

1
291
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



LA INGENIERIA AUTOMOTRIZ PARA EL SIGLO XXI.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO
P R E S E N T A
JAUME AGUADE LOZANO

MEXICO, D. F.

1997



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.

A mis Papas, Tatiana, Yaya, Ana Laura y mis amigos.

Un agradecimiento especial al Ing. Manuel Viejo Zubicaray, director de este trabajo; Lic. Ana Maria Viejo, por su apoyo para las entrevistas en Pemex; Antonio Martínez y Alberto Marín, por su apoyo para las entrevistas en Volkswagen México.

ÍNDICE.

Introducción	1
Capítulo 1. Combustibles alternos.	11
1.1. Motores de celdas de energía para vehículos.	12
1.2. Celdas de energía de gasolina.	19
1.3. Combustibles alternos en los vehículos del futuro.	24
1.4. El hidrógeno como combustible alternativo.	30
1.5. Catalizador Ecolys.	35
Capítulo 2. Materiales alternos para mejorar la eficiencia térmica de un MCI.	38
2.1. Turbinas de gas cerámicas. Sistema de potencia híbrido.	39
2.2. Elementos de unión cerámico / metálicos para componentes avanzados de motores.	52
Capítulo 3. Vehículos eléctricos e híbridos.	59
3.1. Vehículos eléctricos e híbridos, un pronóstico a 25 años.	60
3.2. Transmisión híbrido-eléctrica del Chrysler Patriot.	63
3.3. Concepto híbrido de Chrysler.	70
3.4. Almacenaje de energía alterna.	75
3.5. Logros de la ingeniería vehicular de PNGV.	80
3.6. Ford P2000.	84
3.7. Modelo híbrido de Renault: Next.	86
3.8. Un nuevo punto de vista de la eficiencia de los vehículos híbrido eléctricos.	87

Capítulo 4. Perspectiva social.	91
4.1. Conduciendo vehículos más limpios.	98
Capítulo 5. Empresas representativas de la industria automotriz en México.	101
5.1. Producción y perspectiva en Pemex.	103
5.2. Volkswagen México.	108
5.3. Chrysler México.	114
5.4. U.N.A.M.	116
Capítulo 6. El medio ambiente en la ciudad de México.	118
Apéndice de abreviaciones.	134
Bibliografía.	136

INTRODUCCIÓN.

Es de todos sabido el que la industria automotriz es en su conjunto una de las más importantes mundialmente. La importancia de esta industria se funda principalmente en la comodidad que representa para el hombre tener un medio de transporte seguro y confiable pero, además porque tiene repercusiones directas e indirectas tanto en la sociedad como en la economía. Por lo que respecta a las repercusiones directas, podemos mencionar entre ellas: la generación de un considerable número de empleos en las plantas maquiladoras y la obtención de importantes ingresos económicos por concepto de impuestos.

Por lo que respecta a las repercusiones indirectas, podemos mencionar: el surgimiento de nuevas empresas proveedoras de autopartes para la industria automotriz, que a su vez contribuirá al desarrollo de otras empresas productoras de materias primas, lo que lleva implícito la generación de más empleos y mayores ingresos económicos. En cuanto a las repercusiones indirectas, una de las más importantes es sin duda el desarrollo de las industrias productoras de combustibles, ya que las refinerías de petróleo realizan grandes esfuerzos para que siempre haya gasolina disponible. Otra repercusión muy importante es la búsqueda de innovación tecnológica para la mejoría de los modelos automotrices que se encuentran en el mercado. Las plantas productoras basan su éxito en los diseños innovadores que presentan mayor comodidad y seguridad para los pasajeros, por esto la insaciable búsqueda de tecnología que presente éstas cualidades, además de rapidéz y facilidad de producción sin disminuir el control de calidad.

No obstante las múltiples bondades de la industria automotriz, no se pueden ignorar grandes inconvenientes que su desarrollo ha causado, principalmente en el medio ambiente y en el agotamiento de los recursos naturales necesarios para la producción de combustibles. Desde luego no toda la contaminación que hay en la capa atmosférica proviene únicamente de los vehículos, también se debe tomar en cuenta la existencia de grandes plantas industriales. No hay que olvidar que el parque vehicular mundial es muy numeroso y el causante principal de la contaminación en las zonas urbanas; este problema se agrava considerablemente en la ciudad de México que prácticamente es la única en el mundo que tiene sus parques industriales dentro de la zona urbana.

Para subsanar estas desventajas, se creó una sociedad en los Estados Unidos para el desarrollo de los autos de la "nueva generación". Esta sociedad toma de aquí su nombre, sociedad para la nueva generación de vehículos (PNGV, Partnership for a New Generation of Vehicles). PNGV anunció en septiembre de 1993 una colaboración sin precedentes entre el gobierno de Estados Unidos y el consejo para investigación automotriz de Estados Unidos (USCAR, US Council for Automotive Research) representada por Chrysler, Ford y General Motors. La intención de la PNGV es reforzar la competitividad en EUA desarrollando tecnologías para la nueva generación de vehículos con eficiencias energéticas y amigables con el medio ambiente. La sociedad busca unir los esfuerzos de ocho agencias federales y laboratorios nacionales con los constructores de autos americanos en la búsqueda de tres metas específicas:

Objetivo 1: Mejorar significativamente la competitividad nacional en manufactura. El propósito de esto es mejorar la productividad y la tecnología de los Estados Unidos de América, incluyendo la adopción de manufactura ágil y flexible que reduzca costos y tiempos. Se enfatizan las tecnologías que también reduzcan los impactos ambientales de dicha manufactura y/o mejoren la calidad del producto.

Objetivo 2: Implementar innovaciones comercialmente viables de investigaciones actuales en vehículos convencionales. El propósito de este objetivo es perseguir avances en la tecnología vehicular que lleven a mejorar la eficiencia del combustible y emisiones de los diseños de vehículos estándar, manteniendo la seguridad y rendimiento, implementando las innovaciones en vehículos convencionales.

Objetivo 3: Desarrollar un vehículo que consiga elevar hasta tres veces la eficiencia del combustible de los vehículos actuales comparables. En una década, el propósito de este objetivo es conseguir mejoras en la eficiencia del combustible hasta tres veces el promedio de 26.6 mpg de los modelos 1994 Chrysler Concorde, Ford Taurus, y Chevrolet Lumina y tener precios de venta equivalentes a dichos vehículos. Este nuevo, y revolucionario vehículo no debe tener un costo de adquisición y operación mayor que los vehículos mencionados anteriormente atendiendo a las necesidades del cliente: calidad, rendimiento y utilidad.

Con base a estos tres objetivos, la revista Automotive Engineering, publicada por SAE, realizó una encuesta con los profesionales de la industria automotriz en EUA, en la cual respondieron a la pregunta, "¿Cómo se verá el automóvil dentro de 100 años?" Cabe mencionar que leer los pronósticos de 1996 puede ser una realidad de los ingenieros, diseñadores, investigadores y científicos de otras generaciones después de que abran las puertas a los descubrimientos del futuro. Aquí se presentan algunas de las respuestas que de alguna forma tienen una base lógica.¹

Una opinión personal- Todos los vehículos, incluyendo camiones y tractores, tendrán líneas de conducción eléctricas (motores eléctricos con diferentes combinaciones de almacenamiento de energía a bordo y capacidad de generación de potencia eléctrica). La idea de quemar combustibles fósiles en motores de combustión interna recíprocos se considerará como una práctica muy primitiva. La mayoría de los automóviles serán vendidos como vehículos eléctricos (VE) con diferentes distancias de recorrido y capacidad de pasajeros; los vehículos híbrido eléctricos proveerán distancias de recorrido ilimitadas con alta economía de combustible y bajas emisiones. Los motores de combustión interna serán pequeñas turbinas de gas con materiales cerámicos avanzados, y su combustible será gas natural o alcohol. Los autobuses serán ya sea puramente eléctricos o híbrido eléctricos; los camiones para trabajos pesados serán híbrido eléctricos con poca capacidad de distancia puramente eléctrica (como las locomotoras diesel eléctricas de hoy pero con turbinas de gas). Los camiones de trabajos medios serán ya sea eléctricos o híbrido eléctricos. Los combustibles serán a elección gas natural o alcohol. Las celdas de energía podrán ir a bordo como una alternativa para las turbinas de gas en los híbridos, pero la mayoría de las celdas de combustible serán utilizadas para generar electricidad y distribuirla con muy bajas emisiones comparadas con las estaciones de generación de energía eléctrica actuales. Los materiales plásticos compuestos sustituirán al aluminio y al acero en los automóviles. Lo que se conoce ahora como técnicas de producción flexibles de volúmenes altos será sustituida por lo que ya se conoce como técnicas de producción de volúmenes bajos, con mucho mayor flexibilidad. La industria automotriz se convertirá en un híbrido de lo que hoy en día son las industrias de electrónica consumible y aeroespacial. Productos altamente funcionales incorporarán alta tecnología. La gente comprará los autos dependiendo de que tan bien realizan muchas de las acciones que les son propias. Como en el caso de la industria aérea, no habrá mucho espacio para estilizar el interior o el exterior; los vehículos serán bonitos y atractivos debido a su funcionalidad. ¿Alguna vez han visto un avión feo? El mantenimiento será algo del pasado. Los autos funcionarán como una pieza de alta

¹Automotive Engineering SAE, septiembre 1996.

electrónica. Servirán al dueño hasta que se vuelvan obsoletos y sean sustituidos por nuevos y mejores productos.

Bill Mason, ingeniero en jefe del Volvo Monitoring & Concept Center en Camarillo, CA.

Si nosotros supiéramos como será el diseño, trataríamos de hacerlo ahora. Si nos vamos 100 años atrás, casi no se hablaba del concepto de vehículos autónomos, ya que el transporte era a pie o a caballo. Pero la idea de movilidad personal estará con nosotros 100 años y más. Como tecnología, las cuatro ruedas siguen siendo una buena forma de desplazarse. Hay un 50% de posibilidades de que el automóvil del 2096 sea de cuatro pasajeros y sobre cuatro ruedas. Sin embargo, por todo lo que sabemos, el transporte podría darse en forma de un paquete de energía que permitiera a una persona moverse de manera tal que nosotros ni siquiera conocemos. En 1896, estábamos en la búsqueda de volar, pero la única manera era en globos aerostáticos. Es realmente difícil predecir como serán los automóviles dentro de cien años, aunque lo básico no cambiará mucho en los próximos 30 años.

Ron Hill, Director del departamento de transporte y diseño de Art Center College of Design en Pasadena, CA.

En lo personal creo que veremos una industria del transporte personal dentro de 100 años. Esto lo baso en lo siguiente: el público general se ha obsesionado con la comodidad y la satisfacción inmediatas; el consumismo continuará dictando el comportamiento de la sociedad a menos que ocurra una seria depresión; la infraestructura automotriz existente es una cuestión política que será difícil de desintegrar rápidamente; y las compañías automotrices preferirán adaptarse y sobrevivir. ¿Los vehículos del futuro tendrán la forma y tecnología de los de hoy en día? Absolutamente no. La tecnología continuará evolucionando en todos los frentes. Las cuestiones de recursos naturales y ambientales conducirán a cambiar las fuentes de energía de combustible basados en el petróleo a gas natural, los vehículos eléctricos serán impulsados por celdas de combustible, o posiblemente celdas solares. El auto del futuro será tan limpio ambientalmente que casi podremos comérnoslo. La electrónica continuará proliferando. Como resultado de las tendencias de las fuentes de energía y sistemas eléctricos, la tecnología de transmisión de hoy en día será completamente redefinida.

El reciclaje será un punto importantísimo en el diseño. Las restricciones en los procesos de manufactura también dictarán las tendencias de materiales y diseños. También predigo una amplia variedad de vehículos (tipo, tamaño, y estilo) volviendo a lo básico, sin olvidar las opciones de un transporte ligero y capaz de recorrer grandes distancias en ciudades y carreteras.

John S. Van Alstyne, Director de ventas y mercadotecnia de Rubber Products Division, Freudenberg-NOK, Plymouth, MI.

Es una pregunta difícil de contestar ya que no sabemos si habrá industria automotriz privada en 100 años, especialmente si consideramos los problemas ambientales que creamos con la presente práctica en el diseño. Comúnmente respondo preguntas acerca del futuro viendo la historia. Este año los ojos estarán con los diseños clásicos. Si observamos los Ford 1949 con un cuerpo envolvente completo, podemos ver que sus proporciones generales se acercan mucho a los sedán de hoy en día. Las cosas no han cambiado mucho en 47 años, y sin embargo, podemos presumir que está configuración será el paquete dominante en muchos años. De cualquier manera, la aceptación de la configuración de minivan significa que hay oportunidades de hacer autos más pequeños y ligeros sin sacrificar espacio interior. El Mercedes Benz clase A es para mí el auto más significativo de la década. Influenciará a todos los demás fabricantes porque ofrece la seguridad de un auto grande con todos los beneficios de un auto compacto en términos de economía de operación y fabricación. Los mayores cambios se darán en las transmisiones donde su desarrollo estará fijado por los problemas ambientales. La aerodinámica eficiente jugará un papel importante en la vista de los vehículos. De cualquier manera, el principal papel del diseñador industrial será dar estética y belleza a cualquiera que sea la configuración automotriz dentro de 100 años.

Carl Orsen, Jefe de diseño y transporte de Center for Creative Studies, Detroit, MI.

Debido a que las fuentes de gasolina estarán agotadas para el 2096, ya no existirán los autos impulsados por gasolina. En lugar de esto, los automovilistas usarán dos tipos de fuentes de energía, uno para la ciudad y otro para la carretera. Para manejar en la ciudad, el conductor tendrá que ir a los supermercados a comprar celdas atómicas del tamaño de una batería para impulsar el auto. Los conductores sabrán de las estaciones de gasolina como parte de la historia. De cualquier manera, la potencia de celdas atómicas no serán necesarias en las carreteras ya que éstas estarán automatizadas con energía magnética que será posible con la superconductividad a temperatura ambiente. Con esta energía, los autos flotarán sobre el piso alineados por computadora. Por ejemplo, cuando el conductor quiera cambiar de carril, éste apretará el botón adecuado de la computadora de su auto. Esta computadora estará ligada a la computadora central nacional la cual espaciará y alineará los autos para que se pueda cambiar de carril sin ocasionar un accidente. Históricamente, cada 100 años hay un avance importante en física, así que podemos esperar un avance dramático en los próximos 100 años que cambiará todas nuestras especulaciones sobre el próximo siglo.

