.3.1. Ford Escape Hybrid

El Ford Escape Hybrid, es el primer vehículo que combina la capacidad de un todo terreno con el ahorro de combustible y el bajo impacto en el medio ambiente de un vehículo totalmente híbrido.

Este vehículo para cinco personas cuenta con un paquete de baterías de níquel (NiMH) que generan 330 volts, éstas suministran energía a un motor eléctrico de 93 HP, cuenta además con un generador y frenos regenerativos para recargar las baterías. La transmisión es continuamente variable controlada electrónicamente

El motor de combustión es del tipo doble árbol de levas, 16 válvulas, cuatro cilindros y un ciclo de combustión Atkinson.



Figura 3.6. Ford Escape Hybrid

Este motor genera 133 HP a 6.000 revoluciones y 129 lb/pie (1.882,61 N/m) de torsión a 4.500 revoluciones. Si se combina la potencia de ambos motores, el de gasolina y el de tracción eléctrica, se logran obtener 155 HP.

Siete módulos de control diferentes basados en un microprocesador administran las funciones del tren motriz del Escape Hybrid. La herramienta maestra es el Sistema de Control Vehicular (VSC) dentro del Módulo de control del tren motriz.

El Sistema de Control Vehicular ayuda a controlar las funciones de carga, de asistencia de conducción y de encendido del motor. Apaga el motor de

combustión cuando éste no se necesita (cuando el automóvil se encuentra detenido o en conducción a baja velocidad, para ahorrar combustible).

Ford espera que su vehículo supere las 35 millas por galón (unos 14,88 km/l) en el manejo en la ciudad. Cuenta con un tanque de combustible de 15 galones (aproximadamente 56,78 litros) y una autonomía de más de 400 millas (poco menos de 644 km).

3.1.3.2. Toyota Prius

Diseñado en el centro *Calty Design Research Inc.* que Toyota posee en California. El Prius permite desplazar a cinco personas con prestaciones comparables a las de automóviles convencionales de potencia similar (160 km/h de velocidad máxima y 13,4 segundos para pasar de 0 a 100 km/h), un consumo medio de 5,1 litros por cada 100 km y unas emisiones muy bajas que le permiten cumplir con la norma europea Euro 4 y encuadrarse en la categoría *SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle)* promulgada por el estado de California con la sola ayuda de un catalizador de tres vías. El gobierno de ambos motores resulta totalmente automático, lo mismo que la transmisión, de modo que el Prius requiere un manejo idéntico al de cualquier automóvil clásico con cambio automático.

Uno de los objetivos de Toyota ha sido que Prius compita en el mercado con los vehículos convencionales de su categoría. Mayores detalles acerca del Toyota Prius de primera generación se verán en el capítulo siguiente.

3.1.3.3. Segunda generación (Toyota Prius)

A seis años del lanzamiento de la primera generación del Prius (2003), Toyota lanza al mercado la segunda generación de este vehículo híbrido.

El motor de gasolina es un cuatro cilindros en línea de 1.497 centímetros cúbicos que posee una potencia máxima de 77 HP a 5.000 revoluciones y un par máximo de 115 N•m a 4.000 revoluciones. Este motor es, por tanto cinco

HP más potente que el Prius desarrollado en 1997. Por el contrario el par máximo es similar al de la versión anterior. Estas mejoras se han logrado tras introducir, entre otras modificaciones técnicas, cambios en la cámara de combustión, en los pistones y el régimen de giro del motor.

El motor eléctrico, cuenta con una potencia máxima de 50 kilowatts (68 HP) en un régimen muy bajo de revoluciones, entre las 1.200 y las 1.540 revoluciones, lo que supone multiplicar por 1,5 la potencia de la versión de anterior. El par máximo es alrededor de 400 N•m, desde el motor parado y hasta las 1.200 revoluciones.



Figura 3.7. Toyota Prius

Si estas especificaciones se unen se obtiene entonces la potencia máxima de unos 110 HP a más de 85 kilómetros por hora. El par máximo combinado aproximado es también muy elevado con una cifra de 478 N•m a menos de 35 kilómetros por hora.

Con todo ello, los consumos de combustible anunciados por Toyota son de 4,3 litros a los 100 kilómetros en ciclo combinado, 4,2 litros cada 100 kilómetros en carretera y 5 litros cada 100 kilómetros en ciudad.

Otras mejoras realizadas es que la batería ahora es 14% más ligera. Asimismo, el nuevo Prius incorpora una tecnología que permite que cada vez que se frena, el motor eléctrico genera electricidad que recarga continuamente la batería.

El diseño exterior, la aerodinámica y el habitáculo son aspectos que Toyota ha mejorado con respecto a la versión anterior. En lo que se refiere al primer apartado, a pesar de que se mantienen características del modelo anterior, el diseño del vehículo ha sido mejorado en todos los sentidos. Así, la parte delantera del vehículo adquiere nuevos grupos ópticos, una rejilla rediseñada, nuevos faldones y un capó (cubierta del motor del automóvil) al que se le han eliminado todas las formas angulosas. La defensa es la parte del vehículo que más cambia ya que adquiere una carrocería similar a la de una berlina con portón, en lugar de la configuración de cuatro puertas como el primer Prius.

En cuanto a la aerodinámica se refiere, se ha trabajado profundamente en este aspecto empleando túneles de viento para lograr una buena aerodinámica, un aspecto fundamental a la hora de reducir el consumo de combustible y al mismo tiempo mejorar el rendimiento. En este sentido, el nuevo Prius incorpora también un alerón en el portón trasero que mejora el rendimiento aerodinámico y se ha añadido bajo el parachoques trasero un extractor de aire, para regular el aire que circula detrás de los neumáticos traseros.

En lo que se refiere a sus dimensiones, el nuevo Prius es más grande en todos los aspectos. Su longitud alcanza los 4.450 milímetros (13,5 centímetros más que su predecesor), la distancia entre ejes también ha aumentado hasta los 2.700 milímetros (15 centímetros mayor). La anchura se ha incrementado también en tres centímetros para alcanzar los 1.725 milímetros, mientras que la altura es ahora de 1.490 milímetros, 1,5 centímetros mayor. Se ha incrementado los voladizos, tanto el trasero como el delantero. Por otra parte, el peso del vehículo asciende hasta los 1.300 kilos (35 kilos más) y la capacidad del maletero es de 408 litros (18 litros mayor).

Toyota ha apostado fuerte en este apartado. La segunda generación del Prius incorpora entre otros elementos: sistema antibloqueo de frenos ABS y ayuda de frenado, controles de tracción y estabilidad, control de asistencia en pendientes, bolsas de aire delanteras con dos etapas de inflado, bolsas de aire laterales y de cortinilla, cinturones de seguridad con pretensores y limitadores de fuerza, sistema de corte de emergencia del circuito eléctrico.

En cuanto al confort, el nuevo Prius incorpora un sistema de acceso y arranque inteligente que permite al vehículo reconocer la presencia de la llave y bloquear y desbloquear las puertas o arrancar sin necesidad de utilizar la llave. Otro de los sistemas que ha sufrido modificaciones es el del aire acondicionado, que ahora es generado de forma eléctrica y se acciona sin ser dependiente del motor, logrando un funcionamiento confortable sin aumentar el consumo de combustible. También es nueva, una pantalla multifunción de cristal líquido de siete pulgadas sensible al tacto. El sonido también ha mejorado con un sintonizador y reproductor de discos compactos con cargador de seis discos compactos.

3.1.3.4. Honda Insight

El Honda Insight, es el segundo automóvil híbrido fabricado en gran serie. Lanzado en 1999 cuenta con una configuración paralela simplificada. Cuenta con una longitud ligeramente inferior a cuatro metros, completamente construido en aluminio. Gracias a ello, su peso no supera los 850 kg, lo que permite obtener unas notables prestaciones de un motor, también de aluminio, de tres cilindros 68 HP a 5.700 rpm, que dispone de cuatro válvulas por cilindro accionadas por una distribución variable VTEC. Con un peso de tan sólo 56 kg, el motor de gasolina está acompañado por un motor—generador eléctrico de reducido tamaño de 10 kW de potencia, alimentado por un conjunto de baterías de NiMH de 144 volts, el cual asiste dándole una potencia extra cuando se acelera el automóvil o sube una pendiente pronunciada.



Figura 3.8. Honda Insight

Al mismo tiempo el motor eléctrico que actúa como generador en el frenado (por medio del sistema de frenos regenerativos), almacenando la energía en las baterías.

El dos puertas Honda Insight consume 3,7 litros de gasolina por cada 98 kilómetros realizados en ciudad y por 109 kilómetros en carretera.

Su bajo consumo permite además unos niveles de emisiones contaminantes muy bajos. Con la ayuda de un catalizador de NO_x , el Insight se encuadra en el nivel *ULEV (Ultra Low Emission Vehicle)* de la legislación californiana.

3.1.3.5. Nissan Tino

Esta es una versión híbrida del Almera Tino de Nissan, comparado con el vehículo estándar de motor de combustión de su misma clase. El Tino híbrido mejora la economía del combustible por más del doble, mientras recorta la emisión de dióxido de carbono (CO_2) en más de 50%.

El Tino híbrido adopta el sistema *NEO HYBRID*, un sistema altamente eficiente, el cual selectivamente usa un motor de combustión y un motor de tracción eléctrica para máxima eficiencia. Además de poseer el llamado *HYPER CVT*,

un sistema de transmisión continuamente variable, con lo que se obtiene una poderosa aceleración uniforme.

El vehículo es impulsado por el motor eléctrico sólo bajo condiciones donde la operación del motor de combustión es ineficiente, tal como cuando se arranca o viaja a velocidad baja, y éste sólo se usa en intermedia o alta velocidad. Bajo ciertas condiciones de operación, cómo en una aceleración rápida, el motor eléctrico suministra potencia de asistencia al motor de combustión. Adicionalmente, el motor regenera la electricidad durante la desaceleración o el frenado con lo que se recarga las baterías. El motor de combustión es apagado automáticamente cuando el vehículo está estacionario.



Figura 3.9. Nissan Tino

El Tino híbrido usa unas compactas y ligeras baterías de litio-ión especialmente diseñadas para la aplicación a los vehículos híbridos.

El uso de esta batería reduce substancialmente el peso del paquete de baterías, asimismo, posicionando el paquete de baterías debajo del piso, cerca del centro de gravedad del vehículo es posible lograr el mismo interior

espacioso, gran manejo y estabilidad igual al modelo en que se basa, el Almera Tino.

Un display multifunción es provisto vía un monitor de cristal líquido de 5,8 pulgadas (14,7 cm), el cual facilita al conductor saber, de un vistazo, las condiciones de operación de ambos motores.

Las características de los motores del Tino son: motor de gasolina de 1,8 litros y 74 HP, motor eléctrico síncrono de 17 kW.

3.1.3.6. Chrysler Citadel

La firma iniciará la comercialización de su primer vehículo híbrido en el año 2006.

El vehículo híbrido de la firma estadounidense, se integrará en el segmento de turismos de gama baja y media y formará parte de una nueva gama de modelos que sustituirán al Neon y al Stratus.

Chrysler utilizará tecnología de Mercedes, filial del grupo germano—estadounidense Daimler—Chrysler.



Figura 3.10. Chrysler Citadel

El motor de gasolina es un V-6 de 3,5 litros de capacidad y 253 HP, que mueven las ruedas traseras del vehículo, mientras que las llantas delanteras son impulsadas gracias a un motor eléctrico Siemens de 70 HP.

El Citadel cuenta con un sistema de regeneración de energía que normalmente se pierde cuando se frena (sistema de frenado regenerativo), utiliza una configuración paralela convencional.

Las dimensiones del Citadel son: distancia entre ejes de 3,175 m, largo de 4,8768 m, ancho de 1,651 m, altura de 1,5 aproximadamente.