Andy Kataoka, Presidente de Denso International America.

Para cumplir con los objetivos de PNGV se debe tomar en cuenta que la reducción en la masa total de los vehículos es un factor determinante. A continuación se presentan los logros realizados por los grupos incorporados a PNGV con respecto a materiales.² Las tecnologías de nuevos materiales son claves para eliminar peso al automóvil del futuro. Así como encontrar nuevas fuentes de energía para el superauto del futuro representa un reto, también lo es el reducir la masa total vehicular hasta en un 40% o 544 kg comparado con los vehículos actuales. Al igual que los equipos técnicos de PNGV exploran las tecnologías de electrónica, almacenaje de energía, y generación de energía para producir los prototipos hacia el año 2004, el equipo de materiales trabaja para cumplir los objetivos de reducción de masa total a través del uso de materiales candidatos tales como compuestos, magnesio, cerámicos, y nuevos tipos de acero. Lo siguiente es un resumen de los desarrollos más significativos así como tecnologías, técnicas, y procesos que están habilitando el uso de materiales más ligeros en el diseño.

ESTRUCTURAS DE METAL LIGERAS.

Para reducir los sedán de tamaño medio, las estructuras tendrán que reducir casi la mitad de su peso actual. El material primordial utilizado en la fabricación de estructuras, continúa siendo un candidato para los vehículos de la siguiente generación. El desarrollo de aceros de altas cualidades, métodos avanzados de manufactura, y diseños estructurales avanzados demuestran el potencial del acero para aplicaciones de menor peso.

Más de treinta productores de acero alrededor del mundo se han unido para desarrollar el cuerpo automotriz ultraligero (ULSAB, ultralight steel auto body). El ULSAB está compuesto de varias hojas de acero incluyendo los tipos de alta resistencia a la tensión, templado, e isotrópico. Cada uno está manufacturado por procesos de formación apropiados. Para unirlos se utilizan las técnicas de soldadura y adhesivos. Estos métodos y aproximaciones de diseño permiten a los diseñadores reducir el número de componentes.

²REALIZACIÓN DE MATERIALES DE PNGV. Escrito por Carolyn Taylor, editora asistente de Automotive Engineering, diciembre de 1996.

Cumpliendo con un gran rango de objetivos con respecto a la masa, rigidez y costo, el ULSAB está proyectado para pesar $\frac{1}{4}$ menos que las estructuras de referencia, es 132% más rígida, y está estimada a costar \$154 USD menos que las estructuras convencionales por cada vehículo.

El uso de acero inoxidable más ligero en las estructuras vehiculares también tiene el potencial de acercarse a los objetivos de PNGV de reducción de peso. La sociedad formada por Autokinetics Inc. y Armcoc Inc. trabaja en el desarrollo de un diseño conceptual construido de canales de acero inoxidable cold rolled soldado a juntas delgadas de fundición. Este acercamiento minimiza las operaciones de selección de materiales de alta resistencia a la tensión, y maximiza la habilidad de los materiales fundidos de acomodarse a la complejidad. Trabajando con las propiedades físicas del acero inoxidable, este diseño provee un mayor nivel de rigidez a la estructura que las estructuras convencionales de una sola pieza y resulta en una reducción de masa estructural de un 40 a 50%.

FABRICACIÓN DE COMPONENTES LIGEROS.

La reducción de peso no se refiere únicamente a los materiales usados en la estructura del vehículo. La PNGV también busca reducir el peso en varias partes, componentes, y sistemas del vehículo. De hecho la transmisión del superauto será 10% más ligera; y el chasis hasta 50% más ligero. Para estos fines, se exploran las tecnologías de manufactura para el uso de materiales más ligeros.

Un programa bajo la inspección de PNGV es la esperanza para lograr la reducción del costo del aluminio fundido y componentes de magnesio. Se esperan ahorros por el refinamiento en el diseño de los productos, hacer más comunes las aleaciones, estandarización de los procedimientos de pruebas, y mejoras en los procesos. Las actividades principales se enfocan a desarrollar una base de datos relacionada con el diseño y producto de fundiciones. Cuando se presente a la industria en forma de caja de herramientas, se podrá usar en el desarrollo de componentes más ligeros de aluminio y magnesio fundidos, tales como el chasis y otros subsistemas, contribuyendo así a la reducción del peso total del vehículo.

Otro programa está desarrollando tecnologías de costo efectivo para la producción de grandes volúmenes de componentes complejos de materiales compuestos. Todo se enfoca en el proceso SRIM (structural reaction injection molding). Aunque, un proceso de manufactura efectivo, la identificación de materiales crudos, tiempos de ciclo, y costos de manufactura han sido un obstáculo en el proceso SRIM. Investigadores asociados con proveedores clave han producido una caja y puerta de la caja de una pick-up salvando estos obstáculos con los acercamientos técnicos siguientes:

- moldeando diseños de herramientas que facilitan la producción de componentes de materiales compuestos con alta repetibilidad, y con el
- moldeado de equipos y procesamiento de resina para producción de partes grandes en tiempos de ciclo cortos.

EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.

Los materiales compuestos tienen el mayor potencial para cumplir o hasta exceder las metas de reducción de peso de PNGV. Sin embargo, el costo es una barrera para la comercialización de dichos materiales en la industria automotriz. La falta de durabilidad en las pruebas y los datos resultantes es otra barrera. A la fecha PNGV ha enfatizado el desarrollo de herramientas analíticas, recopilación de datos, y estandarización de métodos de pruebas para que los diseñadores puedan aprovechar de las muchas ventajas de ahorro de masa que los materiales compuestos.

El desarrollo de herramientas analíticas para investigar las habilidades de los materiales compuestos durante un choque es dirigido por ACC (Automotive Composites Consortium) en cooperación con SCAAP (supercomputer automotive applications partnership). Su trabajo involucra el mejoramiento de las capacidades del modelado por computadora con respecto a los materiales compuestos durante un análisis de choque, generación automática de mallas, y dinámica de fluidos computacional. A través de una prueba extensiva de laboratorio de choque, usando un vehículo rediseñado con componentes de materiales compuestos factibles para producción, así como la evaluación experimental de varios materiales compuestos, esta sociedad está desarrollando métodos de predicción de choques y líneas guía para el diseño en la parte frontal de las estructuras.

Para eliminar las pruebas redundantes y proveer datos comparables redituables, ACC ha establecido métodos de prueba estandarizados para polímeros compuestos. Hasta la fecha, se ha publicado un manual de procedimientos de pruebas que ha sido adoptado por la SAE como la norma J2253. Usando los métodos especificados por el manual, ACC y sus compañías proveedoras han generado datos para 35 materiales compuestos conteniendo varias combinaciones de fibras reforzantes y polímeros. La estandarización que se está realizando actualmente está dirigida a definir el desempeño de compuestos polímeros y adhesivos en un ambiente automotriz.

Mientras tanto el laboratorio de Oak Ridge (ORNL, Oak Ridge national laboratory), trabaja en conjunto con ACC para evaluar la respuesta de los compuestos estructurales automotrices básicos a los factores de durabilidad tales como fatiga estructural, resistencia al impacto, y exposición a fluidos automotrices típicos. Se han diseñado y construido nuevas instalaciones de pruebas, equipo, y hardware en ORNL para estudiar dichos factores de durabilidad y especialmente los efectos de los peligros de rutina en las calles tales como grava, granizo, y otros impactos de alta y baja velocidad.

Para que se puedan llevar a cabo los objetivos de PNGV se desarrollan tres programas de investigación que permitirán tomar decisiones sobre la tecnología a utilizar en la fabricación de los vehículos en un futuro no muy lejano. Estos tres proyectos son: búsqueda de combustibles alternos; búsqueda de materiales para mejorar la eficiencia térmica en los motores de combustión interna (MCI); y sistemas de propulsión eléctricos e híbrido eléctricos.

CAPÍTULO 1.
COMBUSTIBLES ALTERNOS.

1.1. MOTORES DE CELDAS DE ENERGÍA PARA VEHÍCULOS.³

La crisis petrolera de 1973 en los Estados Unidos estimuló el desarrollo de fuentes de energía automotriz alternas, incluyendo los vehículos eléctricos para transportación urbana. Durante este período, el motivo primordial era la independencia de los proveedores de petróleo extranjeros. Las baterías disponibles entonces eran de Pb/ácido y Ni/Cd, ambas con baja densidad de energía que restringía las distancias de recorrido.

Esta característica impulsó a los investigadores a considerar las celdas de combustible como una fuente de energía. En las baterías recargables, la energía se almacena químicamente en los electrodos, limitando físicamente la cantidad de energía almacenada. De cualquier manera, en una celda de combustible, la energía se almacena afuera de los electrodos, como la gasolina en los autos de combustión interna. De esta manera, sólo la cantidad de combustible almacenado en el tanque limita la distancia de recorrido.

Principio de funcionamiento de las celdas de energía.

La celda de energía data desde 1839 cuando Sir William Groves la demostró. Aunque las celdas de energía se usaron en las primeras exploraciones espaciales, los esfuerzos serios para usar un motor de celda de energía para un VE no empezaron hasta finales de los 80's, cuando el departamento de energía de E.U. (DOE, department of energy) dio incentivos para la investigación y el desarrollo de los sistemas de celdas de energía para aplicaciones del transporte. Desde 1987, DOE ha premiado contratos por el desarrollo de: un pequeño camión urbano impulsado por una celda de ácido fosfórico alimentada con metanol (PAFC, phosphoric acid fuel cell), un sistema de 50 kW de membranas de intercambio de protones (PEMFC, proton exchange membrane fuel cell) con reformador de metano a bordo, y sistemas de PEMFC alimentados directamente con hidrógeno para vehículos de tamaño medio.

Groves basó su descubrimiento en la reversibilidad termodinámica de la electrólisis del agua. La reacción electroquímica reversible para la electrólisis del agua es:

³ MOTORES DE CELDAS DE COMBUSTIBLE PARA VEHÍCULOS. Escrito por Djong-Gie Oei, Ford Motor Company, para Automotive Engineering SAE, febrero de 1997.

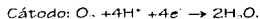


Groves detectó exitosamente la corriente eléctrica que fluye a través de los conductores externos cuando se alimenta hidrógeno y oxígeno a los dos electrodos de la celda electrofítica. Juntando varias de estas celdas de combustible, observó que cinco de sus asistentes sentían un toque al juntar las manos.

La reacción electroquímica para la celda de energía es:

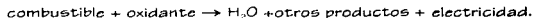


La operación y la reacción secundaria de la celda de energía son simples, como se muestra en la figura 1. El gas hidrógeno es alimentado al ánodo y reacciona electroquímicamente en la superficie del electrodo para formar protones y electrones. Los electrones viajan a través del electrodo y los conductores de conexión hacia una carga eléctrica, como un motor, y hacia el cátodo de la celda de energía. En el cátodo, los electrones reaccionan con el oxígeno y los protones previamente producidos por el agua. Los catalizadores de platino aumentan la velocidad de la reacción, produciendo cantidades prácticas de corriente. Las reacciones electroquímicas anódicas y catódicas son:



Actualmente, hay cinco diseños principales de celdas de combustible, cada uno descrito por el electrolito conductor en la celda, como muestra la tabla 1. Las reacciones anódicas y catódicas para las diferentes celdas difiere de alguna manera. En las celdas de energía alcalinas y de ácido, las especies conductoras electrolíticas son los protones y los iones hidróxidos, los productos de la disociación del agua.

El combustible para operar una celda de energía no está restringido únicamente al hidrógeno, y la reacción electroquímica total es:



El agua y la electricidad son los únicos productos de la celda alimentada por hidrógeno.

TABLA 1. DISEÑOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE				
Tipo	electrolito	temperatura °C	características	Aplicaciones
Alcalina (AFC)	KOH (OH ⁻)	60-120	alta eficiencia, CO ₂ sensitivo	Espacio, defensa
PEMFC	electrolito polimérico (H ⁺)	20-120	alta densidad de potencia, operación flexible	Espacio, vehículos, estacionaria
PAFC	ácido fosfórico (H ⁺)	160-220	eficiencia limitada, corrosión	Estacionaria, vehículos grandes
MCFC	carbonatos fundidos (CO ₃ ⁻)	550-650	control complejo, corrosión	Estacionaria, generación de potencia/calor
Óxido sólido (SOFC)	óxido de Zr sólido (O ⁻)	850-1000	alta eficiencia, cerámica mejorada	Estacionaria, generación de potencia/calor

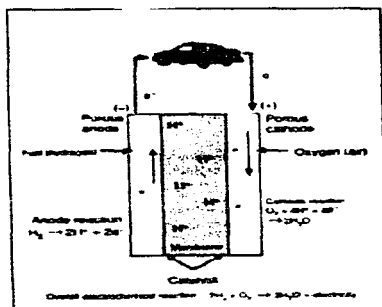


FIGURA 1. Operación básica de una celda de energía.

Seguindo la observación de Groves de que la corriente producida por la celda de energía dependía de la acción superficial de los electrodos, el trabajo empezó en mejorar las áreas activas de los electrodos. La eficiencia termodinámica de una celda de energía es la relación entre la energía libre y la entalpía de la reacción electroquímica. Para la mayoría de las reacciones electroquímicas en la celda de energía, la eficiencia es de 90% o más.

Similar a las pérdidas en los motores térmicos, los motores electroquímicos pierden eficiencia debido al sobre potencial de las reacciones anódicas y catódicas, la resistencia interna de la celda, y problemas de transferencia de masa. Un beneficio adicional de la celda de energía es su alta eficiencia bajo cargas parciales, mientras que el motor térmico es mucho más eficiente a toda potencia, como muestra la figura 2.

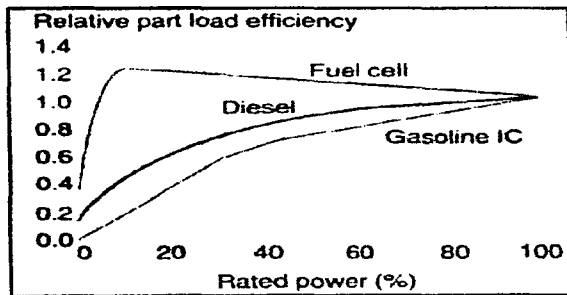


FIGURA 2. Comparación de potencia según la fuente de energía.

El circuito de voltaje abierto (OCV, open circuit voltage), o voltaje de equilibrio, de la celda de energía mostrado en la figura 1 es sólo 1.23 V sin corriente fluyendo a través del circuito. Así que la corriente fluye hacia la celda con carga conectada en las terminales, hay una caída de voltaje y la eficiencia de la celda decrece, como muestra la figura 3.

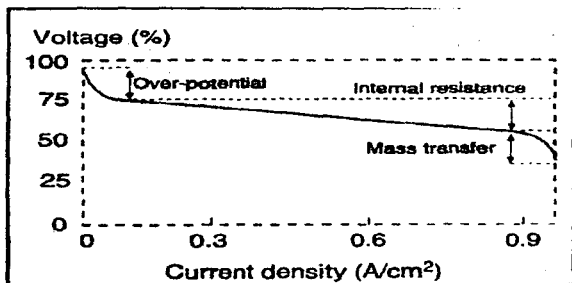


FIGURA 3. Densidad de corriente y voltaje entregados.

En cuanto se retira la corriente, las caídas de voltaje inicial y pico, representan el sobre potencial de las reacciones en los electrodos. Esto es la suma del sobre potencial anódico y catódico. En términos simples, es el voltaje requerido para sobreponer la barrera potencial de las reacciones de oxígeno e hidrógeno en los electrodos. La siguiente caída de potencial gradual es la de voltaje en el electrolito, seguida de las caídas final y pico bajo densidad de corriente alta debido a la inadecuada transferencia de masa de las especies reactivas de los electrodos. Progresos recientes en el desarrollo de celdas de energía muestran que la densidad de corriente de 0.8-1.2 A/cm² es posible por una celda simple con un rango de 0.55-0.75 V.

Muchas celdas simples deben ensamblarse en serie o en paralelo para formar un grupo de celdas de voltaje, corriente, y potencia deseados. Uno o más de estos grupos son construidos con bombas, humidificadores, y filtros de gas para formar un sistema de celda de energía o motor de celda de energía. Un compresor de aire presuriza el aire, incrementando la alimentación de oxígeno, mientras que el humidificador es requerido ya que la membrana PEM conduce a los protones en el electrolito a través de un ambiente acuoso.

Con un consumo de energía para el equipo auxiliar, la eficiencia práctica del sistema será aún más baja que la derivada de la curva de polarización de la figura 3. Algunos

estimados de las pérdidas de eficiencia total para el subsistema de celda de energía están en el rango de 40-50%, resultando así en una eficiencia práctica de 50-60%. Ésta es aún mayor que las eficiencias térmicas prácticas de los motores de combustión interna, que son de 23-35%.

Cuestiones técnicas y económicas.

Todas las características deseables con las que cuentan las celdas de energía no son suficientes para vencer las barreras con las que aún cuenta para ser una posibilidad comercial. Se ha utilizado una cantidad considerable de Pt como catalizador para cumplir con los requisitos actuales. Grupos de celdas de energía fueron utilizados para un programa espacial cargados de Pt, y operaban con hidrógeno y oxígeno puro. Se requiere aún más catalizador para la misma potencia con aire con un 20% de O_2 . Para aplicaciones de transporte, se debe reducir el contenido de Pt como catalizador y se debe mejorar la operación con aire del grupo de celdas.

Generalmente, la densidad de potencia del subsistema de celda de energía es 30-35% la densidad de potencia del grupo de celdas, el cual para este caso es una densidad de potencia del sistema de 0.3-0.35 kW/L. La mayoría de los motores de combustión interna tienen densidades de potencia de aproximadamente 1 kW/L, mostrando que se requieren más mejoras para tener una paridad con motores de combustión. Una vez que se logra la paridad, el reto final es el costo.

Otro reto de cara al vehículo con motor de PEMFC es el almacenaje a bordo de hidrógeno. Químicamente, el hidrógeno se puede almacenar en un hidruro metálico recargable, o en un compuesto de hidruro que suelta hidrógeno al contacto con el agua. Físicamente, el hidrógeno se puede almacenar como gas comprimido, líquido criogénicamente enfriado, o por absorción en una superficie.

Industrialmente se tiene mucha experiencia almacenando gas natural comprimido (CNG, compressed natural gas), se trata de aplicar este conocimiento al almacenaje de hidrógeno. El almacenaje de CNG requiere 25 MPa de presión para contener el volumen requerido de CNG para un viaje de 560 km. El hidrógeno es un gas mucho más ligero que requiere mucho mayor presión. El tamaño del tanque requerido para contener 6.8 kg de

hidrógeno en un auto con motor 1.3 L, de 1500 kg de peso y con distancia de recorrido de 560 km, es de 340 L a 25 MPa, y de 160 L a 52 MPa. Un tanque de gasolina típico para un auto con tales características es de 70 L.

Status de PEMFC en automóviles.

Se calcularon los requisitos de potencia para tres tamaños de vehículos: un auto pequeño con motor 1.3 L y 1250 kg de masa, un auto de tamaño medio con motor 3 L y 1750 kg de masa, y una van con motor 5 L y 2800 kg de masa. Un programa de simulación vehicular proveía los cálculos usando requisitos tales como mantener una velocidad de 80 km/h en una subida con 7° de inclinación. El auto pequeño requiere una celda de 50 kW con una masa de 150 kg, el auto mediano requiere una celda de 95 kW con una masa de 285 kg, y la van requiere una celda de 125 kW con una masa de 375 kg. Sustituyendo el material del vehículo por aluminio ahorra 285 kg y reduce la potencia de la celda a 80 kW en el auto mediano.

Para una distancia de 560 km, el auto pequeño requiere 5 kg de hidrógeno, el auto mediano de aluminio requiere 6 kg de hidrógeno, y la van 11 kg. El almacenaje a bordo a una presión de 34 MPa requiere un volumen de 150 L, 180 L, y 330 L respectivamente. La van es el único auto que puede acomodar el motor de celda de combustible, sus accesorios, y el tanque de gas comprimido sin perder espacio de carga o asientos.

Aunque el vehículo con motor PEMFC es un vehículo de cero emisiones (ZEV, zero emissions vehicle), todavía faltan muchos retos por vencer. Es por esto que se realizan numerosos esfuerzos por desarrollar esta tecnología y poderla utilizar en la industria automotriz.

1.2. CELDAS DE ENERGÍA DE GASOLINA.⁴

Las celdas de energía pueden, en un futuro no muy lejano, ser la fuente de energía de los vehículos familiares y cumplir con rendimiento en economía de combustible y niveles de emisiones que actualmente son un sueño. Las características de casi cero emisiones, buen rendimiento, y rápido recargue, demuestran que las celdas de energía son dignas de investigación.

Chrysler busca tecnologías de propulsión avanzadas que puedan ser aplicables a los autos del futuro. Está invirtiendo en tecnologías a largo plazo que pueden ser benéficas para la sociedad, pero que aún no tienen demanda. Las celdas de energía son un buen ejemplo de este tipo de inversión, y además tienen el potencial de ser la última fuente de potencia si se dirigen correctamente los retos a vencer. Es en esta área que Chrysler dice haber logrado un progreso.

Los ingenieros de la compañía están ayudando a desarrollar un método que extraiga el hidrógeno de la gasolina el cual podría reducir diez años la introducción de las celdas de energía como fuente de potencia práctica para los sedán del futuro. Los prototipos en producción podrían estar listos a mediados de la próxima década. Al presentar este avance en el North American International Auto Show, se dijo que la tecnología para procesar el combustible a bordo es significativa, ya que dirige el reto más difícil de vencer, la falta de infraestructura para proveer hidrógeno, el gas utilizado para generar electricidad en las celdas de energía.

El hidrógeno debe ser procesado de la gasolina a bordo ya que el hidrógeno no es una opción práctica actualmente, simplemente porque no hay estaciones para suministrarlo en un mercado masivo. Se dijo también que la infraestructura de distribución de gasolina, una inversión de 200 billones USD, no va a cambiar de la noche a la mañana sólo porque las compañías automotrices tienen prototipos de celdas de energía

⁴ CELDAS DE COMBUSTIBLE DE GASOLINA. Escrito por Kevin Jost, editor asociado Automotive Engineering SAE, febrero de 1997.

alimentadas por hidrógeno o metano. Además es mucho más fácil almacenar gasolina que hidrógeno a bordo, ya que la gasolina ocupa 3000 veces menos espacio que el hidrógeno.

Desarrollando un procesador de combustible dispuesto a bordo del vehículo, Chrysler está tratando de adaptar tecnología que cumpla con las necesidades de los consumidores y no viceversa. En este acercamiento, la gente aún recargará la gasolina de sus vehículos de la misma manera que lo hace actualmente, y los tanques de gasolina de los vehículos podrán ser aún más pequeños. El desarrollo de este procesador ayudará a abrir las puertas al uso de las celdas de energía como fuente de potencia primaria en un sistema híbrido que cumpla con las demandas de rendimiento y distancia de operación de los consumidores.

Las celdas de energía, usadas extensivamente en aeronaves espaciales, tienen potencial porque pueden producir energía eléctrica a temperatura ambiente con virtualmente cero emisiones. Pueden recorrer la misma distancia que los vehículos impulsados por gasolina y pueden mejorar la economía de combustible significativamente.

Uno de los retos que aún quedan por vencer es reducir el costo de las celdas de combustible. Hace diez años, las celdas de energía eran 1000 veces más caras, ahora están 10 veces arriba del costo, es decir, si un sistema de transmisión cuesta \$3000 USD, la celda de energía cuesta \$30000 USD, lo cual es obviamente muy caro. Las celdas de energía producidas en masa costarían \$200 USD/kW usando las técnicas de producción actuales. (Las transmisiones convencionales cuestan \$30 USD/kW actualmente).

La tecnología de procesar la gasolina, de Chrysler, esencialmente convierte gasolina a hidrógeno, dióxido de carbono (CO_2), y agua (H_2O) en una reacción química multifásica. Se pueden usar otros combustibles; gasolina, diesel, metano, y alcohol son igualmente candidatos porque el procesador puede quemar cualquier cosa. El acercamiento está basado en tecnologías existentes. Por ejemplo, oxidación parcial, una de las fases del proceso, es común en el refinamiento de petróleo.

La potencia saldrá de un grupo de celdas que energizarán motores eléctricos los cuales conducirán las ruedas traseras. Como el grupo de celdas es modular, se puede

hacer en varios tipos de arreglos para ocupar poco espacio a bordo. La forma más común, será un cilindro de 200 mm de diámetro por 1.5 m de largo, dispuesto en un túnel en la parte inferior del vehículo, en lugar de la flecha de transmisión para un arreglo de transmisión trasera. Debido a la eficiencia mejorada de la celda de energía, el tanque de gasolina será menor al actual de 68-75 litros. A diferencia de las baterías, las celdas de energía y el procesador generan calor que puede ser utilizado para calentar la cabina de pasajeros.

Se prevé que el tanque de gasolina estará en la parte posterior del auto como lo está actualmente, junto con el grupo de baterías, el controlador y el motor. Las baterías ocuparan un espacio relativamente pequeño, mientras que el controlador será comparable con una maleta larga; sin embargo, aún habrá suficiente espacio de caja.

Procesamiento de la gasolina.

Los componentes de procesamiento de gasolina del concepto de Chrysler están dispuestos debajo del cofre. La gasolina se calienta para convertirla de líquido a gas en un quemador / evaporador de gasolina, un cilindro de aproximadamente 150 mm de diámetro y 500 mm de largo. Éste asegura una combustión más limpia.

La gasolina vaporizada se procesa en un reactor de gasolina de oxidación parcial (POX, partial oxidation), esencialmente un cilindro metálico con una bujía para iniciar la quema parcial. Según la configuración presentada, éste es un cilindro de 350 mm de diámetro y 560 mm de largo. Limitando la cantidad de aire en este medio de baja presión, se producen hidrógeno y monóxido de carbono (CO). El azufre en la gasolina se convierte en gas hidrógeno sulfúrico y después filtrado por el vapor en este punto.

Como el CO envenena las celdas de energía, se debe eliminar o reducir a niveles mínimos (10 ppm). El agua se introduce como vapor, y trabajando con catalizadores de óxido de cobre y óxido de cinc, convierten casi todo el CO a CO₂. En esta etapa se produce hidrógeno combustible adicional.

Mientras que el vapor se ha convertido de aproximadamente 30% CO a un gas rico en hidrógeno, aún quedan 10000 ppm de CO. En la etapa de oxidación preferencial (PROX, preferential oxidation), a este gas se le inyecta aire, el cual reacciona con el CO restante

dentro de un catalizador de platino para producir CO_2 , dejando únicamente rastros de CO (menos de 10 ppm).

Fuel cells that run on gasoline

Chrysler's approach to fuel cells is unique because it uses gasoline, which is a readily available fuel, that could move the fuel cell technology 10 years closer to reality. It also improves fuel efficiency by 50 percent and is 90 percent cleaner. It internally produces electricity on board the vehicle via a five-step process.