3.1.3.7. Renault Next

Coche híbrido con un motor térmico y dos eléctricos. Hasta los 40 km/h sólo intervienen los últimos; a una mayor velocidad actúa el térmico que, además, recarga las baterías.



Figura 3.11. Renault Next

En caso de necesitar mayor potencia, los motores eléctricos ayudan al térmico, acciones que son controladas por un sistema informático llamado 'supervisor'. Alcanza una velocidad máxima de 167 km/h.

La aplicación de regulaciones y normas cada vez más exigentes en lo que respecta a las emisiones de los vehículos automotores, ha favorecido que la

industria automotriz en todo el mundo desarrolle autos alternativos, tal es el caso de los Vehículos Híbrido—Eléctricos.

La industria ha recorrido ya las etapas de experimentación y creación de prototipos; actualmente se ofrecen en el mercado varios modelos de línea que tienen costos similares, en la mayoría de los casos, a los convencionales. En este capítulo se puede constatar la variedad de la oferta, a pesar de que no se incluye toda la gama de los Vehículos Híbrido—Eléctricos que actualmente existen.

En el siguiente capítulo se dará a conocer las actividades que en nuestro país se han realizado por parte del gobierno y la industria automotriz.

Capítulo 4. Experiencias en México Sobre el Uso del Vehículo Híbrido—Eléctrico

En el ámbito nacional se han desarrollado políticas concernientes a los vehículos alternos, así como también de combustibles menos agresivos con el ambiente, que si bien no todos son vehículos híbridos, muestran los esfuerzos por incentivar una mejoría en la calidad de los carburantes y un esfuerzo por disminuir la elevada demanda de energéticos derivados del petróleo; además se han realizado seminarios concernientes a la utilización e introducción de vehículos alternos, el uso de combustibles de origen vegetal y tecnologías de reciente desarrollo. A continuación se mencionaran algunos de estos programas y se revisarán las conclusiones tomadas de los seminarios mencionados.

4.1. Políticas Gubernamentales Relacionadas a los Vehículos Alternos

En esta sección se denotarán las políticas relacionadas con la utilización de nuevas tecnologías por parte de órganos gubernamentales.

4.1.1. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, CONAE

La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía es la encargada de coordinar las actividades relevantes sobre el ahorro de combustibles del transporte en México, de las cuales, las más importantes son:

- La mejora en el rendimiento de combustible a través de cambios tecnológicos en los nuevos vehículos, especialmente los ligeros. Estos cambios sucederán con las mejoras en las tecnologías convencionales, pero también debido a la implementación de nuevos sistemas de propulsión basados en tecnologías avanzadas (Vehículo Híbrido—Eléctrico, celdas de combustible, etc.). Se incorporarán medidas para promover las tecnologías más eficientes, como son, inducir al consumidor a decisiones sobre compra de vehículos, basadas en eficiencia energética, incentivos en precios de vehículos y combustibles, impuestos, etcétera

- La mejora en la eficiencia sobre el desplazamiento del vehículo, que incluye el mantenimiento, el entrenamiento de los conductores, las tecnologías abordo para el manejo, la regulación de los límites de velocidad, la capacidad vial y el flujo vehicular, y programas de renovación vehicular
- La reducción de viajes de vehículos ligeros a través del mejoramiento de sistemas de tránsito, de mecanismos de cobro por viaje, de medidas relacionadas al estacionamiento o parqueo de los vehículos, al pago de impuestos directos durante la carga de combustible en las estaciones de servicio, etcétera
- El uso de combustibles alternos será muy relevante para la disminución del uso de combustible, como son, el gas natural licuado y comprimido, el metanol, el etanol, el hidrógeno, el dimeti-éter (a partir de gas natural), gasolina y diesel a partir de la síntesis y compuestos simples (por ejemplo, Gas natural)
- Para el caso del movimiento de carga en superficie y carreteras, se considera el uso de combustibles alternos y la mejora en la eficiencia de los camiones y tractocamiones (motor, aerodinámica, llantas, etcétera), así como en los sistemas de operación (mantenimiento, conducción, logística de viajes, etcétera) de las flotas. Particularmente importante, se efectuará paulatinamente la transferencia de carga del vehículo automotor (tractocamión y camión) al ferrocarril y a través de transporte fluvial

La CONAE considera que el fomento del uso eficiente del combustible en el automóvil permitirá a los automovilistas mejorar la operación y mantenimiento de sus unidades. La selección adecuada de un automóvil está también directamente relacionada con el consumo de combustible y emisiones contaminantes.

Además promueve el desarrollo de talleres y cursos enfocados a la conducción técnico—económica y al mismo tiempo busca que sea requisito para expedición de licencia de conducir, aprobar este tipo de cursos.

CONAE tiene un convenio con la industria automotriz a través del cual se desarrollo la guía anual de economía de combustible y otras informaciones necesarias para promover una cultura entre los automovilistas, que les permita realizar una selección vehicular desde un punto de vista energético y así mejorar su economía familiar.

Dentro de sus atribuciones ha estado analizando y discutiendo, tecnologías más eficientes energéticamente, por lo cual ha desarrollado seminarios internacionales sobre etanol, gas natural, gas L.P., celdas de combustible y Vehículo Híbrido—Eléctrico, entre otros.

4.1.2. Secretaría de Energía, SENER

La función principal de la Secretaría de Energía es la de conducir la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, para garantizar el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos que requiere el desarrollo de la vida nacional.

Entre sus visiones se encuentra el impulso al uso eficiente de la energía y a la investigación y desarrollo tecnológicos. Para la realización de dichas funciones, la SENER ha puesto en marcha el programa de investigación y desarrollo tecnológico del sector energía 2002-2006. En el presente trabajo sólo nos enfocaremos a las actividades relacionadas con el transporte.

El objetivo medular del programa de investigación y desarrollo tecnológico del sector energía es contribuir a implantar una cultura y un sistema de innovación en empresas e institutos del sector, incluyendo la generación y aplicación del conocimiento y la formación de recursos humanos especializados.

La investigación en combustibles, se realiza con la clara intención de resolver problemas específicos de corrosión o de emisiones contaminantes.

Se tiene muy en claro que el contexto para hacer investigación y desarrollo de tecnologías en el marco de un desarrollo industrial del sector debe estar orientado a las prioridades que tiene el Programa Nacional de Desarrollo.

En términos globales, el consumo de hidrocarburos produce efectos ambientales locales, regionales y mundiales, que se podrán minimizar con mejores tecnologías. Estos combustibles son cada vez más limpios debido a la aplicación de tecnologías más apropiadas que obedecen a que las regulaciones ambientales son más estrictas,

regulaciones que tienen el propósito de prevenir, controlar y remediar la contaminación y que se basan en políticas nacionales o internacionales.

Para dentro de 23 años, una tendencia importante será la mayor atención a las medidas de ahorro de energía y a la administración de la demanda energética, tanto en el transporte y en la industria como en las construcciones.

Algunas tecnologías en desarrollo que pudieran penetrar comercialmente el sistema energético en los próximos 23 años y que podrían tener un impacto significativo en la industria automotriz, cuyo producto es el principal consumidor de petrolíferos, está impulsando recientemente nuevas tecnologías (sistemas híbridos y celdas de combustible) para mejorar sustancialmente el rendimiento de los vehículos y hacer este sistema de transporte más sustentable.

La prospectiva para el año 2006, en el caso del transporte, se iniciará el uso de vehículos de combustión interna de alto rendimiento (por ejemplo, 25 km/litro o más) y posiblemente el uso de combustible emulsificados en vehículos con motores diesel, con lo que se lograrán mejores eficiencias y menores emisiones contaminantes.

En cuanto a sistemas ambientales, se verán los esfuerzos por continuar en la ruta de reducir la contaminación generada con vehículos en zonas urbanas y la introducción de nuevas tecnologías para reducir el nivel de emisiones contaminantes.

4.1.3. Instituto Nacional de Ecología, INE

La misión del INE es la generación de información científica y técnica sobre problemas ambientales y la capacitación de recursos humanos, para informar a la sociedad, apoyar la toma de decisiones, impulsar la protección ambiental, promover el uso sustentable de los recursos naturales, y apoyar a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales en el cumplimiento de sus objetivos.

El INE es un organismo público líder en la investigación ambiental aplicada, que desarrolla y promueve proyectos de cooperación científica que contribuyen efectivamente a resolver los

grandes problemas ambientales de México, y que apoyan la conservación y restauración del medio ambiente en todo el país.

En materia de transporte el INE se concentra en gran medida en las medidas adoptadas para la disminución de emisiones contaminantes de los vehículos. La contaminación del aire es uno de los costos de la creciente industrialización y del desarrollo económico.

Los programas para restaurar la calidad del aire se basan en el conocimiento científico mediante estaciones de monitoreo, inventarios de fuentes de emisión, modelos matemáticos de simulación del comportamiento y transporte de los contaminantes en el aire y del desarrollo de tecnologías para la prevención y el control de las emisiones directamente en las industrias y vehículos. Para ello, se están realizando estudios de investigación aplicada para apoyar las políticas sectoriales que reviertan y prevengan la contaminación del aire, que desarrollen instrumentos normativos sustentados en aspectos científicos y que suministren información sobre herramientas de evaluación y seguimiento apropiadas a la sociedad mexicana.

El problema de la calidad del aire ha generado la instrumentación de políticas y mecanismos de gestión que permitan la regulación de las emisiones tanto de fuentes móviles como de fuentes fijas.

Parte de las estrategias del INE es el obtener procedimientos de prueba representativos que permitan realizar verificaciones, no sólo más estrictas, es decir, más reales de acuerdo con las características tecnológicas de la flota vehicular del país. Al realizar pruebas de verificación más representativas se tienen los siguientes beneficios: disminución de los contaminantes emitidos al ambiente, contribuyendo de manera directa a la mejora en la salud y bienestar de los habitantes. Incentivar la introducción de tecnologías y combustibles menos contaminantes. Fomentar la renovación vehicular e induce al mantenimiento frecuente. Fortalecer la cultura ambiental y la adopción de responsabilidades, respecto al uso del vehículo.

Para el desarrollo de los inventarios de emisiones se requiere de información que considere la actividad urbana, industrial y de transportación, así como del consumo de energéticos.

Parte de los proyectos realizados en el área es el estudio e investigación de límites máximos permisibles, para su inclusión en el proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-041-ECOL-2002. Estudio e investigación del procedimiento de prueba y características del equipo a utilizarse en la verificación vehicular a nivel federal, para su inclusión en el proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-047-ECOL-2002 . Elaboración del Manual Técnico de Verificación, considerando como plataforma las especificaciones del Buró Americano de Reparaciones de Estados Unidos (BAR), realizando las adecuaciones necesarias, considerando aspectos técnicos y sociales que se presentan en el país.

4.2. Seminario Internacional Vehículos Híbridos Eléctricos y No Convencionales

Las restricciones que implican las normas ambientales de varios países para la fabricación y uso de vehículos automotores han venido impulsando el desarrollo de tecnologías alternas, que van desde la utilización de gas natural comprimido hasta las celdas de combustible.

Los Vehículos Híbrido—Eléctricos representan una opción, a corto plazo, para el uso más eficiente de la energía, debido a que éstos fusionan las tecnologías de combustión interna y la eléctrica, ofreciendo la posibilidad de contar con mínimas emisiones contaminantes.

En la actualidad se cuenta con vehículos híbridos que no pierden prestaciones respecto de los vehículos convencionales actuales y ello puede ser logrado sin un incremento considerable en el precio de venta del vehículo.

Los Vehículos Híbridos—Eléctricos y no convencionales serán seguramente los que sustituyan en un futuro cercano a los vehículos tradicionales de motor de combustión interna, ya que tienen una posición de cara a una tecnología eficiente y limpia.