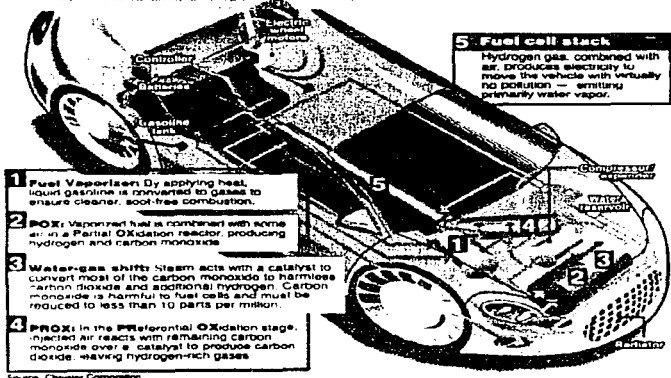


FIGURA 4. Prototipo de vehículo con celda de energía de gasolina.

La unidad para el proceso de inyección de vapor y aire (conversión de agua a gas y PROX), junto con un dispositivo de extracción de azufre, es aproximadamente del mismo tamaño que el quemador / evaporador. Se requiere un compresor de aire pequeño de 300 mm de diámetro y 300 mm de largo, aunque podría ser aún más pequeño.

El proceso requiere de un intercambiador de calor para mantener un rendimiento efectivo ya que el gas limpio se debe enfriar hasta 80 °C, temperatura a la que las celdas

de energía operan mejor. El radiador de la celda de energía es comparable con los radiadores de los vehículos actuales y puede controlar todo el calor desperdiciado.

El sistema puede incluir un escape para los biproductos: CO_2 , N_2 , y H_2O , mucho de lo que será usado en el proceso de reformación.

Futuro desarrollo.

Chrysler trabaja para desarrollar modelos que sirvan para comprobar su factibilidad. Se debe incluir la habilidad de encendido inmediato del sistema, respuesta rápida a la aceleración, y rendimiento eficiente. Los retos claves son mantener bajos los niveles de emisiones y evitar que el CO y el azufre contaminen la celda de energía.

Se han logrado progresos en el tamaño del grupo de celdas, y las densidades de potencia de las celdas se han incrementado hasta más de 1 kW/L. Sin embargo, todavía hay mucho por hacer con el resto de los componentes necesarios para una configuración híbrida.

Una cuestión menos crítica para el sistema completo, es cuanta potencia de batería se requiere. Se requieren las baterías para calentar el sistema a temperaturas de operación, energizar las bujías en el vaporizador y en el procesador POX, y para proveer propulsión y potencia auxiliar al mismo tiempo, antes de que la celda de energía llegue a su temperatura de operación (aproximadamente 5 minutos con tecnología actual). Se requerirán baterías avanzadas, probablemente litio-ion o litio polímero, para impulsar al vehículo mientras se calienta la celda de energía y para aceleración extra. Aún así, el paquete de baterías será de 1/5 o 1/10 del tamaño del paquete de baterías de un vehículo eléctrico.

1.3. COMBUSTIBLES ALTERNOS EN VEHÍCULOS DEL FUTURO.⁵

Como ya se mencionó antes, los recursos naturales para la producción de combustible se agotan con el paso del tiempo. Esto obliga a pensar en cualquier tipo de combustible que sustituya el uso de la gasolina y el diesel. Además se debe pensar en algún combustible que sea mejor que los actuales, tomando en cuenta que los MCI tienen eficiencias térmicas muy pobres por lo que no se queman todos los productos, de ahí la importancia del aprovechamiento total del nuevo combustible.

Para estos fines retomemos el objetivo 3 de PNGV:

Objetivo 3: Desarrollar un vehículo que consiga elevar hasta tres veces la eficiencia del combustible de los vehículos actuales comparables. En una década, el el propósito de este objetivo es conseguir mejoras en la eficiencia del combustible hasta tres veces el promedio de 26.6 mpg de los modelos 1994 Chrysler Concorde, Ford Taurus, y Chevrolet Lumina y tener precios de venta equivalentes a dichos vehículos. Este nuevo, revolucionario vehículo no debe tener un costo de adquisición y operación mayor que los vehículos mencionados anteriormente atendiendo a las necesidades del cliente: calidad, rendimiento y utilidad.

ESTRATEGIA Y TIEMPOS DEL OBJETIVO 3.

Los combustibles alternos pueden jugar un papel significativamente importante en el desarrollo del objetivo 3, el cual presenta el reto de desarrollar un sedan que consuma 80 mpg. Los primeros acercamientos para mejorar el consumo de combustible son mejorar las eficiencias térmicas del sistema de propulsión y reducir la masa del vehículo. En base a las eficiencias térmicas que son técnicamente factibles, está claro que las mejoras en el motor por sí solas no pueden cumplir el objetivo triple de consumo de combustible. Se requiere una combinación de mejoras en el motor y en el vehículo. La PNGV ha adoptado tres puntos claves a desarrollar:

- Convertir la energía del combustible más eficientemente,
- Reducir las demandas de energía del vehículo, e

⁵ COMBUSTIBLES ALTERNOS PARA VEHÍCULOS DEL FUTURO. Escrito por Dr. Pandit G. Patil para Automotive Engineering SAE, enero 1996

-Implementar frenado regenerativo para recuperar energía.

Las tecnologías que se deben aplicar para realizar el objetivo de 80 mpg, son la aplicación de materiales y estructuras ligeros, sistemas de conversión de energía (turbinas de gas, celdas de combustible), dispositivos de almacenamiento de energía (baterías avanzadas, ruedas volantes, ultracapacitores), sistemas eléctricos más eficientes, y sistemas de recuperación de energía de escape.

Reducir la masa del vehículo utilizando materiales ligeros es crítico, ya sea con aluminio o magnesio, o materiales compuestos. Mejoras dramáticas en la eficiencia del sistema de propulsión reducirían los requisitos de reducción de masa. Un desarrollo exitoso y la comercialización de las tecnologías de almacenaje y conversión de energía acelerarían el uso de combustibles alternos para transportación. También es importante reducir la resistencia al rodamiento y el coeficiente de arrastre aerodinámico, ya que esto reduciría la cantidad de mejoras requeridas en el sistema de propulsión.

Los objetivos de dicha sociedad están ligados con una tabla de tiempos agresiva para el desarrollo de una nueva generación de vehículos. Durante 1994 se identificaron las tecnologías a desarrollar. Durante 1997 se desarrollarían sólo las tecnologías elegidas "candidatas" que hayan sido juzgadas para cumplir con los requisitos de la PNGV. Conforme se mejore dicha tecnología los constructores de autos la usarán en vehículos concepto para evaluar la factibilidad ingenieril de incorporar dichas tecnologías en sistemas vehiculares totales. El desarrollo de dichos vehículos concepto se espera para el 2000. A partir de este año las tecnologías desarrolladas se adaptarán a la producción de vehículos prototipo. Esta producción de vehículos prototipo se espera para el 2005, demostrará la factibilidad de fabricación, así como la habilidad de cumplir con los rigurosos criterios de rendimiento.

TECNOLOGÍAS CANDIDATAS DE PROPULSIÓN Y SUS IMPLICACIONES DE COMBUSTIBLE.

Los esfuerzos de planeación de la PNGV indican que hay cuatro fuertes tecnologías candidatas de propulsión que se pueden considerar para desarrollar el objetivo 3 en por lo menos una década:

-inyección directa (DI, direct injected)

-motores de combustión interna de cuatro tiempos (solos o combinación híbrido-eléctricos)

-turbinas de gas / híbrido eléctricas

-vehículos con celdas de energía (solos o configuraciones híbrido-eléctricos).

La eficiencia térmica (23% para vehículos convencionales actuales) se puede incrementar con el uso de turbinas de gas cerámicas o motores diesel DI que cumplirían con los límites de emisiones; el uso de celdas de energía incrementaría la eficiencia hasta un 50 a 55%.

Se realizan esfuerzos considerables en la investigación del potencial de los vehículos híbridos con motor eléctrico y almacenamiento de energía. La propulsión híbrida ofrece ciertas ventajas claves sobre los sistemas convencionales: tamaño reducido del motor y mayor eficiencia (combinado con menores emisiones) debido a la contribución de los dispositivos de almacenaje de energía para proveer potencia transitoria. El frenado regenerativo será utilizado en híbridos para recuperar la energía disipada como calor en sistemas de freno convencionales.

Motores avanzados de cuatro tiempos e inyección directa. La forma más común y eficiente de combustible de un motor DI automotriz es el diesel. Los motores diesel pequeños ofrecen 15-30% mejor economía de combustible y 10-20% menos emisiones de CO₂ que los motores convencionales de gasolina. Los retos más importantes de investigación y desarrollo de los motores de cuatro tiempos DI es que cumplan con las regulaciones de emisiones, peso y costo.

Una estrategia clave para sobrepasar la barrera de las emisiones es el uso de combustibles "limpios" (diferente al diesel) en conjunto con dispositivos apropiados para el control de emisiones. El Metanol ofrece emisiones de partículas muy bajas, pero se debe dirigir la densidad de energía del combustible, el número de cetanos, emisiones de aldehídos y la toxicidad. El gas natural, ya sea comprimido (CNG) o licuado (LNG), es una segunda alternativa ofreciendo emisiones bajas de NO_x y partículas, pero están en espera el almacenaje a bordo, repostaje y densidad de energía. Se investiga el Dimetil-eter (DME) como combustible. Se realizan investigaciones extensivas para modificar los motores

diesel DI para combustibles alternos. Actualmente dichos motores se restringen únicamente para flotillas comerciales; mientras que el uso particular permanece bajo. Los combustibles incluyen LNG/CNG, metanol/etanol, gas petróleo licuado (LPG), y biodiesel. Se están haciendo modificaciones para la efectividad de combustión (admisión de combustible y sistemas de ignición), sensores, y controles, así como materiales para proveer rendimiento y durabilidad comparable a los obtenidos con diesel convencional, aún con las emisiones más bajas posibles. Se han certificado los motores diesel grandes con alcohol, y se han vendido cientos de ellos.

Turbinas de gas. Las turbinas de gas se usan ampliamente en aviación; por sus altas relaciones potencia-peso y potencia-volumen, y alta reutilizabilidad. Estas mismas características hacen a las turbinas de gas atractivas para los automóviles. Las turbinas de gas ofrecen una eficiencia térmica de 40% en estado estable, y muy bajas emisiones. Las turbinas son fácilmente adaptables a diferentes combustibles y combinaciones de combustibles. Se han demostrado los bajos niveles de emisiones para los estándares de California (ULEV, ultra low emissions vehicle), en laboratorios con combustores de turbinas de gas prototipo trabajando con una variedad de combustibles. Se han demostrado combustores a escala automotriz con rangos de mezclas de gasolina, diesel, gasavión, y combustibles alcoholizados, así como gas natural y carbón seco. El proceso de combustión continuo de la turbina de gas elimina los requisitos de octano y cetano característicos en los motores de pistones. Como se menciona anteriormente, las turbinas de gas prometen ser una fuente de potencia con una configuración híbrida que utilice un dispositivo de almacenaje de energía para cumplir con cargas transitorias. Los retos tecnológicos para las turbinas de gas incluyen costos; cerámicos estructurados para altas temperaturas; combustores de bajas emisiones; recuperación de calor; y aislantes robustos de bajo costo.

Celdas de energía. Las celdas de energía tienen ciertas ventajas que las hacen atractivas como fuentes de potencia para la propulsión vehicular, incluyendo alta eficiencia térmica (>50%), extremadamente bajas o cero emisiones, poco ruido y vibraciones como las transmisiones convencionales. Cuando son abastecidos por hidrógeno a bordo son

realmente vehículos de cero emisiones. Además, el objetivo de PNGV de economía de combustible se puede lograr con un impacto mínimo en el diseño del vehículo. Sin embargo, los investigadores se enfrentan a serios retos para fabricar celdas de energía prácticas (tamaño, peso, redituabilidad, durabilidad) para aplicaciones automotrices dentro del marco establecido de diez años. Los retos claves de tecnología incluyen costos, peso y reducción de tamaño; almacenaje de combustible y entrega. La integración de las celdas de energía con el almacenaje, transmisión eléctrica y los controles es un requisito crítico.

Las celdas de energía proveen un grado considerable de flexibilidad de combustible. Pueden operar con hidrógeno, metanol, etanol, gas natural, y combustibles más altos en hidrocarburos, los cuales se pueden derivar de una variedad de recursos domésticos y/o renovables tales como gas natural, biomasa, y solar. La elección del combustible incluye ciertas consideraciones:

- seguridad
- características de almacenamiento
- disponibilidad en cantidad
- factibilidad de los requisitos de infraestructura
- costo al consumidor
- efectos en el medio ambiente
- compatibilidad con celdas de energía.

Ningún tipo de combustible a base de petróleo tiene todas las características deseables para los vehículos de celdas de energía. El metanol se puede derivar de fuentes no petrolíferas, está listo para su almacenaje y transportación, y se reforma fácilmente a H_2 a temperaturas relativamente bajas, pero su disponibilidad y su infraestructura de soporte está limitada, así como puede presentar problemas de seguridad. El etanol está listo para su almacenaje y es seguro, pero tiene disponibilidad e infraestructura limitada, puede ser muy caro si se obtiene de fuentes de energía secundarias, y sus temperaturas de reformación son muy elevadas. El hidrógeno gaseoso es el combustible indicado para las celdas de energía, pero no es muy almacenable, es relativamente caro, aumenta las consideraciones de seguridad, y requiere nueva infraestructura. El gas natural es el más

ampliamente disponible, el menos caro, tiene la mejor infraestructura, pero se tiene que tratar para su almacenaje y su temperatura de reformación es relativamente alta.

PERSPECTIVA DE PNGV PARA LOS COMBUSTIBLES ALTERNOS.

Participación de la industria de los combustibles. En las actividades estratégicas de planeación, la PNGV reconoce que para cumplir con el objetivo de economía de combustible puede requerir un nuevo tipo. De cualquier manera, no hay predisposición para utilizar algún tipo de combustible en particular por parte del gobierno o la industria. Se reconoce la importancia de establecer relaciones con los proveedores base de la industria automotriz, universidades, y las industrias de los combustibles. La participación de dichas industrias, en particular, puede traer esfuerzos considerables para PNGV dirigiendo los destinos de los combustibles alternos. Las industrias de los combustibles tienen recursos técnicos sustanciales y una infraestructura de distribución ya existente (para los cuales se requerirán cambios para acomodar un nuevo combustible).

Rivalidades de los combustibles alternos. Las tecnologías candidatas de propulsión vehicular dispuestas por PNGV son compatibles con los combustibles alternos. Los requisitos para los combustibles alternos se integran a las áreas objetivo de PNGV. Por ejemplo, apoyando a los vehículos híbridos, los proyectos de PNGV se dirigen a lograr:

- Alta eficiencia, bajas emisiones, y tecnología de las turbinas de gas flexibles para combustibles. Para esto se está llevando a cabo un proyecto a varios años, con costos compartidos, enfocado a desarrollar una turbina de cerámica de tamaño razonable para colocarla en los vehículos híbridos.

- El uso de los combustibles alternos en los motores de cuatro tiempos de inyección directa. Se está desarrollando un proyecto para integrar metanol en los motores de inyección directa, y se ha demostrado que la aplicación de inyección de alcohol a motores ciclo diesel lleva a una eficiencia alta mientras que se mantienen bajos los niveles de emisiones de NO_x y otras emisiones convencionales.

Los requisitos necesarios de infraestructura para emplear combustibles alternos difieren para cada combustible, es por eso que sólo uno podrá predominar. Hasta que esto suceda, la flexibilidad para combustibles de las celdas de energía debe ser importante, y se

deben realizar avances significativos en el procesado y almacenaje a bordo antes de que los vehículos de celdas de energía puedan cumplir los requisitos de rendimiento y utilidad comerciales.

Beneficios para los vehículos eléctricos. Aunque los vehículos eléctricos no son un candidato para el automóvil de 80 mpg, las tecnologías de PNGV apoyarán la viabilidad comercial para todos los vehículos eléctricos. De hecho, los tiempos objetivo de PNGV apoyan la comercialización de los vehículos eléctricos. Mejores motores eléctricos y tecnologías de potencia electrónica desarrollada para las transmisiones híbridas así como avances en el almacenaje de energía (baterías y ultracapacitores) beneficiarán a los vehículos eléctricos. La reducción de masa vehicular a través del uso de materiales de bajo peso y mejoras en la resistencia aerodinámica y de rodamiento son también retos claves para incrementar el atractivo de energía de bajo presupuesto.

1.4. EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE ALTERNO.⁶

El hidrógeno como combustible alterno para vehículos siempre ha fascinado a científicos e ingenieros. Cuando se evalúan los combustibles para los próximos 25 años, los términos del medio ambiente dominan las discusiones. El progreso en la economía del combustible aunado a descubrimientos de nuevos combustibles y a las técnicas de recuperación, han extendido la vida de estos combustibles. El carbón se ha visto como gran productor de CO₂ como para ser utilizado a mayor escala. La energía nuclear es demasiado cara, con problemas ambientales a largo plazo. La energía solar se encuentra en la fase de investigación. La tabla 1 compara las fuentes potenciales de producción de hidrógeno. La única tecnología automotriz que se mantiene latente desde hace 15 años es, el automóvil de gasolina.

⁶ EL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE ALTERNO. Escrito por Carl A. Kukkonen y Mordecai Shelef, para Automotive Engineering (SAE) octubre 1994.

TABLA 1. PRINCIPALES FUENTES DE ENERGÍA PARA HIDRÓGENO.

	RECURSO	STATUS	ENFOQUE 1980	ENFOQUE 1997
A corto plazo	Petróleo	← →	- Disponibilidad limitada - Fuentes políticas inestables - Incremento del costo dramático	- Disponibilidad limitada - Fuentes políticas inestables - Más barato que en 1980
	Gas natural	↑	- Disponibilidad limitada	- Abastecimiento de 30-80 años - Máximo combustible para generación de potencia eléctrica y transporte.
	Carbón	↓	- Fuente más económica de combustibles sintéticos y electricidad a gran escala	- Preocupaciones por el medio ambiente previenen uso a gran escala en el futuro
	Fisión nuclear	↓	- Será una fuente de electricidad mayor	- No hay planes para mayor capacidad
	Chapopote	↓	- Fuente de gran nicho potencial para combustibles sintéticos	- Abandonado, pero no permanentemente
	Energía solar	↓	- Electricidad solar y biomasa serán significativos en el 2000	- En etapa de investigación

Sólo se adoptará un sistema de combustible de hidrógeno si muestra ventajas significativas sobre otros sistemas competitivos. La competencia para los próximos 25 años es el vehículo de gasolina. El vehículo de gasolina en esta comparación es sólo un pequeño vehículo para 5 o 6 pasajeros con las funciones de sedan, vagoneta y minivan. Pesa 1110 kg, tiene un motor de 1.4 L, aceleración de 13 segundos de 0-100 km/h, consumo de 7 L/100 km en ciudad, y está construido con tecnologías actuales.

Los vehículos competitivos son comparables entre sí, pero en todos los casos tienen combinaciones de rendimiento y velocidades límites reducidas, menor almacenaje y reducida cajuela, y mayor tiempo de repostaje de combustible. Por ejemplo, el vehículo eléctrico tiene una penalización de 225 kg de peso y reducido almacenaje. Su aceleración de 0-100 km/h es 3 segundos mayor, su distancia máxima es de 180 km contra 320-480 km de un vehículo de gasolina, y su tiempo de recarga puede ser de hasta 8 horas. El vehículo de gasolina está diseñado para largos recorridos y aplicación universal. Los vehículos de gasolina igualmente continuarán encontrando problemas de rendimiento

restringido. Las especificaciones del vehículo de gasolina y sus competidores se muestran en la tabla 2.

	TABLA 2. VEHÍCULOS CON COMBUSTIBLES ALTERNOS.						
	Gasolina	Gas natural	MCI de H ₂			VE baterías (360 kg)	VE celdas H ₂
			Hidruro (360 kg)	H ₂ Comprimido	H ₂ Líquido		
Masa (kg)	1110	1225	1470	1225	1135	1335	1335
0-100 km/h (s)	13	14	17-20	14-17	13-15	16	16
Eficiencia del motor relativa	1.00	1.10	1.15-1.25	1.15-1.25	1.15-1.25	-	-
Exceso de masa	1.00	1.08	1.24	1.08	1.02	-	-
Consumo de energía a bordo (kJ/km)	2430	2390	2410-2620	2100-2620	1980-2150	620	620 elect 1375 H ₂
Distancia (km)	550	320-480	180	320-480	320-480	180	320-480

Se consideran tres vehículos de hidrógeno con MCI usando almacenaje a bordo de hidruro metálico, gas comprimido, e hidrógeno líquido. Se asume que el sistema de almacenaje del hidruro tiene una masa de 360 kg. Con el hidruro de FeTi, el recorrido se limita a 180 km. El exceso de masa nos lleva a tiempos de aceleración mucho mayores y reducida economía de combustible. Se asume que los motores de hidrógeno tienen relaciones de compresión altos (14:1) y operan, generalmente a relaciones equivalentes de 0.6 (67% exceso de aire). Combinando el exceso de masa y el motor más eficiente, un vehículo de hidruro se proyecta para consumir entre 1% menos y 8% más energía por km que el vehículo de gasolina.

El almacenaje de gas comprimido en el vehículo tiene un exceso de masa menor pero ocupa un mayor volumen. El tanque esta medido por consideraciones de volumen para permitir distancias de 320-480 km. La aceleración de 0-100 km/h es de 1-4 segundos mayor, y la mayor eficiencia nos lleva a un consumo de energía a bordo de 6-14% menos que el vehículo de gasolina. Por otro lado, el vehículo de hidrógeno líquido tiene un exceso de

masa pequeño, y reducción de rendimiento casi nulo. Su consumo de energía a bordo es 11-18% más baja que el vehículo de gasolina.

La transmisión del VE pesa menos que la del vehículo de gasolina, así que el exceso de peso neto es de 225 kg. El VE con celdas de hidrógeno pesa lo mismo que el VE y tiene el mismo rendimiento. Sin embargo, el VE de baterías y el VE con celdas de hidrógeno tienen el mismo consumo de energía eléctrica por km.

HIDRÓGENO vs VE DE BATERÍAS.

Se debe proponer una pregunta simple: ¿Qué será mejor, usar la electricidad para producir hidrógeno por electrólisis para ser usado como combustible, o usar la electricidad para cargar las baterías de los VE directamente? La tabla 3 compara los MCI de hidrógeno, los VE con celdas de hidrógeno, y los VE con baterías.

	MCI Hidrógeno			VE con celdas Hidrógeno		VE baterías
	Hidruro	H ₂ comprimido	H ₂ líquido	H ₂ comprimido	H ₂ líquido	
H ₂ a bordo, uso electricidad (kJ/km)	2410-2620	2100-2280	1980-2150	1380	1380	620
Eficiencia cargador	0.80	0.80	-	0.80	-	0.90
Eficiencia compresor	-	0.90	-	0.90	-	-
Ef. Carga/desgas hidruro	0.90	-	-	-	-	-
Ef. Electrólisis/liquefacción	-	-	0.65	-	0.65	-
Uso electricidad total (kJ/km)	3340-3633	2910-3170	3050-3310	1910	2120	690

Los vehículos con MCI de hidrógeno consumen 300-400% más electricidad por km que los VE de baterías, y los VE con celdas de hidrógeno consume 200% más que los VE de baterías. Producir hidrógeno por electrólisis para vehículos no tiene sentido si la electricidad es la fuente y los VE de baterías están disponibles.

HIDRÓGENO vs VEHÍCULOS DE GAS NATURAL.

Aquí la pregunta que se propone es diferente: ¿Qué será más redituable, convertir el gas natural a hidrógeno para usarlo como combustible, o se deberá usar el gas natural

directamente como combustible? La tabla 4 muestra que los vehículos con MCI de hidrógeno consumen 23-86% más gas natural por km que el vehículo de gas natural. Los VE con celdas de hidrógeno líquido consumen 19% más gas natural por km, pero los vehículos con hidrógeno comprimido consumen 19% menos, asumiendo un peso optimista de las celdas y metas de eficiencia alcanzables. En la base de eficiencia de energía, el gas natural debe usarse como combustible directo, en lugar de convertirlo a hidrógeno. El desarrollo de los VE con celdas de hidrógeno nos pueden llevar a un ahorro de combustible de 19%, pero esto no sería suficiente para garantizar la gran inversión en infraestructura.

TABLA 4. COMPARACIÓN DE LOS VEHÍCULOS DE GAS NATURAL.

	MCI Hidrógeno			VE con celdas Hidrógeno		VE gas natural
	Hidruro	H ₂ comprimido	H ₂ líquido	H ₂ comprimido	H ₂ líquido	
H ₂ a bordo uso de CH ₄ (L/km)	2410-2620	2100-2280	1980-2150	1380	1580	2390
Eficiencia en reformador de CH ₄	0.75	0.75	-	0.75	-	-
Eficiencia compresor	-	0.90	-	0.90	-	0.90
E ₁ Celdas hidruro	0.90	-	-	-	-	-
E ₂ Reformador / Celdas hidruro	-	-	0.43	-	0.46	-
Una gal de CH ₄ (L/km)	3650-3880	2110-3380	4300-4070	2040	2990	2520

SISTEMAS DE COMBUSTIBLES ALTERNOS.

Para tener un sistema de combustible alternativo viable, todas las partes del sistema deben estar en su lugar. Un sólo requisito que falte evita que se implemente el sistema. Con el tiempo los competidores de gasolina deben mejorar. De cualquier manera, la eficiencia de los MCI mejorará también, reduciendo las emisiones de CO₂. La disponibilidad de la gasolina disminuirá a largo plazo y aumentará de precio, factores que forzarán el cambio a los combustibles alternos.

De las alternativas, los VE de baterías serán los más fáciles de introducir ya que la electricidad está disponible en todas partes y el recargue lento se puede hacer en casa. También la introducción de los vehículos de gas natural será importante. El gas natural es

ampliamente distribuido, pero se requerirán estaciones de gas comprimido, y se descarta la posibilidad de repostar en casa, sin embargo sus aplicaciones ya han comenzado.

Todos los requisitos para los MCI de gas natural están en su lugar o se pueden desarrollar fácilmente, así como para los VE de baterías. No así para el hidrógeno, para el cual cada sistema carece de alguna de sus piezas importantes. Esto refleja lo insatisfactorio de la producción y distribución del hidrógeno. No hay estaciones de repostar ni celdas automotrices de hidrógeno. La pregunta fundamental es si los atributos del hidrógeno son lo suficientemente atractivos como para estimular el desarrollo de los elementos faltantes.

No hay una manera fácil de introducir los vehículos de hidrógeno. Económicamente se requiere una producción a gran escala, así como una distribución por tubería del combustible. Esto sería muy costoso y requiere de décadas para poderse implementar. Se estima como mínimo cientos de billones de dólares y 20 años.

Si las fuentes de producción de hidrógeno fueran más eficientes, tanto económicamente como productivamente, entonces el hidrógeno sería un combustible importante para la industria automotriz. Mientras no se estudien mejoras en la producción del hidrógeno éste no será utilizado antes del año 2020.

1.5. CATALIZADOR EOLYS.⁷

Con una inversión de 50 millones de dólares, la empresa Rhône - Poulenc de México diseñó y desarrolló el catalizador transcombustible Eolys, cuyas propiedades son las de reducir en un 20% la materia particulada y en un 40% la emisión de humos por la combustión del diesel.

El subdirector de Protección Ambiental del Instituto Mexicano del Petróleo, Francisco Guzmán, informó que dicho catalizador propicia una combustión más eficiente de materias particuladas, potencialmente peligrosas para la salud, así como de otros contaminantes como los hidrocarburos y el monóxido de carbono, precursores del ozono.

⁷ CATALIZADOR EOLYS. Escrito por Alejandro Ramos, periódico Reforma México, 29 abril 1997.

Las materias particuladas son mutágenos, carcinógenos e irritantes pulmonares, y además, contribuyen a la formación de ozono.