El objetivo del seminario fue el reunir a los agentes involucrados en la promoción y desarrollo de Vehículos Híbrido—Eléctricos y no convencionales a fin de conocer las experiencias, beneficios y su posible utilización en México

Estuvieron presentes expertos nacionales e internacionales, representantes de empresas fabricantes de vehículos, equipos, técnicos especialistas y funcionarios públicos.

El seminario estuvo organizado por la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), el cual es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, cuyo objetivo es fungir como órgano técnico de consulta de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, como también, cuando así lo soliciten, de los gobiernos de las entidades federativas, de los municipios y de los particulares, en materia de ahorro y uso eficiente de la energía y de aprovechamiento de energías renovables. El Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) que proporciona apoyo tecnológico y de investigación a Petróleos Mexicanos (PEMEX) para el desarrollo de procesos y productos químicos, petroquímicos y de refinación, así como equipos y sistemas para el desarrollo y expansión de la infraestructura industrial del país; y el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA) cuyo principal objetivo es servir de apoyo a los distintos sectores sociales para una mejor comprensión y aplicación útil del Derecho Ambiental en sus respectivas actividades, con una visión de desarrollo sustentable. Para obtener mayores detalles acerca de este seminarios consultar el anexo 1.

4.3. Seminario Internacional de Celdas de Combustible para el Transporte.

Las celdas de combustible surgen en el umbral del nuevo siglo como una prometedora tecnología, cuyas principales aplicaciones serán tanto en vehículos automotores como en la generación de energía eléctrica, brindando así la posibilidad de lograr una mejor aplicación de los recursos energéticos y enmendar la calidad del medio ambiente.

El objetivo del seminario fue dar a conocer la tecnología de celdas de combustible aplicada al transporte así como de las experiencias de países que están desarrollando esta tecnología como es el caso de Canadá, Estados Unidos, así como países de Europa y Asia.

Estuvo organizada por CONAE, IMP, CEMDA y la Sociedad Mexicana del Hidrógeno (SMH2) cuyo objetivo general es apoyar la investigación y desarrollo de esta fuente de energía limpia, así como el establecimiento de normas de seguridad para el uso del hidrógeno, además de servir de enlace entre la comunidad científica y los sectores gubernamentales y empresarial para la promoción y difusión de esta tecnología en los diversos sectores de la sociedad mexicana. Para consultar mayores detalles sobre este seminario consultar el anexo 2.

4.4. Toyota Prius: pruebas en México

Prius es el precursor de los modelos comerciales de automóviles híbridos, además de ser el primer automóvil híbrido certificado por el Servicio de Recaudación de Impuestos (IRS por sus siglas en inglés) como elegible para una deducción de impuestos de \$2 000 dólares debido a su eficiente funcionamiento en el control de emisiones contaminantes (El Prius está certificado como un vehículo de Súper Ultra Bajas Emisiones, *SULEV* por sus siglas en inglés).

El Toyota Prius tiene una configuración híbrida paralela, llamada *Toyota Hybrid System (THS)*. Este automóvil cuenta con una caja de velocidades inteligente (sistema planetario), que engancha el motor a gasolina, el generador y el motor eléctrico al mismo tiempo.

El motor eléctrico además de cumplir una labor de asistencia, es capaz de impulsar el automóvil aún cuando el motor de gasolina esté apagado, a diferencia de otros vehículos híbridos que utilizan el motor eléctrico únicamente para ayudar al motor de gasolina convencional.

El motor de combustión es de cuatro cilindros y 16 válvulas de ciclo Atkinson de 1,5 litros y 72 HP de potencia, conjuntamente con un motor eléctrico de 45 HP de potencia, alimentado por un conjunto de 38 baterías (que suman un total de 284 volts). Estas características permiten al vehículo que en determinadas ocasiones pueda circular con emisiones nulas (utilizando solamente el motor eléctrico), sin renunciar a las prestaciones y superior autonomía que el motor de gasolina le proporciona, con lo que se puede proveer de una alta potencia gracias a la suma de trabajo de ambos motores.

El Toyota Prius posee un menor nivel de emisiones con respecto a varios vehículos en el mercado, con el consecuente beneficio para el medio ambiente.

La principal fuente de poder del Prius es un motor de aluminio, que utiliza un sistema de válvulas de tiempo variable para maximizar su eficiencia. El motor eléctrico tiene un confiable diseño que no requiere mantenimiento porque sus componentes internos no se desgastan.

Para una mayor reducción de emisiones contaminantes, el Prius está equipado con un sistema de expulsión de gases, el cual absorbe los hidrocarburos que el motor arroja al arrancar mientras el convertidor catalítico está aún frío. Después de que el convertidor catalítico se ha calentado, los hidrocarburos son purificados lentamente.

El Prius cuenta con un excelente rango de emisión de contaminantes, además de que por su diseño ofrece un ahorro de combustible importante. Esta combinación de funcionamiento sensible con el medio ambiente es otra de las cosas que le otorga al Prius una ventaja sobre sus competidores. El Prius tiene un millaje estimado por la Agencia de Protección al Medio Ambiente, (EPA por sus siglas en inglés) de 52 millas por galón en la ciudad (unos 22,1 km/litro) y 45 millas por galón en carretera (19,13 km/litro), con un rendimiento promedio de 48 millas por galón (20,4 km/litro).

El componente principal para coordinar las emisiones de contaminantes y ofrecer un alto rendimiento en millas por galón es el Sistema Híbrido de Toyota, el cual permite que el Prius opere con electricidad, gasolina o ambas a la vez, dependiendo de las condiciones.

La potencia que cada sistema proporciona está constantemente controlada, dependiendo de la velocidad y la carga, para asegurar que el vehículo opere con su máxima eficiencia. Cuando un Prius se detiene, por ejemplo, su motor de combustión se apaga para eliminar el gasto innecesario de energía. El automóvil se activa otra vez con el motor eléctrico y el motor de gasolina se re-enciende automáticamente cuando se requiere más potencia.

El Sistema Híbrido Toyota es de una pieza, para que los cambios que ocurren en la fuente de poder no se noten. Para esta transición silenciosa en su manejo, el Prius tiene lo que se denomina un "mecanismo divisor de poder" que usa un engranaje especial conectado al generador, al motor y a toda la máquina para llevar más energía a las ruedas delanteras.

4.5. Análisis de los Recorridos Realizados en México

A continuación se realizará un análisis de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al Toyota Prius por parte de las autoridades del medio ambiente.

Límites máximos permisibles de emisión de gases provenientes del escape de los vehículos de pasajeros en circulación en función del año-modelo, marcados en la NOM-041-ECOL-1999.

Año-Modelo del Vehículo	Hidrocarburos	Monóxido de Carbono	Oxígeno (Máx.)	Dilución	
				Mín.	Máx.
	(HC) (ppm)	(CO) (% Vol.)	(O ₂) (% Vol.)	(CO + CO ₂) (% Vol.)	
1994 y posteriores	200	2,0	6,0	7,0	18,0

Tabla 4.1. Límites máximos permisibles de emisión de contaminantes para vehículos 1994 y posteriores.

Límites establecidos para la obtención del holograma cero.

HC (p.p.m.)	CO (% volumen)	NO (p.p.m.)
100	1	1200

Tabla 4.2. Límites permisibles para la obtención del holograma "0".

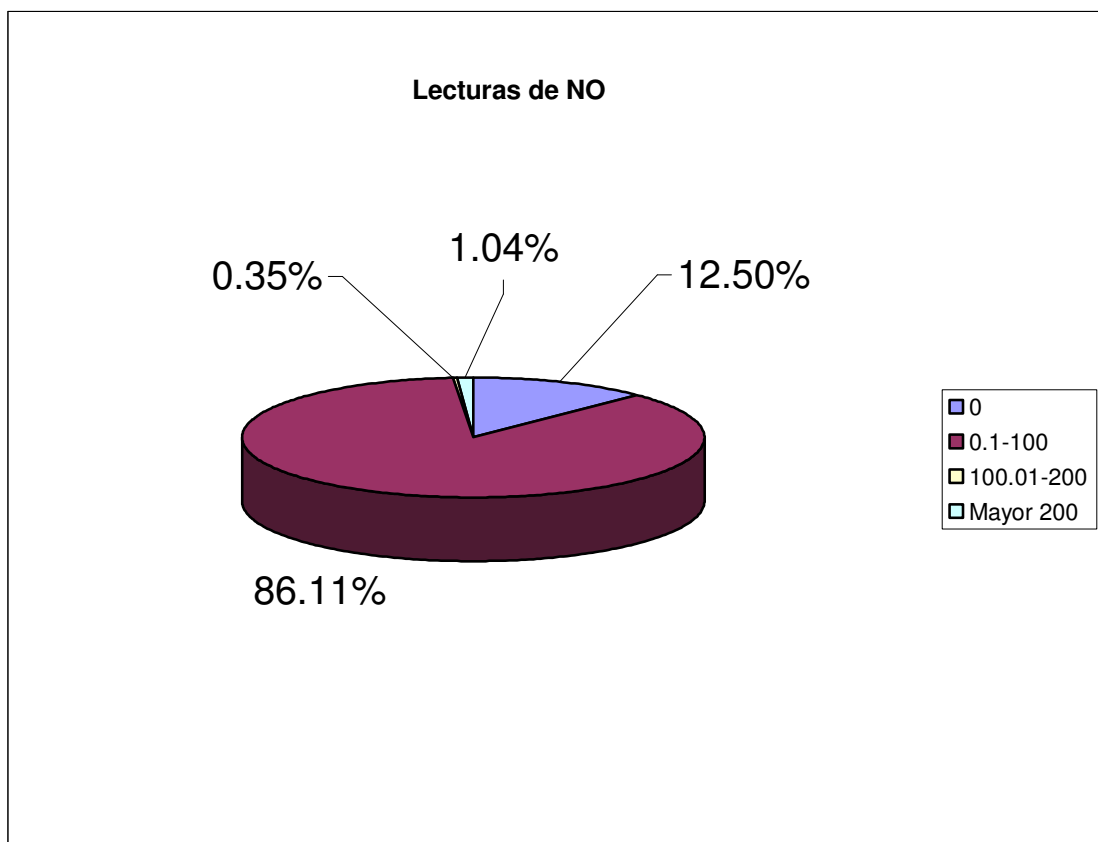
Características del equipo de medición.

Para la medición de hidrocarburos, monóxido de carbono y bióxido de carbono se utilizó un analizador portátil con banca de medición de tipo infrarrojo no dispersivo, para la medición de NO y O₂ se emplearon celdas electroquímicas, además de contar con medición segundo a segundo en el equipo, requisito señalado por la norma NOM-047-ECOL-1999.

Análisis del recorrido 1 (sur de la Ciudad de México).

Se realizaron dos recorridos, con condiciones de tráfico moderadas, a continuación se hace un análisis de los datos obtenidos por tipo de contaminante.