El producto es toxicológicamente aceptable y económico, pues su costo será de 2% sobre el precio de un litro de diesel, es decir, si el litro de diesel cuesta \$2.28, sólo se incrementarán 5 centavos.

Guzmán resaltó que para hacer las pruebas del catalizador, a la altura de la ciudad de México, se contrató el laboratorio móvil de la Universidad de West Virginia, y se monitoreó la combustión de los motores Diesel de camiones de las empresas Coca-Cola y Autobuses Montealto, las cuales fueron invitadas al proyecto.

Por su parte, Rodolfo Lacy, director de Prevención y Control de la Contaminación del DDF, precisó que el esfuerzo de Rhône - Poulenc ayuda a las tareas del Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el valle de México.

El funcionario destacó el trabajo que se realizó en el Laboratorio Móvil, ya que se midieron la totalidad de los contaminantes que provienen de la combustión de motores Diesel.

Este esfuerzo permitirá ajustar las normas con los fabricantes de vehículos. Además, este dispositivo ayudará a disminuir las emisiones tóxicas de los transportes que no poseen una tecnología nueva, pero que su motor se encuentre en buenas condiciones.

El presidente del Consejo Directivo de Rhône - Poulenc, John Wichtrich, aclaró que el catalizador se desarrolló especialmente para México, por lo que, durante este año, continuarán las pruebas de campo, y se espera que para 1998 ya se pueda comercializar el producto.

Algo importante, agregó Wichtrich es que el Eolys permitirá a los transportistas exentar el Hoy No Circula, ya que éstos estarían cumpliendo con las normas ambientales. En el caso de los camiones viejos la empresa espera contar con un dispositivo opcional que, sumado al catalizador Eolys, les permitirá llegar a niveles de contaminación mínimos, no detectables.

Dicho proyecto se encuentra respaldado por un Consejo Científico, el cual lo integran Pemex, la UNAM, el INE, la Semarnap, el DDF, la SSA, la SCT, el Gobierno del

**Estado de México, la Asociación Nacional de Productores de Autotransportes y Camiones,
la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz y la empresa Rhône- Poulenc.**

CAPÍTULO 2.
MATERIALES ALTERNOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA TÉRMICA
DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Uno de los grandes defectos que tienen los MCI es su pobre eficiencia térmica (aproximadamente 23 %). Esta es una de las causas de las altas emisiones de gases contaminantes. Las pérdidas en términos de calor en un MCI son muchas, lo ideal sería construir un motor que absorba todo ese calor para reducir las pérdidas. Sin embargo, los materiales capaces de absorber el calor son muy frágiles como para pensar que la base del motor este hecha por tales materiales. Se ha demostrado que los materiales cerámicos tienen características ideales para éstos fines, pero efectivamente son muy frágiles. Marcas importantes en la industria automotriz como son Ferrari y Lamborghini utilizan ya esta tecnología en algunos componentes del motor, pero tienen una barrera económica, de otra manera cualquier persona podría tener uno de estos prestigiados autos.

Se busca una tecnología comercialmente viable, que reduzca dichas pérdidas térmicas. Una solución, tomando en cuenta los nuevos sistemas de propulsión, es adaptar una turbina de gas cerámica en un sistema híbrido. Otra solución es encontrar alguna forma de unir los materiales cerámicos con los metales para que no se separen con los choques térmicos. Otra solución es encontrar componentes del motor de otros materiales como es en el caso de Ferrari y Lamborghini pero con un valor más comercial.

2.1. TURBINAS DE GAS CERÁMICAS. Sistema de potencia híbrido.⁸

Se realizó una simulación en EUA, con vehículos que tienen una circulación habitual por las grandes zonas urbanas. El propósito de la simulación era estimar la economía de combustible de los sistemas de transmisión de varios automóviles usando una turbina de gas cerámica, bajo la suposición de una eficiencia térmica de 40% en su punto de diseño.

Los tipos de vehículos seleccionados para la simulación fueron un camión ciudadano, un camión de trabajos ligeros de 2 ton, y un auto de pasajeros. Los sistemas estudiados fueron: 1- una turbina de gas cerámica de transmisión directa con un sólo eje (CGT, ceramic gas turbine); 2- la misma turbina pero con doble eje; 3- sistema híbrido en serie; 4- sistema híbrido en paralelo; 5- un sistema convencional con un motor reciprocante. Resultó de estas simulaciones que el uso de una CGT mejora la economía de combustible en un sistema híbrido.

Vehículos usados.

Los vehículos usados para estas simulaciones fueron como sigue:

-camión citadino- Se esperaba la reducción de emisiones en los camiones ciudadanos por el humo diesel indeseable.

-camión de trabajos ligeros de 2 ton- Existen muchos camiones ligeros de este tipo en las ciudades, y su distancia recorrida acumulada es larga. Por esto, es necesaria la reducción en sus emisiones.

-auto de pasajeros (2 litros)- Se usa un gran número de autos de este tipo en las ciudades, por esto, las ventajas económicas y técnicas aplicando una CGT serían muy importantes.

Para propósitos comparativos, también se simularon vehículos con motores reciprocantes convencionales. Dichas simulaciones fueron un motor diesel de 168 kW para un camión ciudadano, un motor diesel de 80 kW para un camión de trabajos ligeros, y un motor encendido por chispa (SI, spark ignition) de 100 kW para autos de pasajeros.

Las especificaciones de los vehículos se muestran en la tabla 1.

⁸ TURBINAS DE GAS CERÁMICAS. Sistema de potencia híbrido. Escrito por Noritoshi Hana y Kanae Niwa para Automotive Engineering SAE, julio 1996.

TABLA 1. POTENCIA DE SALIDA DE LAS FUENTES DE ENERGÍA			
	Camión ciudadano	Tractor	Auto de pasajeros
Motor base	168 kW diesel	80 kW diesel	100 kW SI
CGT transmisión directa	168 kW CGT	80 kW CGT	100 kW SI
CGT/batería híbrido			
CGT	100 kW	50 kW	50 kW
Bat. (Híbrido en serie)	129 kW	57 kW	57 kW
Bat. (Híbrido en paralelo)	84 kW	37 kW	37 kW

Sistema híbrido.

El sistema híbrido elegido fue una CGT/baterías. Uno fue un híbrido en serie mostrado en la figura 5, el otro fue un híbrido en paralelo mostrado en la figura 6. En el tipo en serie, la potencia de salida del eje de alta velocidad se transforma en potencia eléctrica por un generador. Conduce a uno o más motores eléctricos después de ser combinados con potencia de baterías por un sistema de control.

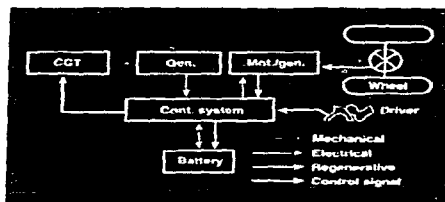


FIGURA 5. Sistema híbrido en serie.

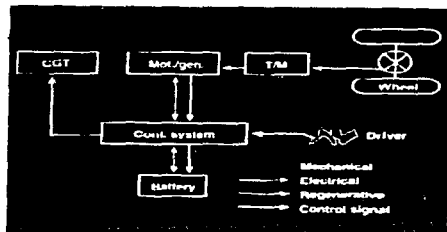


FIGURA 6. Sistema híbrido en paralelo.

En el híbrido en paralelo, la potencia de salida de la CGT es transmitida por un sistema mecánico de engranes para conducir a las ruedas, junto con la potencia mecánica del motor eléctrico. En ambos, cada motor también actúa como generador, convirtiendo el frenado mecánico en electricidad, para recargar las baterías.

Datos de entrada.

Generalmente, la eficiencia térmica de una turbina de gas incrementa con las temperaturas de admisión de la turbina (TIT, turbine inlet temperatures). La figura 7 muestra la relación entre la temperatura de admisión de la turbina y la eficiencia térmica de una turbina de gas cerámica de 100 kW.

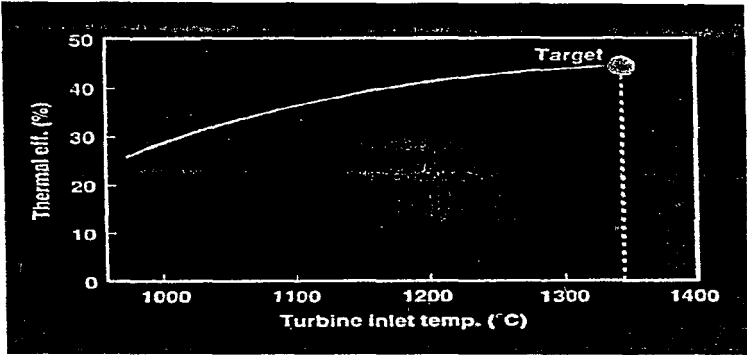


FIGURA 7. Eficiencia térmica y TIT.

La TIT de una turbina metálica convencional se limita por los esfuerzos de alta temperatura en los materiales usados en el sistema. La aplicación de materiales cerámicos en lugar de metales para partes de altas temperaturas permite un incremento en la temperatura máxima de admisión en la turbina, mejorando consecuentemente la eficiencia térmica de la turbina. En el caso de la turbina de un sólo eje, los valores de entrada del consumo de combustible fueron obtenidos en la simulación por la velocidad de giro del eje de salida y las curvas de potencia, correspondientes a cada TIT de la figura 8, excepto en ralentí. Durante marcha en ralentí, los datos de la figura 9 se usaron para obtener el consumo de combustible de la simulación.

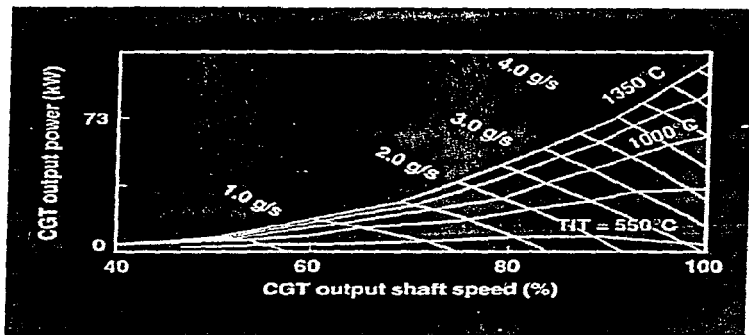
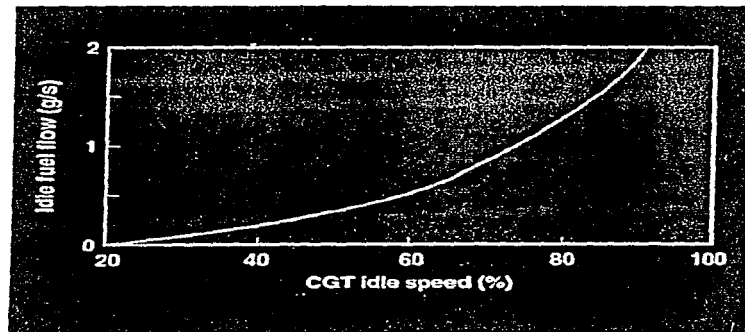


FIG. 10.11. Maximum CGT output power vs. CGT output shaft speed for different fuel flow rates and temperatures. $T_{IT} = 550^{\circ}\text{C}$.



En el caso de la turbina de doble eje, se usó para los datos de entrada la velocidad de giro del eje de salida vs la curva de potencia. Se adaptó una transmisión continuamente variable (CVT, continuously variable transmission) de tracción para el convertidor de torque. Para el generador de alta velocidad, se estudiaron un dinamómetro de corriente directa, un generador de inducción, y un generador síncrono. El generador síncrono fue seleccionado por su alta eficiencia. En la simulación, la capacidad de carga y descarga de las baterías se asumió proporcional a la masa de una sola batería.

Métodos de control.

Para simular un ciclo de manejo, es necesario seguir un patrón de conducción. En el caso de una turbina de gas, la relación de flujo máximo de combustible para aceleración se limita por la TIT máxima y el margen del compresor. Debido a que las condiciones de conducción afectan la economía de combustible, se usaron dos tipos de estrategias de control de CGT.

Control On/Off. El método de control On/Off es una manera de operar una CGT a una cierta velocidad del eje de salida constante y económica. Este método de control es aplicable a un sistema híbrido en serie. Cuando la potencia de salida de la CGT no es suficiente para generar electricidad para conducir o acelerar un vehículo, las baterías proveen de potencia eléctrica complementaria al motor. Si la potencia de salida de la CGT excede las necesidades del vehículo, el exceso se usa para cargar las baterías.

Control de seguimiento de carga. Es otra estrategia que hace juego con la potencia de salida de la CGT y con la potencia requerida para conducir el vehículo. Cualquier potencia extra requerida será proveída por las baterías para conducir el motor eléctrico. Las baterías se cargan con electricidad del frenado regenerativo, o cuando la carga de conducción es menor que la potencia de salida del motor. Este método es aplicable a ambos sistemas, en serie y en paralelo.

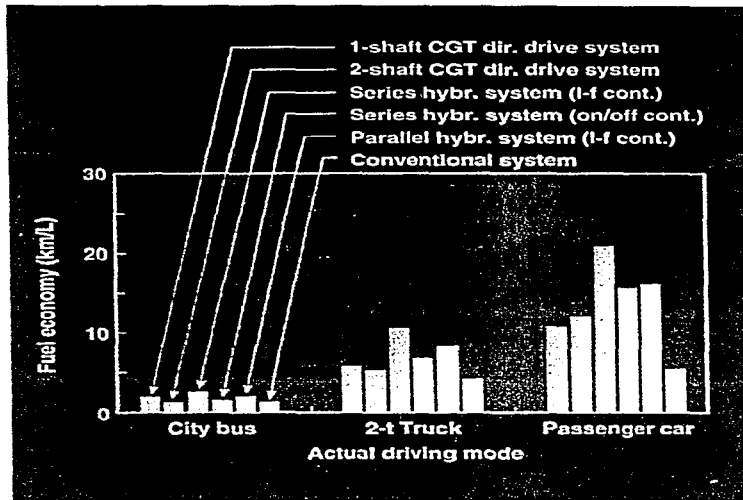


FIGURA 10. Comparación de economía de combustible

Siguiendo el patrón de conducción.