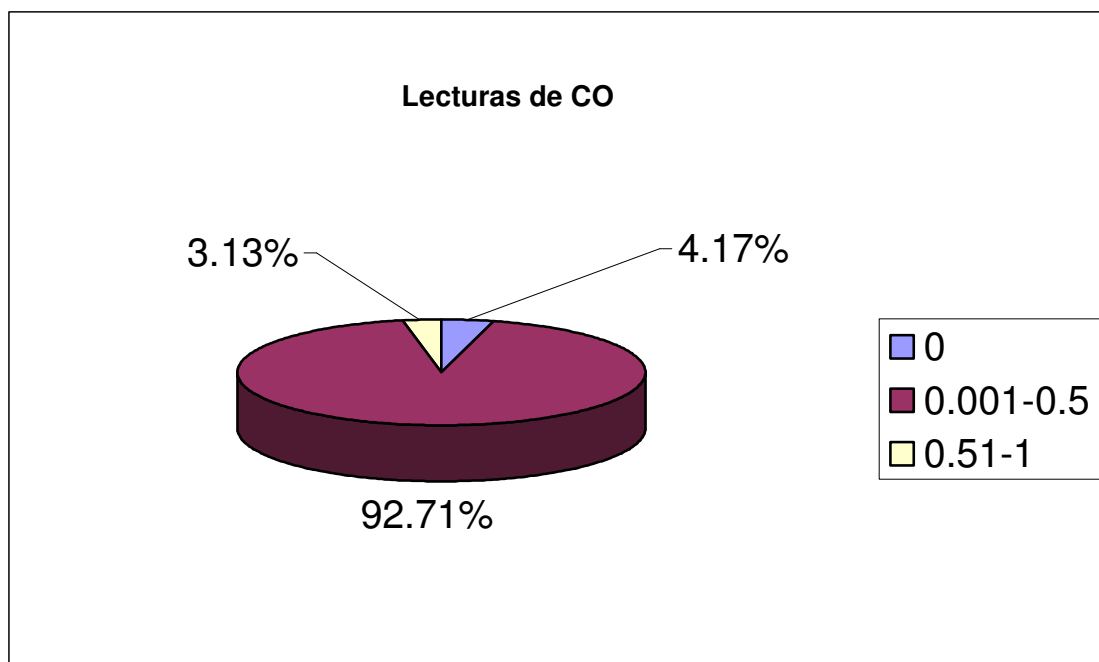
En este recorrido se obtuvieron 2880 lecturas, las cuales se promediaron como lo establece la norma NOM-047-ECOL-1999 cada diez segundos.



Gráfica 4.1. Lecturas del óxido nítrico.

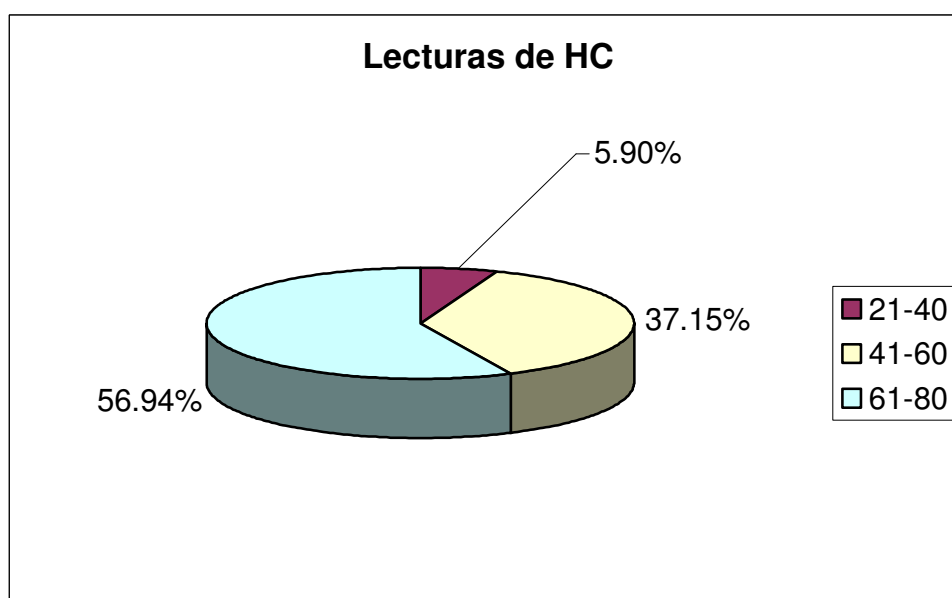
En la gráfica 4.1 se puede observar que en el intervalo de 0 a 200 p.p.m. se encuentran contenidas casi la totalidad de las lecturas (98,96%). Sólo tres lecturas sobrepasaron las 200 p.p.m., no obstante, no rebasan el límite establecido para la obtención del holograma 0, que es de 1200 p.p.m.

Las lecturas con cero emisiones de NO, alcanzaron 12,5%, o bien 36 de las 288 totales.



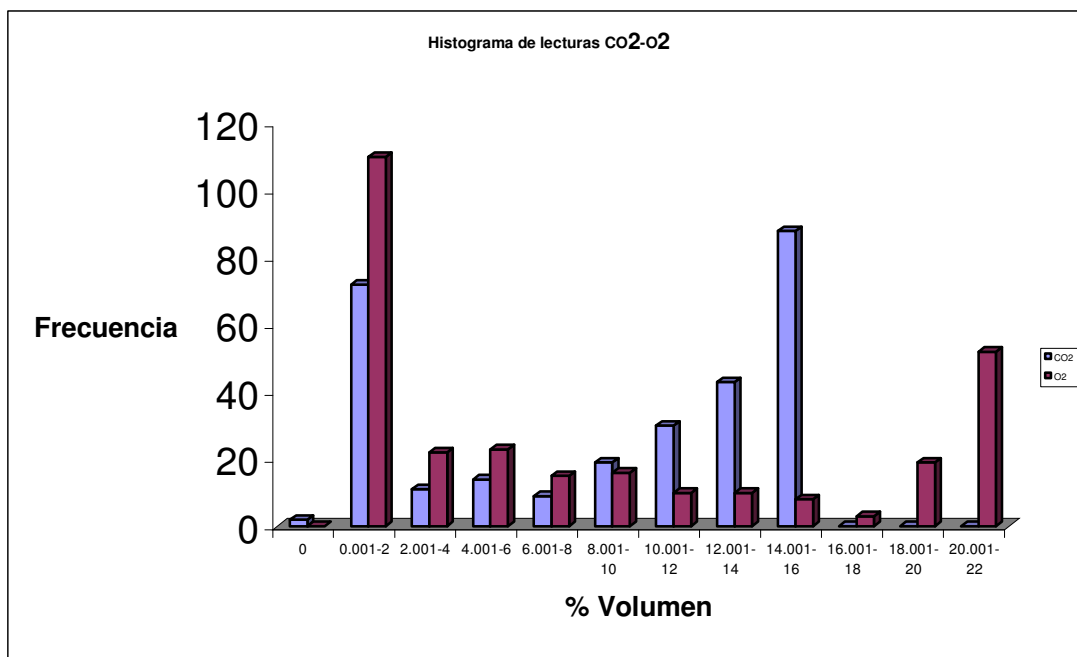
Gráfica 4.2. Lecturas de monóxido de carbono (recorrido 1)

De acuerdo con la gráfica 4.2 todas las lecturas de CO cumplen con lo establecido en el programa de verificación vehicular de la zona metropolitana (1% para obtener el holograma 0), además de encontrarse dentro de los límites permitidos por la norma NOM-041-ECOL-1999, que es del 2%.



Gráfica 4.3. Lecturas de Hidrocarburos (recorrido 1)

En la gráfica 4.3 se puede observar que todas las lecturas se encuentran dentro del intervalo de 0 a 100 p.p.m. cumpliendo con la norma oficial (200 p.p.m. como máximo), además de quedar encuadrada en el límite para la obtención del holograma 0 (100 p.p.m.)



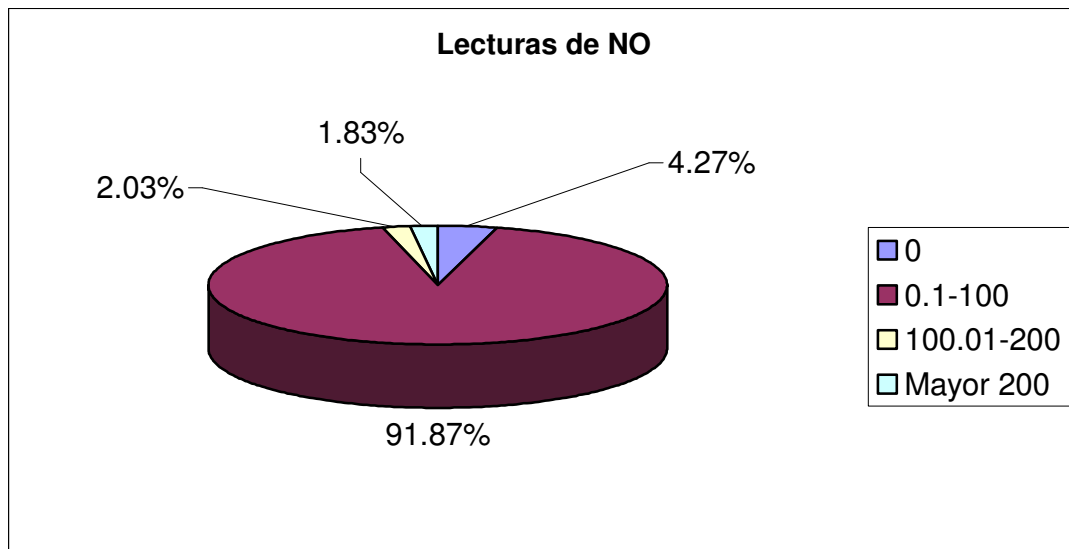
Gráfica 4.4. Análisis de CO₂ y O₂ (recorrido 1)

Como puede observarse en las gráficas anteriores se presentan intervalos en donde las lecturas son nulas, esto se debe a que el motor de combustión interna se apaga automáticamente al no requerirse potencia adicional. Sin embargo, es difícil estimar el tiempo en que el motor se encuentra apagado, para determinar un valor aproximado se recurre a la gráfica 4.4.

Puede observarse que los máximos niveles de CO₂ coinciden numéricamente con los mínimos niveles de O₂, por lo que se puede asumir este indicador como el tiempo en el que el motor de combustión interna se mantiene encendido, con base en esto se puede concluir que el motor de combustión se mantuvo apagado 35,42%, del tiempo total del recorrido.

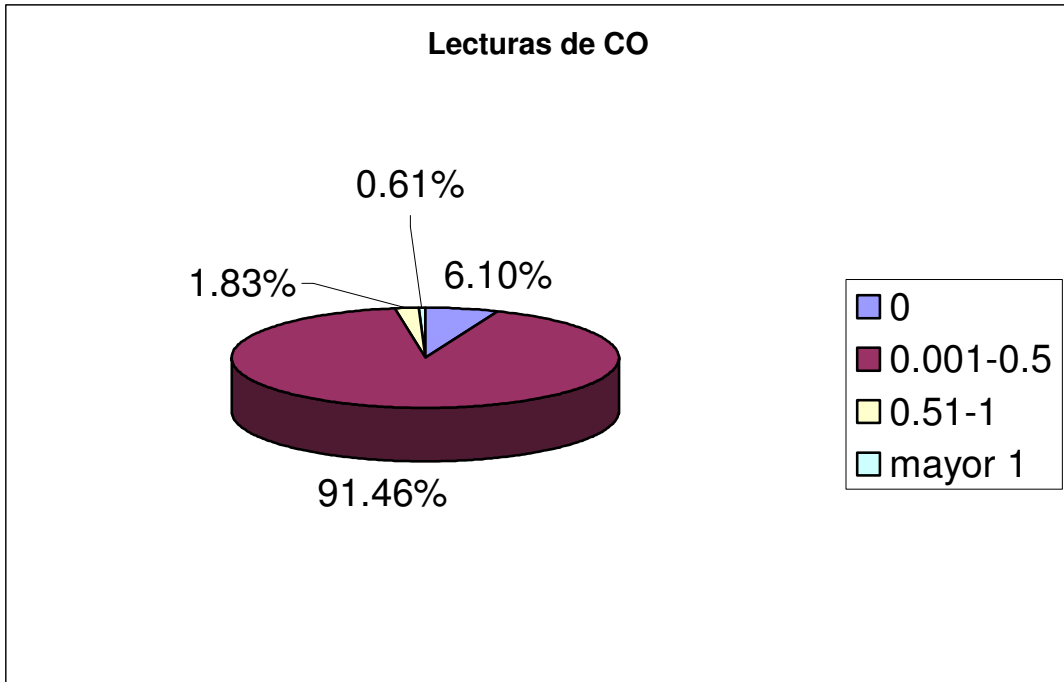
Análisis del recorrido 2 (sur de la Ciudad de México).

Se realizaron los recorridos bajo condiciones variables en el camino, desde tráfico intenso a moderado, pendientes y velocidades variables, se obtuvieron 4920 lecturas y como en el caso anterior se procedió a realizar el promedio de cada diez segundos.



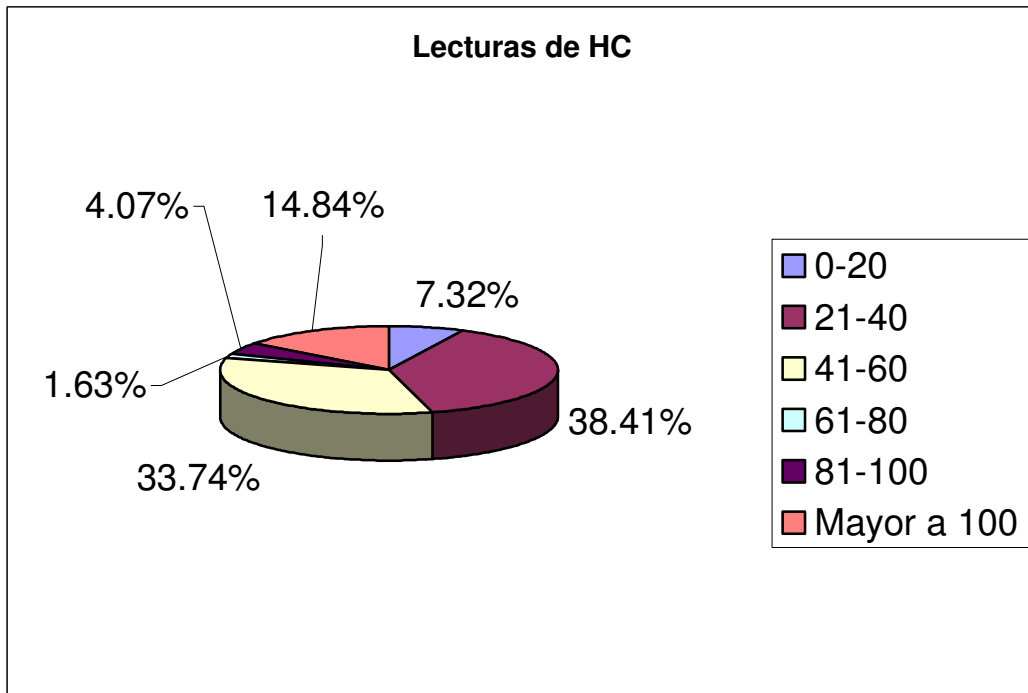
Gráfica 4.5. Lecturas del óxido nítrico (recorrido 2)

En la gráfica 4.5 se presentan nueve lecturas por encima de las 200 p.p.m., sin embargo no se llega a rebasar el límite establecido para la obtención del holograma 0. El mayor porcentaje de las lecturas se encuentran dentro del rango de 0 a 200 p.p.m. (98,17%), incluso en el rango de 0 a 100 p.p.m. (96,14%), se encuentra un gran porcentaje de las lecturas.



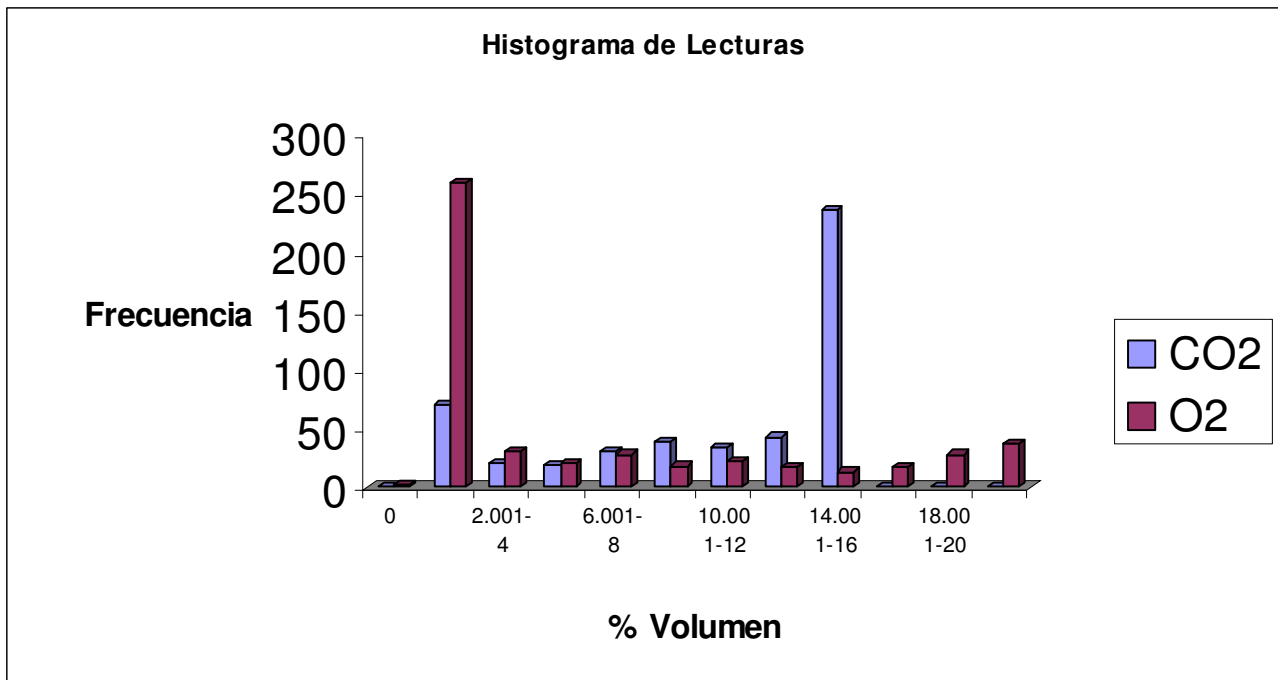
Gráfica 4.6. Lecturas de CO (recorrido 2)

En este recorrido se presentan tres lecturas por encima del 1%, sin embargo cumplen con el límite establecido en la norma oficial que es del 2%, cabe señalar que el porcentaje de lecturas de cero emisiones aumentó en comparación con los recorridos anteriores.



Gráfica 4.7. Lecturas de HC (recorrido 2)

La gráfica 4.7 muestra un alto porcentaje de lecturas (14,84% o bien 73 lecturas) que rebasaron el límite establecido para la obtención del holograma 0 (100 p.p.m.), no obstante todas las lecturas se encuentran confinadas en el intervalo establecido por la norma (200 p.p.m.)



Gráfica 4.8. Análisis de CO₂ y O₂ (recorrido 2)

Al igual que en el recorrido anterior, se presentan lecturas de cero emisión de CO₂, presentándose la tendencia anterior, que los máximos niveles de CO₂ coinciden numéricamente con los mínimos niveles de O₂. Utilizando el mismo criterio que en el recorrido anterior, el motor de combustión se mantuvo apagado 31,3% del tiempo que duró el recorrido.

El análisis de los datos se realizó en base a los promedios de cada diez segundos como lo establece la norma NOM-047-ECOL-1999.

Año-Modelo del Vehículo	Hidrocarburos	Monóxido de Carbono	Oxígeno (Máx.)	Dilución	
				Mín.	Máx.
	(HC) (ppm)	(CO) (% Vol.)	(O ₂) (% Vol.)	(CO + CO ₂) (% Vol.)	
1994 y posteriores	200	2,0	6,0	7,0	18,0
Recorrido 1	59,35	0,089	8,08	8,92	
Recorrido 2	50,32	0.01	5,78	10,52	

Tabla 4.3. Promedios de los recorridos realizados

Los promedios de los gases contaminantes arrojados por las pruebas, a excepción del O₂ en el recorrido 1, se encuentran por debajo de lo establecido por la norma como se muestra en la tabla 4.3.

A continuación se describirán los costos de los vehículos híbridos, sus inconvenientes, sus incentivos además de realizar una comparación entre éstos y los vehículos convencionales.

Capítulo 5. Perspectivas del Vehículo Híbrido Eléctrico

5.1. Costos y Beneficios de la Compra del VEH

El costo de los Vehículos Híbridos varía de acuerdo con la cantidad de aditamentos con los que cuente, sin embargo, la mayoría de ellos tiene un costo aproximado de \$ 20 000 USD.

A continuación se muestra una tabla en donde se muestran los precios de algunos de los Híbridos comerciales y dos vehículos convencionales.

Modelo (Marca)	Precio ³⁴ (en pesos)
Prius (Toyota)	234.291
Insight (Honda)	215.916
Escape Hybrid (Ford)	301.255
Almera Tino Hybrid (Nissan)	253.842
Civic Hybrid (Honda)	222.283
Accord Hybrid (Honda)	336.664
Civic Coupe (Honda), vehículo convencional	152.582
Accord Coupe (Honda) , vehículo convencional	222.004

Tabla 5.1. Precios de algunos vehículos híbridos

Entre los beneficios se encuentra como ya se ha mencionado durante el desarrollo del presente trabajo, la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, menor consumo de energéticos, lo que conlleva a un menor gasto en el suministro de combustible

Además de lo anterior existen en países como Canadá o Estados Unidos en donde existen incentivos para utilizar tecnologías que promuevan la

³⁴ Euro \$14,24, dólar \$11,17 cotización de apertura en los bancos de la Ciudad de México del día lunes 16 de mayo de 2005.

conservación de la energía, mayor eficiencia y una menor agresión al medio ambiente.

5.2. Incentivos y Metas a Nivel Internacional

Es tema de preocupación para muchos países en especial los industrializados, el impacto que ha tenido el excesivo uso de combustibles fósiles, así como las posibles consecuencias de la polución ambiental y el impacto que se tendría en el ambiente.

Por estas razones, existen leyes y normas cada vez más estrictas en este sentido, además de beneficios en pro de utilizar tecnologías alternas.

En Estados Unidos, el Departamento de Energía (*Department of Energy*) es el órgano oficial encargado de verificar que se cumplan con estas normas y a la vez establecer los incentivos en el uso de tecnologías menos contaminantes.

Dentro de este Departamento se encuentra la Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable (*Office of Energy Efficiency and Renewable Energy*) encargada de promover el uso de combustibles alternos, tecnologías novedosas en la generación de energía, el transporte, etcétera.

En este departamento existen programas relacionados con los vehículos híbridos, el *FreedomCAR and Vehicle Technologies* y el *21st Century Truck Partnership*

El *FreedomCAR and Vehicle Technologies* es un plan a varios años cuyo propósito es la implementación, búsqueda y desarrollo de futuras tecnologías relacionadas al transporte para reducir la dependencia de la importación de petróleo.

Otra de las preocupaciones de este programa es que el transporte contribuye con más de 30% de todas las emisiones de gases invernadero, más de 80% de

monóxido de carbono, 55% de óxidos de nitrógeno y 40% de compuestos orgánicos volátiles.

21st Century Truck Partnership es un plan desarrollado por la necesidad de disminuir el consumo de combustibles en las camionetas y de la misma forma la importación de petróleo extranjero en los Estados Unidos.

En el *California State Vehicle Fleet Fuel Efficiency Report: Volume II*, publicado en Abril de 2003, se dice que los vehículos híbridos marcarán la tendencia en la fabricación de automóviles.

California reconoce que los híbridos ofrecen dos beneficios clave: alta eficiencia de combustible y bajas emisiones, por lo cual son certificados como vehículos de súper ultra bajas emisiones (*SULEV*, por sus siglas en inglés), con lo que se hacen acreedores a una reducción de hasta \$2 000 USD por entrar en dicha categoría. En algunos estados, este tipo de vehículos están exentos de los controles de emisión de contaminantes hasta por varios años.