Transmisión directa por una turbina de gas de un sólo eje. Como hay un CVT en este sistema, se adoptó un método de control de IT constante para controlar la CVT, porque era más económico que un control de velocidad constante. El proceso de aceleración fue como sigue: primero, se calculó la potencia necesaria para la aceleración vehicular para seguir un patrón de conducción bajo la condición presente, y después, se obtuvo la fuerza correspondiente de conducción de las ruedas. Con el objetivo de la mejor economía se calcularon, la velocidad de salida ideal de la CGT, torque, y relación de flujo de combustible, y se aceleró el vehículo.

Transmisión directa con turbina de gas con doble eje. En el caso de la turbina de gas con doble eje, la velocidad necesaria y torque se calcularon correspondientes a la velocidad del vehículo para trazar el patrón de manejo. Después de seleccionar la relación de engranes más económica, se calcularon la velocidad requerida y el torque. Se añadió suficiente flujo de combustible para incrementar el torque en las ruedas y la velocidad del vehículo para que hiciera juego con el patrón trazado.

Sistema híbrido en serie. En este sistema existen dos métodos de control de la CGT. Uno de ellos es el control de seguimiento de carga, y el otro es el control On/Off. En el caso del método de seguimiento de carga, la CGT se controló para que siguiera de cerca el patrón de conducción, y si la potencia del motor era insuficiente, la diferencia de potencia sería proveída por las baterías operando hasta su descarga. Por otro lado, en el caso del método On/Off, la CGT era controlada para trabajar a sus mejores y más económicas velocidades. Cualquier falta de energía será proveída por las baterías. Este método de control se usa comúnmente en el sistema híbrido en paralelo.

Sistema híbrido en paralelo. En este sistema, se redujo la velocidad de rotación del eje de salida a 6000 rpm, y luego se conectó al CVT, para de esta manera combinar la potencia de salida del CVT con la potencia de salida del motor. El motor se controla con el método de seguimiento de carga y cualquier energía adicional es proveído por las baterías.

Para aceleración, la CGT se controla para que el vehículo siga el patrón de conducción y las baterías compensen cualquier falta de energía para conducir las ruedas. Cuando la velocidad del vehículo es baja, se usa básicamente la potencia de las baterías porque la eficiencia del CVT es baja cuando se reducen tanto las relaciones.

Cálculos de economía de combustible.

Para comparar la economía de combustible de cada vehículo, se calculó el consumo de energía usando aceite diesel para el camión ciudadano y el camión de trabajos ligeros, y gasolina para el auto de pasajeros. Se calculó la distancia recorrida por litro de combustible para cada vehículo. Al principio de la simulación, se puso la descarga de batería al 50%. Si, después de seguir un ciclo de conducción, la potencia eléctrica de la

batería aumenta, se convierte en consumo de combustible, usando un factor de conversión de 0.33.

Eficiencia de energía.

Para estimar la eficiencia de cada vehículo, se definieron algunos factores. El primero era la eficiencia del sistema de conducción. Esta eficiencia (E_s) se define como la relación de energía total para conducir las ruedas (L_1) entre la energía proveída por el combustible en un ciclo de conducción (Q_c). En este caso, L_1 incluye toda energía positiva para conducir las ruedas. La otra es la eficiencia regenerativa (E_r) que se define como la relación de energía usada (L_2) entre la energía negativa total de frenado (Q_f).

-Eficiencia de conducción- $E_s = (L_1) / (Q_c)$

-Eficiencia regenerativa- $E_r = (L_2) / (Q_f)$.

Resultados de la simulación.

Economía de combustible. Para determinar el uso más efectivo de CGT en el futuro, se simularon sistemas de CGT de transmisión directa y CGT/baterías híbrido. La figura 6 muestra que el sistema híbrido tiene mucho mejor economía de combustible que el sistema convencional, y que el mejor sistema es el híbrido en serie con una CGT controlada por el método de seguimiento de carga. El segundo mejor es el otro tipo de híbrido, el de doble eje con transmisión directa y el convencional recíprocante.

Sistemas híbridos en serie y en paralelo para camiones. La figura 11 muestra las eficiencias de los componentes y una gráfica que muestra la caída de energía para un sistema híbrido en serie (SHS, series hybrid system) en un camión ciudadano, mientras que la figura 12 muestra el caso del sistema híbrido en paralelo (PHS, parallel hybrid system). Es importante determinar por qué la economía de combustible es mejor en el sistema en serie que en el de paralelo. En ambos casos, el motor se controla de la misma manera, y las eficiencias térmicas de los motores en cada sistema son casi iguales, 39.4% y 39.0% respectivamente. En el sistema híbrido en serie, 64.4% de la potencia de salida, excepto para cargar las baterías, se usa para conducir las ruedas, comparado con 73.2% del sistema en paralelo. La eficiencia de las baterías en los sistemas en serie y en paralelo son

66.1% y 66.9% respectivamente, y en ambos la relación de regeneración de frenado es aproximadamente 61%.

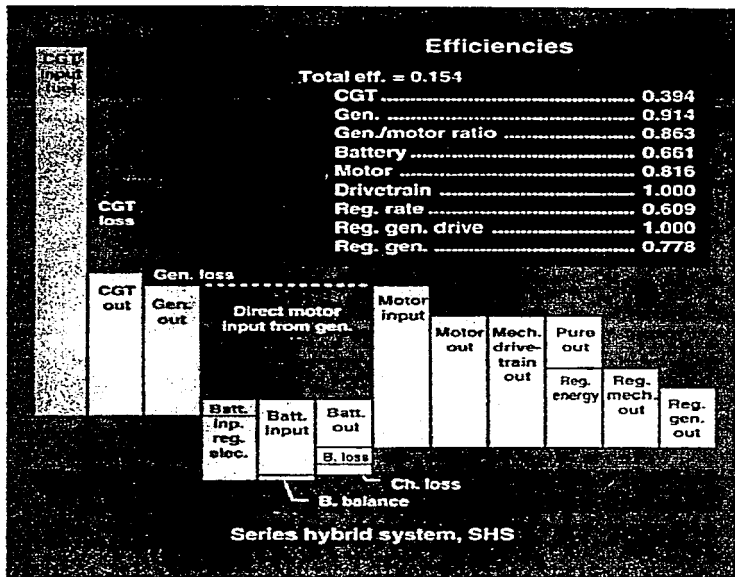


FIGURA 11. Flujo de energía de camión citadino con control de deslizamiento de curva, sistema híbrido en serie.

En el caso del sistema en serie, 39.4% de la energía mecánica regenerada es útil como potencia de salida de las baterías, y como la eficiencia del motor es de 81.6%, 40% de la energía mecánica regenerada (CG) se puede transformar a potencia útil para conducir las ruedas. Por otro lado, para el sistema en paralelo, la eficiencia del generador y del

motor son bajas, de 57.6% y 58.3% respectivamente; sólo 22.5% de energía regenerada (Q_r) se convierte en potencia útil. La eficiencia total del sistema híbrido en serie es 15.4% y del sistema híbrido en paralelo es 13.8%. Esta diferencia en las eficiencias totales se atribuye a las eficiencias regenerativas de cada sistema.

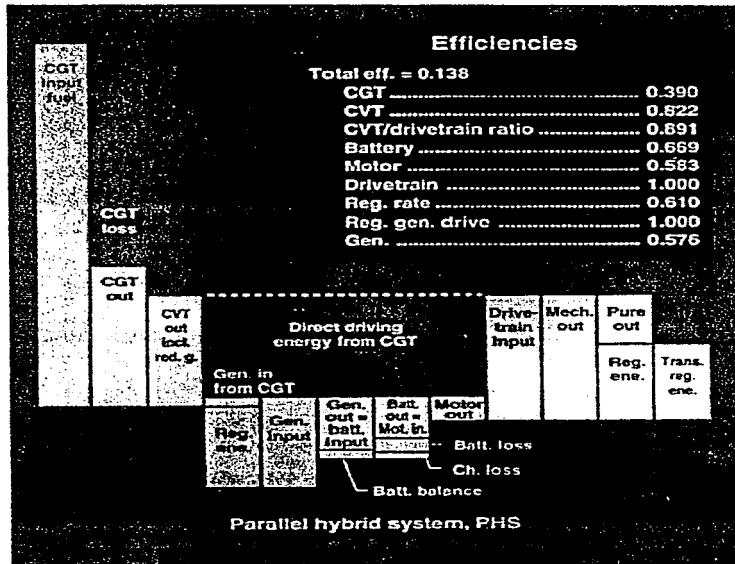


FIGURA 12. Flujo de energía en camión ciudadano con control de seguimiento de carga, sistema híbrido en paralelo.

Sistemas en serie y en paralelo para autos. Figuras similares muestran los valores de las eficiencias y la gráfica de flujo de energía para los sistemas en serie y en paralelo para autos. Las eficiencias térmicas de la CGT para los sistemas en serie y en paralelo son 26.5% y 28.4% respectivamente. En el sistema en serie, 54.8% de la potencia de salida del motor, excepto para cargar las baterías, se usa para conducir las ruedas, y en el sistema en paralelo se usa 52.4%. Las eficiencias de las baterías en serie y en paralelo son 85.5% y 82.7% respectivamente, y en ambos las relaciones de frenado regenerativo es de 62%. En el caso del sistema en serie, 68.1% de la energía mecánica regenerada es útil como la potencia de salida de las baterías, y como la eficiencia del motor es de 81.6%, 55.5% de la potencia mecánicamente generada se puede transferir a potencia útil para conducir las ruedas. Por otro lado, para el sistema en paralelo, las eficiencias del generador y del motor son relativamente altas, de 77.6% y 74.5% respectivamente: 47.8% de la energía regenerada se convierte en energía útil. La eficiencia total del sistema en serie es de 10.0% y la del paralelo es de 8.0%. El 2% de diferencia en la eficiencia total se atribuye a la diferencia en las eficiencias regenerativas.

Conclusiones.

- El sistema híbrido CGT/baterías más económico para usos automotrices es el híbrido en serie con el método de control de seguimiento de carga según se demostró en esta simulación.
- En el caso del auto de pasajeros, el consumo de combustible es aproximadamente una tercera parte menor que el de los sistemas convencionales.
- Las eficiencias de la CGT y de los componentes son los factores más importantes para incrementar la eficiencia total del sistema.

2.2. ELEMENTOS DE UNIÓN CERÁMICO / METÁLICOS PARA COMPONENTES AVANZADOS DE MOTORES.⁹

Los cerámicos soportan temperaturas extremas que destruirían a cualquier otro material de ingeniería. Pero los cerámicos podrían fallar catastróficamente, así que deben procesarse y aplicarse cuidadosamente para evitar grietas y cargas de operación que excedan su límite de esfuerzos de cedencia. Las diferencias de expansión entre los cerámicos y los metales imponen esfuerzos substanciales en la unión cerámico/metal, lo que lleva a la fractura y en consecuencia a la falla del cerámico. Un elemento de unión compuesto de fibra-metal entre el cerámico y el metal, reduce los esfuerzos térmicos. El material de unión ayuda a revestimientos relativamente gruesos de 1.5-3.2 mm a mantenerse intactos a través de vanos cambios severos de temperatura. Las aplicaciones típicas son: los sellos y combustores de las turbinas de gas, y componentes y aislantes de motores de combustión interna.

Tres categorías básicas de cerámicos avanzados -monolíticos, compuestos y revestimientos- compiten por aplicaciones de alta tecnología y de barreras térmicas. Los cerámicos monolíticos, caracterizados por una fase cristalina, son producidos primordialmente por presión en caliente, sinterizado, y reacción de cohesión con nitruro de silicón y compuestos de circonio, alúmina, y magnesia entre otros.

Los cerámicos compuestos, fabricados mediante técnicas reactivas, están formados por un material de adhesión sólido reforzado por una matriz de fibras. Las fibras (carburo de silicón y silicato de aluminio) pueden embeberse en varios materiales para formar compuestos como cerámico/cerámico, cerámico/vidrio, cerámico/metal, y cerámico/plástico. La resistencia mejorada a los esfuerzos de tensión así como al choque térmico ayudan a los compuestos a sobrepasar los problemas de fallas catastróficas.

⁹ ELEMENTOS DE UNIÓN CERÁMICO / METÁLICOS PARA COMPONENTES AVANZADOS DE MOTORES. Escrito por G. P. Jarrabet, para Automotive Engineering (SAE) enero 1995.

UNIÓN CERÁMICO -A- METAL.

Revestimientos cerámicos, usados extensivamente para proteger sustratos de metal expuestos a altas temperaturas, ambientes corrosivos y erosivos, son deteriorados por la diferencia significativa en los coeficientes de expansión térmica entre el cerámico y el metal. Las fracturas y desprendimientos ocurren cuando los esfuerzos impartidos por la temperatura transitoria de calentamiento y enfriamiento mueven el centroide del cerámico, poniendo al cerámico bajo tensión.

El depósito de revestimientos intermedios ayuda a la adherencia, pero los revestimientos cerámicos están generalmente limitados a espesores de 0.25-0.50 mm para mantener la adherencia del revestimiento en un ambiente sometido a esfuerzos térmicos.

Un método para mejorar la unión cerámica es usar un aislante de esfuerzos entre el metal y el cerámico, que puede reducir los esfuerzos generados durante ciclos térmicos. Una almohadilla de fibras metálicas sinterizada, resistente a la oxidación provee una estructura que absorbe los esfuerzos en la línea de unión entre el cerámico y el metal. Esta almohadilla permite al compuesto cerámico/metal soportar repetidos y severos choques térmicos sin separación del revestimiento cerámico.

Las almohadillas de fibras metálicas están compuestas de fibras dispuestas al azar en un arreglo, las cuales son sinterizadas para producir una malla tridimensional de porosidad continua. Tienen un módulo de elasticidad (típicamente 7 GPa) menor que el sustrato de metal o el cerámico. La capa absorbe todos los esfuerzos producidos por los ciclos térmicos y mantiene la distribución de esfuerzos en el cerámico. La densidad de la fibra metálica se selecciona para mantener un balance entre la deformación y el esfuerzo de la almohadilla. Las almohadillas también permiten una falla por elongación de hasta 2%.