Por segundo año consecutivo (2004 y 2005) el Toyota Prius es elegido por la Oficina de Energía Renovable de Canadá, como el vehículo de tamaño medio más eficiente del mercado, según la *EnerGuide Awards* del 2005, este automóvil, tiene un consumo de combustible de 4 litros por cada 100 km recorridos en la ciudad y 4,2 litros por cada 100 km en carretera, con un consumo anual de 818 litros y un costo aproximado de \$564 dólares canadienses³⁵.

En Europa, en el 2003, se realizó un estudio sobre el nivel de contaminación que emiten diversos vehículos, realizado por la Fundación de la Federación Internacional de Automovilismo (*FIA Foundation*) en colaboración con el ADAC (Automóvil Club Alemán) y el RACC (Real Automóvil Club de Cataluña), el Toyota Prius se colocó en el segundo lugar de autos con menores emisiones de contaminantes. En esta prueba los vehículos fueron sometidos a una serie

³⁵ Ver referencia: The Office of Energy Efficiency (OEE) Disponible en World Wide Web: <http://oee.nrcan.gc.ca>

de eventos (circulación urbana, en autopista, con el motor en frío, en caliente y con el aire acondicionado en funcionamiento), el denominado *Eco Test*, para medir las emisiones de partículas contaminantes, las de CO₂ y consumo.

En España, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, en su guía de vehículos publicada en 2002, considera al Toyota Prius como uno de los vehículos con mayor eficiencia energética dentro de los comercializados en la península ibérica, con una clasificación “A” por consumo, es decir, menos del 25% con relación a la desviación del consumo respecto a la media.

En México se cuenta con un grupo fiscal, en el sentido de que tecnologías limpias que aporten o adecuen ventajas sobre los convencionales, tendrán un descuento en el impuesto a la importación de ese producto.

5.3. Vehículo Híbrido—Eléctrico vs los Vehículos Convencionales

El motor eléctrico ofrece una manera adicional de reducir la carga en el motor de combustión, especialmente cuando el motor de combustión no está funcionando con eficacia total. Los motores de combustión tienen su máxima eficacia a la velocidad y en las condiciones de carga en que alcanzan su torsión máxima. La eficacia del motor de combustión desciende conforme la velocidad y la carga se desvían del punto de eficacia pico.

Los Vehículos Híbridos utilizan algoritmos de control que permiten al motor de combustión funcionar a eficacia pico (o cercana) en todo momento, mientras que la batería se suma al motor de combustión para hacer frente a la demanda de potencia instantánea.

Este tipo de vehículos presenta sobre los tradicionales las siguientes ventajas:

- Son capaces de conseguir una eficiencia doble, lo que se consigue por la supresión de la mayor parte de las pérdidas de potencia que se producen en los vehículos convencionales.
- El sistema de frenado tiene a su vez capacidad regenerativa, lo que reduce las pérdidas de energía.

- El motor eléctrico se dimensiona sólo para una potencia promedio, para los picos de potencia, la fuente de energía alternativa es la encargada de proporcionarlos. Esto además permite que el motor eléctrico funcione siempre en su punto óptimo o muy cerca de él. Por ello su eficiencia se incrementa al doble, pudiéndose aligerar el peso y volumen hasta en un 90%.
- El motor puede desactivarse durante la marcha cuando no se necesita. Cuando el vehículo está parado o se encuentra a bajas velocidades, el motor se apaga completamente. Los sistemas convencionales requieren que el motor sea diseñado para responder a los picos de demanda, sin embargo el vehículo usualmente opera a niveles significativamente menores, lo que implica que los motores sean superiores de lo necesario para la mayor parte de la operación, consumiendo por lo tanto más combustible y generando excesivas emisiones. En los sistemas híbridos, los picos de demanda pueden ser provistos por la potencia de las baterías en combinación con el motor. La eficiencia del combustible se incrementa notablemente, lo que se traduce en reducción de las emisiones.

A diferencia de los autos eléctricos, los híbridos no necesitan una carga externa, por lo que no tienen los problemas de autonomía de los vehículos eléctricos. El único abastecimiento que necesita es combustible, como los vehículos convencionales, pero en una menor cantidad.

Los diseñadores de automóviles híbridos pretenden conseguir estas ventajas sin que se produzcan pérdidas sustanciales tanto en el rendimiento del vehículo, como en su autonomía y seguridad.

En resumen, los vehículos híbridos desarrollan una alta eficiencia y torque a velocidades bajas, reducción en el consumo de combustible en comparación con los convencionales y menores emisiones de contaminantes

5.4. Inconvenientes de los Vehículos Híbrido—Eléctricos

Los híbridos no son vehículos de cero emisiones, emiten contaminantes a la atmósfera. Más aún, como las emisiones de un motor de combustión tiende a deteriorarse con el tiempo, éstas probablemente aumentarán con la antigüedad del vehículo.

Los vehículos híbridos, al tener dos sistemas de generación a bordo, son más complejos y costosos de construir. Las baterías están sujetas a altas cargas específicas, que incrementan las pérdidas internas y hacen necesario el uso de equipos auxiliares para el sistema de baterías, además de que si no se utiliza el vehículo durante un tiempo prolongado (dos o más semanas) la batería del vehículo híbrido y la batería auxiliar se descargarán y su estado se deteriorará. Eso no significa que las baterías se descargan completamente, sino que bajan del nivel de carga óptimo para su conservación. Para que no ocurra, si el vehículo no se mueve en dos semanas, hay que tenerlo en marcha durante treinta minutos, con todos los consumidores eléctricos apagados.

A continuación se procederá a realizar las conclusiones, propuestas y análisis de los resultados de las pruebas realizada al Toyota Prius.

Conclusiones

Desde la antigüedad el hombre ha dependido del consumo de energéticos para su productividad, de la leña hasta nuestros días en que los petrolíferos son la base fundamental de la economía, sin embargo esto ha acarreado problemas medioambientales que han hecho que en las últimas décadas, gobiernos, empresas, investigadores, etcétera; busquen opciones para la disminución de esta tendencia. Raciocinio, mayor eficiencia en el uso de los energéticos, combustibles alternos y tecnologías novedosas, son algunas de las alternativas que han sido propuestas.

Uno de los grandes conflictos de la Ciudad de México es precisamente la contaminación y los problemas sociales que esto conlleva, diariamente circulan 3 millones de vehículos y además, el balance de energía muestra que el sector transporte es el de mayor consumo de petrolíferos, incluso mayor a los otros sectores juntos, de aquí la importancia en su disminución.

Hasta la implantación del PROAIRE en México no se había contado con un programa integral para la disminución de la polución, salvo el “Hoy No Circula”, pero éste sólo impide la circulación del 20% del parque vehicular y no una mejora de la tecnología, los combustibles o la organización del transporte a diferencia del anterior.

Los Vehículos Híbrido—Eléctricos han sido probados exitosamente y comercializados en diversas partes del mundo como una medida para la disminución de contaminantes y ahorro en el consumo de energía. La tecnología híbrida fue diseñada especialmente para lugares con problemas de polución.

Los automóviles híbridos además de contar con la propulsión sinérgica de los motores eléctrico y de combustión interna, constan de otros aditamentos destinados a aumentar la eficiencia del mismo.

El incremento en la eficiencia de los automóviles se logra mediante la disminución del peso, reducción de la resistencia a la fricción del aire y rodadura, y en el caso de los híbridos, recuperando la energía por medio de frenos regenerativos.

Para el mejor aprovechamiento del vehículo se cuenta con avanzados sistemas de control que regulan el funcionamiento de los motores, los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, los frenos regenerativos, etcétera; esto se logra mediante una adecuada estrategia de control, sistema de navegación, sensores, un microcontrolador y la computadora a bordo.

Debido al uso del motor eléctrico, el motor de combustión interna puede ser utilizado en su punto de óptimo de desempeño por lo que puede ser más pequeño y ligero, logrando reducir la emisión de contaminantes.

Las baterías son el dispositivo que cuenta con mayores inconvenientes, sin embargo se realizan investigaciones con la finalidad de aumentar su capacidad de almacenamiento, disminuir su tamaño, peso y costo, impulsando el uso de vehículos menos contaminantes (híbridos y eléctricos).

Las legislaciones cada vez más estrictas de mercados tan importantes como Estados Unidos y Europa han obligado a las compañías automotrices a impulsar el desarrollo de tecnologías alternas de transporte, por lo cual, cada una cuenta o tiene planeado lanzar a la venta vehículos de emisiones Súper Ultra Bajas, como es el caso de los híbridos o vehículos de emisiones cero como los eléctricos, así pues se puede ver en circulación (en Estados Unidos, Canadá, Europa y parte de Asia, principalmente Japón y China) automóviles como el Prius de Toyota.

En lo que se refiere a esfuerzos realizados en nuestro país por parte de las autoridades para disminuir las emisiones de contaminantes y el excesivo consumo de energéticos; se encuentran programas y proyectos de ahorro de energía, se realizan seminarios internacionales, con el fin de introducir en

México tecnologías que ayuden a disminuir los consumos energéticos y mejorar la calidad del aire.

El análisis de los resultados de las pruebas realizadas al vehículo Prius de Toyota, indican que éste no presenta ningún inconveniente para la obtención del holograma “0”, cabe señalar que para la obtención del holograma “00” se requiere, según lo establecido en la gaceta oficial del Distrito Federal, en lo referente al programa de verificación vehicular obligatoria, realizar una prueba de verificación vehicular completa, (con la finalidad de recabar datos estadísticos, que son impresos en la constancia de aprobación tipo doble cero “00” emitida), dicha prueba no se realizó por lo que no se cuenta con datos para conocer el comportamiento del automóvil.

Para obtener una comparación adecuada del automóvil híbrido sería recomendable cotejar los resultados de la emisión de contaminantes con los datos arrojados de una prueba con recorrido similar al de un vehículo convencional del mismo tipo. Sin embargo, es de esperar que el Prius presente una menor emisión de contaminantes, ya que, como se pudo observar en el análisis de resultados del capítulo 4, éste presenta lecturas de cero emisiones; debido a que el motor de combustión interna se apaga cuando no es requerido, característica que no poseen los vehículos convencionales.

La norma NOM-47-ECOL-1999 establece dos pruebas para vehículos que consumen gasolina, la dinámica, que son realizadas a un vehículo en dinamómetro con la aplicación externa de carga al motor, a diferentes regímenes de carga y velocidad en las etapas PAS 5024³⁶ y PAS 2540³⁷, como se especifica en esta Norma Oficial Mexicana y la estática que se realiza en función de las características mecánicas del vehículo, que no permite realizar la prueba dinámica, consistente en marcha lenta en vacío; éstas no pudieron ser

³⁶ Prueba de aceleración simulada (PAS), en donde a una velocidad constante de 24 kilómetros por hora, se aplica una carga externa al motor de acuerdo al punto 7.4.1 de la norma, equivalente al 50% de la potencia requerida para acelerar al vehículo a una tasa de aceleración de 5.6 kilómetros por hora por segundo.

³⁷ A diferencia de la PAS 5024, en esta prueba, a una velocidad constante de 40 kilómetros por hora, se aplica una carga externa al motor de acuerdo al punto 7.4.2 equivalente al 25% de la potencia requerida para mantener esta velocidad bajo condiciones reales de manejo.

realizadas, por lo que se considera necesario una normalización adecuada para los Vehículos Híbrido—Eléctricos, similares a las normas internacionales existentes.

No se pudo contar con pruebas de rendimiento del vehículo, no obstante, agencias gubernamentales de otros países cuentan con tablas de rendimiento del Prius y las condiciones bajo las cuales se realizaron estas pruebas.

Finalmente, la tecnología híbrida es un eslabón entre los vehículos de combustión interna y el siguiente modo de propulsión: los vehículos eléctricos con celdas de combustible, empresas automotrices se encuentran invirtiendo en la investigación y desarrollo de prototipos de esta tecnología.

Bibliografía y referencias.

Capítulo 1.

1. Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010
2. Diario Oficial de la Federación, miércoles 24 de noviembre de 2004
3. Secretaria de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico, Balance Nacional de Energía 2003.

Referencias en Internet:

- García Rodríguez, Rafael. Motores Híbridos. Madrid. [Consulta: 20 de febrero de 2004]. Introducción. Disponible en World Wide Web: <<http://termica.uc3m.es/alumn/MT/trabajos/hibrido.pdf>>.
- Enciclopedia Electrónica Encarta 1999 [CD-ROM] [Consulta: 28 de agosto de 2004]
- Secretaria del Medio Ambiente. Actualización del programa "Hoy No Circula". México D.F. [Consulta: 19 de agosto de 2004]. Antecedentes. Disponible en World Wide Web: <http://www.sma.df.gob.mx>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Disponible en World Wide Web: <http://www.inegi.gob.mx>
- Secretaria de Energía. Disponible en World Wide Web: <http://www.sener.gob.mx>

Capítulo 2.

Bibliografía:

4. McIntyre, R. L. Control de motores eléctricos. Segunda edición. Barcelona, España. Boixereu Editores, 1971. 382 p.
5. Concheiro, Antonio Alonso. Alternativas Energéticas. Primera edición. Mexico : CONACYT Fondo de Cultura Economica, 1985, 583 p.
6. Bartho, Francis Trenam. Motores eléctricos industriales y dispositivos de control. Primera traducción. Bilbao, España. Ediciones Urmo, 1968, 383 p.
7. Benavent García, José Manuel, et. al. Electrónica de potencia: teoría y aplicaciones. Mexico, D. F. Editorial Alfaomega, 2000, 235 p.
8. Equipo técnico de *Marketing* de *Gates Energy Products, Inc.* Baterías recargables, manual de aplicaciones. Primera edición. Madrid, España. Editorial Paraninfo, 1999, 324 p.
9. Kosow, Irving L. Control de maquinas eléctricas. Segunda reimpresión. Barcelona. Editorial Reverte, 1998. 429 p.
10. Ureña Ureña, Jesús, et. al. Electrónica de potencia. Madrid, España. Servicio de publicaciones de la U.A.H. Universidad de Alcalá. 1999.

11. Cano Castillo, Ulises. Las celdas de combustible: verdades sobre la generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica. Boletín informativo del Instituto de Ingeniería Eléctrica, septiembre-octubre 1999.
12. Westbrook, Michael H. The electric and Hybrid electric car. Primera Edición. Reino Unido. Society of Automotive Engineers. The Institution of Electrical Engineers. 2001. 197 p.

Referencias en Internet:

- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Vehículo Híbrido—Eléctrico. [Consulta: 10 de junio de 2004]. Disponible en World Wide Web: <http://www.conae.gob.mx/work/secciones/466/imagenes/VHE.pdf>
- Osses, Mauricio. Vehículos Híbridos. [Consulta: 15 de junio de 2004]. Carlos Montero, Reinaldo Kühn. Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Disponible en World Wide Web: http://cabierta.uchile.cl/revista/13/articulos/pdf/13_3.pdf
- Secretaría General de la Organización de los estados Americanos. Infraestructura y Potencial Energético en la Cuenca del Plata. [Consulta: 17 de junio de 2004]. Secretaria Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales. Departamento de Desarrollo Regional. Disponible en World Wide Web: <http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea16s/ch06.htm>
- Sánchez, Antonio. Nuevas Tecnologías en Automoción. Málaga, España. [Consulta: 4 de junio de 2004]. Disponible en World Wide Web: <http://members.tripod.com/~roteng/art9.htm>
- Comisión de las Comunidades Europeas. Los combustibles alternativos para el transporte por carretera y a un conjunto de medidas para promover el uso de biocarburantes. Bruselas, Belgica. [Consulta: 20 de junio de 2004]. Disponible en World Wide Web: http://www.europarl.eu.int/meetdocs/committees/econ/20020422/com_01_547_es.pdf

Capítulo 3.

Referencias en Internet:

- El mundo. es. Motor, coches y prototipos. Madrid, España. [Consulta: 18 de septiembre de 2004]. Disponible en World Wide Web: <http://elmundomotor.elmundo.es/>
- Toyota. Prius. [Consulta: 10 de septiembre de 2004]. Disponible en World Wide Web: http://www.toyota.com/espanol/about/news/2002/20020812_prius_tax.htm
- km 77. [Consulta: 21 de septiembre de 2004]. Disponible en World Wide Web: <http://www.km77.com/>

- 21st Century. [Consulta: 1 de octubre de 2004]. Disponible en World Wide Web: http://www.21stcentury.co.uk/cars/nissan_tino_hybrid.asp
- Fresh Alloy. [Consulta: 3 de octubre de 2004]. Disponible en World Wide Web: <http://www.freshalloy.com/site/cars/nissan/tino/home.shtml>
- Cars. Concept cars. [Consulta: 8 de octubre de 2004]. Disponible en World Wide Web: http://www.cars.com/carsapp/national/?srv=parser&act=display&tf=/features/autoshow99/concept/chrysler_1.tmp
- Discovery Channel. Cars. [Consulta: 15 de octubre de 2004]. Disponible en World Wide Web: <http://www.exn.ca/Cars/home.cfm?ID=20000211-52&StoryType=Innovation>

Capítulo 4.

Referencias en Internet:

- Secretaria de Energía. Disponible en World Wide Web: www.sener.gob.mx
- Comisión Nacional para el ahorro de Energía. Disponible en World Wide Web: <http://www.conae.gob.mx>
- Instituto nacional de ecología. Disponible en World Wide Web: <http://www.ine.gob.mx>
- Toyota. Disponible en World Wide Web: <http://www.toyota.com>

Capítulo 5.

Referencias en Internet:

- California Energy Comisión. Disponible en World Wide Web: <http://energy.ca.gov>
- Office of Energy Efficiency of Canada. Disponible en World Wide Web: <http://oee.nrcan.gc.ca>
- Department of Energy, United States. Disponible en World Wide Web: <http://www.doe.gov>
- Energy Efficiency and Renewable Energy. Disponible en World Wide Web: <http://www.eere.energy.gov>

Anexo 1. Seminario Internacional Vehículos Híbridos Eléctricos y No Convencionales.

Beneficios relativos del uso del gas natural y gas L. P.

Dr. Isaac Shifter Secora, IMP

Los graves problemas de contaminación debido al consumo de combustibles fósiles es uno de los principales asuntos a resolver a corto plazo; la lenta renovación del parque vehicular y el excesivo consumo de energía han contribuido a agravarlos, por esto es imprescindible mejorar la calidad del aire en la zona metropolitana.

El creciente uso del gas L. P. para la carburación implica:

- Un aumento en el diferencial de precios entre el gas L. P. y la gasolina
- Un aumento en las ventas de cilindros para carburación
- Incentivos ambientales vigentes y comunicación deficiente con los usuarios

Adicionalmente existen otros incentivos (económicos y administrativos) que motivan el creciente uso del gas L. P. para la carburación, como por ejemplo rentabilidad atractiva de estaciones de servicio, suspensión del programa “Hoy No Circula” para vehículos de uso privado que utilicen este gas, procedimientos de certificación y obtención de engomados que no requieren de verificación de niveles de emisiones, etcétera.

Los NO_x y el CO son los contaminantes sobre los cuales se tiene mayor influencia en el cambio en la concentración de propano, debido a la modificación en la relación aire—combustible.

Introducción a los Vehículos Híbrido—Eléctrico

Dr. Ulises Cano, IIE

Un vehículo híbrido es un sistema en el que se combinan la propulsión del motor de combustión interna con las prestaciones del motor eléctrico, sus configuraciones típicas serie, paralelo; las ventajas de éste sistema son entre otras: un abastecimiento rápido y conveniente (cuando se requiere), ya que no requieren recargar las baterías sólo basta con proveer de combustible (gasolina en la mayoría de los casos), un rango de autonomía apropiado (mayor a 400 km), motor de combustión más eficiente y con menores emisiones contaminantes, frenos regenerativos para la recuperación de la energía, mayor kilometraje, uso eficiente de los motores (apagado del motor cuando no se requiere su uso), entre otros (aerodinámica, llantas y componentes especiales).

Entre sus desventajas, se encuentran, el costo inicial, ya que estos al no ser fabricados a gran escala, son relativamente más caros que otros vehículos de su misma clase, la infraestructura para servicio y mantenimiento además de que no son vehículos ZEV (cero emisiones).

Programa de desarrollo de vehículos eléctricos de baterías en la UNAM

Ing. Germán Carmona, II-UNAM

Los objetivos del programa son: a) Generar diseños propios en el área de transporte público no contaminante y crear una base tecnológica que conduzca a una etapa de fabricación masiva de vehículos de este tipo, b) Contribuir a la formación de recursos humanos en esta área, asegurando la continuidad de las actividades de índole tecnológica y científica; y c) Fomentar la introducción de innovaciones que avancen el estado del arte a nivel mundial, los vehículos eléctricos desarrollados por la UNAM son. VEUNAM, ELECTROBÚS, ELECTROVIRA y el VER.

El minibús VEUNAM (Vehículo Eléctrico UNAM), cuenta con un motor de corriente alterna trifásica, un paquete de 56 baterías de plomo—ácido, 52 para tracción y 4 para servicios auxiliares, una potencia máxima de 33 kW, frenos regenerativos, capacidad para 30 personas y una autonomía de 40 km.

El minibús llamado ELECTROBÚS, cuenta con dos motores de corriente directa que generan una potencia máxima de 104 kW; poseen un paquete de 60 baterías tipo plomo-ácido de 8 V cada una, 54 para tracción, 6 para servicios auxiliares, capacidad para 30 pasajeros y una autonomía de 60 km.

El ELECTROVIRA es un vehículo de reparto, consta de dos motores de corriente directa con una potencia pico de 120 kW, un paquete de 22 baterías plomo-ácido de 6 V cada una, 20 para tracción, 2 para servicios auxiliares, velocidad máxima de 75 km/hr y un peso total con carga de 3,000 kg.

El Vehículo Eléctrico de Reparto (VER), se compone de dos motores de corriente directa, con una potencia pico de 70 kW, 21 baterías de plomo-ácido de 6 V cada una, 20 para tracción, 1 para servicios auxiliares, velocidad máxima de 60 km/hr, una autonomía de 60 km y una capacidad de carga de 1.500 kg.

Utilización de Hidrógeno en motores de combustión interna.

Ing. José Anaya, AGA (Gerencia de Gases Especiales y Área Química)

AGA es una empresa especializada en el uso, manejo y transporte de líquidos criogénicos (hidrógeno líquido). Los riesgos que implica el manejo y la utilización de gases licuados y comprimidos son: inflamabilidad, explosión, incendio, asfixia, toxicidad, corrosividad, daños materiales y lesiones debido a las altas presiones.

De acuerdo con la clasificación de las sustancias peligrosas de la Organización de las Naciones Unidas, los gases comprimidos, licuados, disueltos a presión o criogénicos se

encuentran en la clase dos, sólo detrás de las sustancias y objetos explosivos. Dentro de la subdivisión de la categoría dos, el hidrógeno está catalogado en la división 2.1, por lo cual, el manejo del hidrógeno en forma gaseosa representa un riesgo, tanto en la obtención, manejo y utilización.

La alternativa a la utilización de gases comprimidos son los líquidos criogénicos, que se definen como la forma licuada de un gas que tiene una temperatura de condensación por debajo de -150 °C, a presión atmosférica. Para el hidrógeno se maneja una temperatura de -252 °C, con esto se obtiene una ventaja importante, el hidrógeno líquido tiene una relación de expansión de 1:788, o sea que un litro generará 788 litros de hidrógeno en forma gaseosa.

El papel potencial de vehículos híbridos en programas de armonización de emisiones locales de contaminación atmosférica y de mitigación de gases invernadero.

Ing. Walter Vergara, Banco Mundial

Unos de los factores que influyen en el cambio del clima son la temperatura, las precipitaciones y la altitud sobre el nivel del mar, el cambio en el clima influye directamente en la salud, la agricultura, los recursos forestales, en el suministro y la calidad del agua, en los animales y vegetales, etcétera.

Es importante tomar en cuenta los riesgos que implican el uso desmedido de los combustibles fósiles y el impacto medioambiental que estos tienen. El Plan de Calidad del Aire para la Zona Metropolitana del Valle de México (PROAIRE), tiene como objetivo, reducir la contaminación atmosférica; con lo que se deberá obtener los siguientes beneficios: reducciones en el costo asociado a dolencias y enfermedades, reducciones en las pérdidas de productividad, reducción en efectos asociados a expectativa de vida y mortalidad. Las posibles soluciones a corto plazo son: el uso potencial de combustibles limpios (hidrógeno, gas natural) o los vehículos híbridos que son una tecnología disponible en la actualidad para la sustitución de los automóviles convencionales.

Comparando los vehículos híbridos con los convencionales se tienen las siguientes ventajas de los primeros: se obtiene una significativa reducción de emisiones, se mejora la economía del combustible y son ideales para operar en áreas congestionadas, se evita los costos de infraestructura asociada a la introducción de nuevos combustibles, etcétera.

Anexo 2. Seminario Internacional de Celdas de Combustible para el Transporte.

Bloque 1. Investigación y desarrollo de las celdas de combustible.

Desarrollo de las celdas de combustible.

Dr. Ulises Cano, IIE

El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), cuenta con un programa de desarrollo e investigación sobre las celdas de combustible. Los principios físicos de esta tecnología fueron descubiertos en 1839 en Escocia, no obstante, no se presentaron avances hasta la década de los 60's, cuando son aplicadas en los programas espaciales *Gemini* y *Apollo*.

La aplicación de esta tecnología al transporte dará la autonomía necesaria a los vehículos eléctricos para hacerlos competitivos con los convencionales. La celda de combustible proporciona la energía necesaria para que funcione el motor eléctrico y éste a su vez transmite la energía mecánica hacia el sistema de tracción con lo cual se logrará el movimiento del vehículo, sin embargo estos prototipos cuentan con la desventaja de los altos costos de las celdas, principalmente de los catalizadores.

La infraestructura necesaria para el uso del hidrógeno, depende fundamentalmente de la producción, almacenamiento, transporte, distribución, normalización y seguridad en el manejo del combustible, aunque algunas celdas de combustibles tienen la flexibilidad para usar otros tipos de combustible que contengan hidrógeno (gas natural, gasolina, etcétera).

Desarrollo de las celdas de combustible en México.

Dr. Omar Solorza, CINVESTAV

Es de suma importancia la introducción de nuevas tecnologías tendientes a disminuir los contaminantes atmosféricos, una opción viable son las celdas de combustible aplicadas al transporte, con lo que se lograría una notablemente reducción de dichas emisiones.

Las celdas de combustible tienen la ventaja de generar energía eléctrica a partir de una reacción química en comparación con los generadores de combustión interna, que antes de convertir la energía química en energía eléctrica tiene que pasar por la generación de calor mediante combustión y el movimiento mecánico para la generación de electricidad, por lo cual, la eficiencia de las celda de combustible es mucho mayor que los generadores que actualmente se emplean.

La celda de combustible se basa en la reacción química entre el hidrógeno y el oxígeno para formar moléculas de agua y liberar energía eléctrica y calor.

La investigación sobre esta tecnología se encuentra enfocada principalmente en materiales de menor costo.

Estudio de la catálisis ácida en una celda de combustible.

Dra. María Dolores Salazar, IMP.

Los potenciales campos de servicio de las celdas de combustible son extensos, aplicaciones que van desde telefonía celular y computadoras personales hasta el transporte y la generación distribuida.

Los retos que tienen las celdas de combustible con fines de aplicación en el transporte son: su construcción a gran escala, búsqueda de catalizadores alternativos que no requieran el uso de metales preciosos ya que esto encarece su producción, síntesis de electrólitos y conductores que presenten baja resistencia a la conducción, obtención del hidrógeno puro

con un sistema seguro de almacenamiento y transporte, desarrollar catalizadores que eliminen la formación de CO en la electro—oxidación del metanol, etcétera.

Las celdas de combustibles presentan una rapidez de reacción, selectividad y conversión de reacciones catalíticas que pueden ser controladas por medio del potencial eléctrico, además en las de tipo polimérico, la acidez de la interfase electrolito (Nafión—metal) puede ser examinado por medio del control de la oxidación del H₂ en el ánodo de la celda de combustible.

Celdas de combustible para generación eléctrica en las refinerías del futuro.

Dr. Ricardo Rivero, IMP.

Las ventajas que se presentan en el uso de celdas de combustible, comparadas con las tecnologías que actualmente empleamos en la generación de energía eléctrica, son amplias.

Existen varios tipos de celdas, generalmente clasificadas de acuerdo con el electrolito empleado, y se seleccionan dependiendo de la aplicación. Éstas presentan ventajas y desventajas entre cada tipo.

El IMP junto con PEMEX muestran interés en las perspectivas de implementación en refinerías. Con el empleo de esta tecnología se tienen las siguientes ventajas generales: los combustibles son de bajo costo pero la energía eléctrica es costosa, cubren los requerimientos de calor de proceso y regulaciones en la calidad del aire además de proporcionar una independencia de la red de energía, amplia gama de aplicación, etcétera.

Bloque 2. Tecnología y experiencia internacional de celdas de combustible aplicadas al transporte

The Fuel Cell locomotive of the Fuel Cell Propulsion Institute.

Dr. Arnold R. Miller, Fuel Cell Propulsion Institute.

El *Fuel Cell Propulsion Institute* señala que la locomoción es la aplicación más inmediata para las celdas de combustible en forma comercial.

Las industrias que aún usan tecnologías convencionales presentan una gran deficiencia en salud y seguridad, el uso de combustibles como el diesel presentan poca productividad y limpieza.

La aplicación de las celdas de combustible en los trenes implica varias ventajas, como por ejemplo, se sabe que en los túneles subterráneos existe una pobre ventilación, por lo que si se utilizan convoyes movidos por motores diesel, las emisiones alcanzan niveles alarmantes, asimismo locomotoras movidas por baterías, necesitan una gran cantidad de éstas, por lo que es poco práctico.

La alternativa podría ser la combinación de las celdas de combustible con las baterías de níquel—hidruro, también llamado *Hydrid—Fuel Cell*. Estudios realizados por el *Fuel Cell Propulsion Institute* muestran que la conjunción entre la propulsión mediante celdas y el almacenamiento por medio de baterías níquel—hidruro, proveen de una alta seguridad de esta manera; se presentan reducción en los costos de operación y menor emisión de gases (en caso de utilizar hidrógeno puro, las emisiones son nulas).

Nuvera Fuel Cell.

Ing. Alejandro Rivera, Nuvera

Nuvera es una empresa dedicada a la manufacturación y distribución de celdas de combustible; para suministrar energía limpia en aplicaciones tales como el transporte, la generación distribuida, entre otras.

Nuvera cuenta con prototipos y unidades disponibles para suministrar energía a automóviles, autobuses, casas habitación, residenciales, etcétera.

Visión de la industria. Benita Von Der Groeben de Oetling, Conieco.

Es de suma importancia introducir tecnologías limpias para conseguir la disminución del impacto ambiental ocasionado por el excesivo consumo de energía y de productos derivados del petróleo. Comparado con otros países, México es uno de los que menos recursos invierten en protección ambiental. A pesar de lo anterior México es uno de los países con mayor participación en programas y conferencias sobre medio ambiente.

Ballard, compañía canadiense líder en la construcción e investigación sobre celdas de combustible y Daimler—Chrysler, se encuentran realizando un proyecto para acelerar el desarrollo de las celdas de combustible aplicadas al autotransporte, construyendo el primer automóvil impulsado con un motor eléctrico y alimentado mediante celda de combustible.

Los vehículos eléctricos impulsados con celdas de combustible presentan las siguientes ventajas en comparación entre los vehículos convencionales: los automóviles con celda de combustible son mucho más eficientes, si se utiliza hidrógeno como combustible, los subproductos de las reacciones químicas son agua y calor, no requieren recarga por lo que mientras se suministre combustible, el vehículo es autónomo y sobre todo no contamina.

Bloque 3. Producción, distribución y almacenamiento de combustible

Almacenamiento de gas natural de uso vehicular.

Ing. Víctor Palencia, TAMSA

TAMSA es una empresa dedicada al transporte y distribución de GNV³⁶. Este gas es suministrado a estaciones de servicio para el consumo de la flota vehicular, comprendida por taxis, microbuses y camiones.

El gas natural o metano, es una fuente de hidrógeno, algunas celdas de combustible pueden ser alimentadas directamente de este gas, aunado a que la tecnología de almacenamiento está completamente desarrollada.

Suministro de hidrógeno a autobuses HFC para el servicio del transporte público de la Ciudad de México.

Dra. Ávalos, UDLAP.

El proyecto principal es el reemplazo de la flotilla de autobuses del servicio público en la Ciudad de México por autobuses a base de celdas de combustible para asegurar un servicio limpio.

Para que esto sea factible, es necesario suministrar el hidrógeno de una manera segura y económica, por lo que se requiere infraestructura para el suministro de este combustible.

Este proyecto consistió en la demostración de autobuses con celdas de combustible, entre sus objetivos se encontraba, el análisis de las posibles fuentes para producir el hidrógeno, alternativas para el suministro en cada una de sus etapas y el análisis desde el punto de

³⁶ Gas Natural Uso Vehicular.

vista técnico y económico. Las principales fuentes para la producción del hidrógeno, que se plantearon fueron: la reformación de combustibles fósiles o la electrólisis del agua.

Existen tres tipos generales de procesos en la obtención del hidrógeno: producción, recuperación y purificación, y cuatro alternativas para la infraestructura del suministro de hidrógeno: hidrógeno entregado, una planta centralizada remota con producción de hidrógeno gaseoso y suministrado mediante gasoductos, una planta centralizada remota con obtención de hidrógeno líquido transportado por vehículos especializados y plantas *on-site*.

De estas alternativas, la primera presenta una alta dependencia de la compañía suministradora, con lo cual se incrementan los costos, la segunda, su desventaja radica en la necesidad de contar con una red de gasoductos para suministrar el hidrógeno, la tercera, requiere de licuefacción del gas y transporte especializado, y finalmente la cuarta opción tiene la ventaja de que no requiere el transporte pero aun se tiene que distribuir el gas.

El mercado de hidrógeno en México es aún incipiente. Es necesario involucrar a compañías que ofrezcan las mejores propuestas, con el fin de impulsar las tecnologías limpias.

Estaciones de servicio de gas natural.

Alejandro Maldonado, Metano Ecológica, S.A. de C.V.

El gas natural es un energético fósil en forma de vapor que se compone principalmente de metano, en algunas partes de Estados Unidos existen compresores pequeños llamados *fuel makers* que son ideales para el suministro de hidrogeno a nivel residencial a un bajo costo.

Existen aplicaciones de las celdas de combustible, por ejemplo en monta cargas, lo cual es una solución para obtener cero emisiones en lugares cerrados.

Al ser creada una mayor infraestructura para los vehículos a gas natural comprimido ésta podrá ser aprovechada como un paso intermedio para los vehículos de celdas de combustible. En la Ciudad de México existen en operación varias estaciones de servicio.

Otras alternativas del gas natural es el metanol, el cual es un alcohol altamente tóxico que debe ser manejado con precaución, es un gran combustible producido principalmente de gas natural, aunque también se puede obtener del carbón y de residuos orgánicos como de la madera, por lo que comúnmente se le llama 'alcohol de madera'.