REVESTIMIENTOS CERÁMICOS AISLADOS DE ESFUERZOS.

La necesidad de aislar los esfuerzos depende de las aplicaciones geométricas, severidad de los ciclos térmicos, cantidad de aislamiento térmico requerido, y la durabilidad del cerámico. Se usa comúnmente Circonio (ZrO_2) por su relativa conductividad

térmica baja, temperatura de fusión alta (2500 °C), y buena resistencia a los choques térmicos. El circonio estabilizado ayuda a prevenir el agrietamiento del revestimiento de circonio durante la fase de transformación. Los estabilizadores más usados para la fase de transformación son MgO, CaO, y Y_2O_3 .

En el proceso de rocío de plasma, el polvo de circonio se calienta hasta su punto de fusión en un gas plasma. El revestimiento se forma mientras que por gravedad se deja caer el circonio fundido en un sustrato frío. Esto permite que se puedan crear formas complicadas de revestimientos.

DISEÑO CRUCIAL.

En el diseño de revestimientos térmicos, es importante definir el uso para el que serán aplicados. Los revestimientos de cerámica tienen una "ventana" de operación en la que su desempeño será redituable. Una ventaja primordial de los revestimientos aislados de esfuerzos es que permiten una ventana de operación para mayor flexibilidad y durabilidad en los límites de diseño. Las temperaturas extremas, los rangos de calentamiento y enfriamiento, y las presiones de operación afectan al diseño del revestimiento.

El diseño de un revestimiento cerámico para ciclos térmicos de operación requiere ajustar dos situaciones diferentes: calentamiento y enfriamiento. Durante el primero, la superficie cerámica se calienta instantáneamente. La superficie del revestimiento tiende a expandirse pero el resto del revestimiento y el sustrato lo mantienen en su lugar; ambos funcionan como enfriadores.

La superficie cerámica caliente está bajo unas cargas de compresión altas hasta que el resto del revestimiento y el sustrato empiezan a calentarse. Mientras el sustrato de metal se calienta, el módulo de elasticidad del metal decrece, moviendo el centroide del compuesto hacia el revestimiento cerámico. La magnitud necesaria para mover el centroide depende del espesor del revestimiento. El centroide, localizado en el cerámico, pone la porción de cerámica entre la interfase cerámico/metal y el centroide bajo tensión. Poniendo a tensión el revestimiento cerámico puede ocasionar la falla ya que el esfuerzo de tensión es típicamente de 2.8-7 MPa. Por eso, el espesor del revestimiento, la

conductividad térmica del cerámico, y el flujo de calor aplicado son parámetros importantes influenciando el comportamiento en estado estable de los compuestos cerámico/metal.

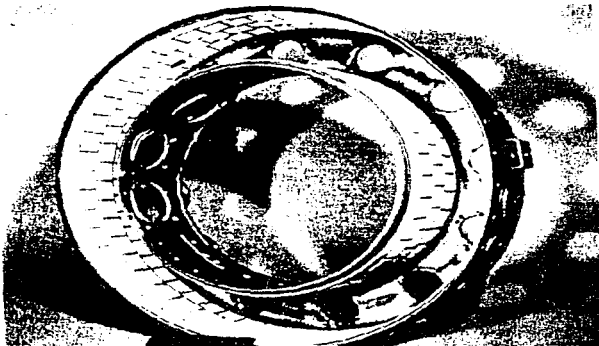


FIGURA 13 Combustor de turbina probada por la NASA.

En el enfriamiento, la superficie del cerámico se enfría mientras que el resto permanece caliente. Esto pone un esfuerzo de tensión en la superficie cerámica lo que puede crear pequeñas grietas. Con ciclos repetidos, las pequeñas grietas se propagan hacia el interior del cerámico. Después de muchos ciclos, las grietas se mueven de una dirección radial a una dirección axial, debido al mencionado cambio de posición del centroide, produciendo un deshojamiento del revestimiento. Para el ciclo de enfriamiento, es deseable tener una cerámica altamente conductiva que pueda disipar el calor interno rápidamente para minimizar el agrietamiento superficial.

PRUEBAS DE CHOQUE TÉRMICO.

Las pruebas de choque térmico simulan los ciclos térmicos de aplicaciones específicas para evaluar la durabilidad del revestimiento. Durante una prueba típica, se realizan ciclos entre 38° y 1370°C cada 90 segundos en la superficie, con rangos de

calentamiento y enfriamiento de 7-10 segundos para cada ejemplar. Las pausas de 90 segundos ayudan al ejemplar a llegar a la temperatura de prueba por completo y enfriarse totalmente.

Sopletes de oxígeno / aire calientan la superficie cerámica, y chorros de aire enfrían la parte posterior del ejemplar durante el calentamiento. Después de un ciclo de calentamiento, el ejemplar se mueve a una posición de enfriamiento donde chorros de aire enfrían por inmersión las superficies anterior y posterior.

La durabilidad y las características del revestimiento pueden estar en función de las pruebas. La temperatura superficial se controla por la conductividad térmica y emisividad del ejemplar, las cuales varían según el diseño.

APLICACIONES.

La aplicación primordial es en la sección caliente de los motores con turbinas de gas. Pero hay una variedad de nuevas aplicaciones que incluyen sellos de turbinas, cabezas de válvulas y cilindros, pistones en motores Diesel, alabes de turbina y calce de combustores.



FIGURA 13. Pruebas en laboratorio de choque térmico.

Los siguientes son descripciones detalladas de algunas aplicaciones exitosas:

-**Sellos en turbinas avanzadas.** Los sellos cerámicos, en los primeros estados de motores avanzados, operan a temperatura de admisión desde 1150° hasta 1370°C, y mayores. Los sellos cerámicos que sobreviven las altas temperaturas y proveen aislamiento, mantienen el calor en la turbina y minimizan la transferencia de calor hacia el monoblock metálico. Los sellos consisten de una aleación de cobalto o níquel. Estas barreras térmicas también se pueden utilizar en componentes de la turbina como los alabes.

-**Incremento en la vida de los combustores.** Los cerámicos se usan como barreras térmicas en los combustores de las turbinas de gas. Mientras las temperaturas de combustión se elevan para mayor eficiencia térmica, la vida de los combustores metálicos, incluso los que tienen una pequeña capa cerámica, se reduce significativamente. Los elementos de unión cerámico/metal, reducen la temperatura exterior 260°C o más en una

aplicación típica, para extender la vida del combustor. El uso de dichos elementos de unión ayudan mucho en la reducción de costos, incrementando la eficiencia operativa así como el uso de una aleación menos resistente a la oxidación.

-*Aislamiento para motores de combustión interna.* Otra aplicación potencial de los elementos de unión cerámico/metal, es como aislante de la cámara de combustión de los motores diesel. Aislar la cámara de combustión permite incrementar las temperaturas de combustión, mejorando la eficiencia térmica. Un aislamiento mejorado se traduce en menos transferencia de calor hacia el motor y más energía calorífica transformada en trabajo. El desarrollo de dichos aislantes se está llevando a cabo en algunas compañías.

CAPÍTULO 3.
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS.

3.1. VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS, UN PRONÓSTICO A 25 AÑOS.¹⁰

Significativos beneficios potenciales para el medio ambiente son los que presentan los vehículos eléctricos (VE) y los vehículos híbrido eléctricos (VHE), sin embargo muchos expertos creen que la eficiencia de reducción de emisiones tendrá un costo muy elevado comparado con otras opciones. De cualquier manera, el objetivo de mantener la calidad del aire y la capa de ozono en áreas metropolitanas grandes es tan difícil de llevar a cabo que se requerirá la introducción de VE para 1998-2000.

Se realizó una encuesta entre expertos del área automotriz en los Estados Unidos para analizar la posibilidad de introducir dichos vehículos al mercado. El cuestionario abarca las características y componentes de los vehículos. Los resultados de dicha encuesta ayudarán al gobierno e industria mediante las opiniones de los expertos a tomar decisiones para el desarrollo de dichos vehículos y mejorar la calidad del aire, así como reducir las emisiones de CO₂ y el consumo de petróleo crudo.

Los expertos opinan que los cinco atributos más importantes de los VE (en orden) son: distancias de operación, tiempo para recargar, intervalo de mantenimiento, aceleración de 0-50 km/h, y máximo grado de inclinación de una subida para poder mantener una velocidad de 75 km/h constante. Los tres atributos menos importantes son: el peso del envoltorio del vehículo, espacio de carga, velocidad máxima.

Para los VHE, los cuatro atributos más importantes son: la distancia total de operación, máximo grado de inclinación de una subida para poder mantener una velocidad de 75 km/h constante, intervalo de mantenimiento, y la aceleración de 0-50 km/h. Los tres atributos menos importantes son: peso del envoltorio del vehículo, espacio de carga, y tiempo para recargar. La mayoría de los encuestados asumieron el hecho de que se tendría un sistema para recargar las baterías a bordo, haciendo de esta manera el tiempo para recargar menos importante.

¹⁰ VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS, UN PRONÓSTICO A 25 AÑOS. Escrito por H. K. Ng, J. L. Anderson, y D. J. Santini para Automotive Engineering SAE, febrero 1996.

La tecnología en baterías cambia rápidamente. Muchos expertos creen que se deben mejorar muchos aspectos de las tecnologías de almacenamiento de energía (ultracapacitores, baterías y ruedas volantes) antes de ser comerciales.

Setenta y dos por ciento de los encuestados concuerdan en que los VHE serán una vía alterna comercial en lugar de los vehículos de gasolina para el 2005, mientras que el 94% concuerda que tendrán distancias de operación de hasta 150 km más que los VE. Un 95 % asegura que los VHE cumplirán con los estándares de emisiones en los EUA para el 2004. Sólo 28% cree que los VHE serán más baratos que los VE cuando sean comerciales. El 14% dice que los VHE nunca serán una alternativa viable, y 34% cree que los VHE no necesitarán electricidad de la red.

Los precios de venta para los VE y los VHE se han proyectado para ser más altos que los vehículos convencionales para pasajeros de gasolina, pero la curva proyectada de valores para los VE y los VHE de combustión interna es plana. Los VHE de celdas de combustible se han proyectado para tener un costo similar a los vehículos de gasolina para el 2000, pero tendrán una reducción de costo considerable para el 2010. Para el 2020, los encuestados entusiastas de los VHE de celdas de combustible creen que tendrán costos menores que los proyectados por los pesimistas para los vehículos de gasolina. Un grupo de encuestados creen que el precio de los vehículos de gasolina se incrementará para hacer los VE y los VHE competitivos, mientras que otros suponen que los precios de los VHE de combustión interna y de celdas de combustible serán competitivos hasta el 2020.

Los costos de mantenimiento y combustible proyectados son más favorables para los VE y los VHE. Se pronosticó que los VE tendrán mucho menores costos de mantenimiento y combustible para el 2020. Los vehículos convencionales de gasolina y los VHE se han pronosticado para tener costos comparables de combustible y mantenimiento para el 2020, con cierta ventaja para los VHE de combustión interna.

La competencia entre la tecnología de motor y el sistema de propulsión con baterías será importante para el éxito final de los VE y los VHE. Se clasificaron tres motores candidatos según su tecnología y costo; el motor de corriente directa, el de inducción de corriente alterna, y el de corriente directa sin escobilla. Para el 2020, según

los expertos, el de inducción de corriente alterna y el de corriente directa sin escobilla compartirán el mismo ranking tecnológico, mientras que el precio del de inducción de corriente alterna será el menor de los tres.

La masa de los módulos de baterías de propulsión será en cientos de kilogramos, creando un problema cuando termine la vida del módulo al querer desechar los materiales. Las baterías de plomo/ácido y de cinc/aire son consideradas las más reciclables, y las de bromuro de cinc y de disulfuro de litio las menos reciclables. La batería de cinc/aire también es considerada la de menor impacto ambiental, mientras que las de bromuro de cinc y níquel/cadmio las de mayor impacto ambiental.

El acero de alta resistencia a la tensión es considerado el mejor candidato para reducir el peso de los VE y los VHE sin disminuir la seguridad. Otros candidatos son aluminio, plásticos y materiales compuestos. Metal en polvo y cerámicos son los menos indicados aún contando sus atributos benéficos para el medio ambiente y resistencia a la corrosión. Los cerámicos tuvieron el menor ranking en resistencia al impacto, rendimiento, durabilidad, y efectividad de costo.

Considerando los tipos de motor para los VHE, los motores de cuatro tiempos ciclo Otto y Diesel fueron clasificados los más altos por su madurez tecnológica, conveniencia y efectividad de costo. Para el 2020, el motor con mejor efectividad de costo se ha considerado el de ciclo Otto de cuatro tiempos. Aún para ese entonces, las turbinas de gas y las celdas de combustible no tendrán la misma efectividad de costo como los motores de combustión interna.

Más del 80% de los expertos creen que los VE reducirán los niveles de ozono urbanos. Más del 75% creen que los VE serán benéficos para el medio ambiente, cambiando las emisiones de las áreas urbanas a las zonas de las plantas de potencia. Un buen porcentaje de encuestados creen que es mejor tener esas emisiones en zonas concentradas de plantas de potencia para poder recargar los vehículos, reduciendo así las emisiones vehiculares en las calles. Sin embargo, hubo división de opiniones entre los encuestados sobre el combustible para la generación de energía eléctrica. Alrededor de la mitad espera que sea el carbón el combustible predominante. La otra mitad espera que el

gas natural, combustibles de bajo carbono por kW y recursos nucleares sean los predominantes.

Como conclusión de la encuesta se puede decir que los VE y los VHE serán exitosos comercialmente, cuando se mejoren ciertos puntos importantes: Los costos de adquisición y de operación deben ser bajos, además, deben ser igualmente redituables que los de gasolina. Sin embargo, no se pueden hacer conclusiones firmes hasta que no se tenga un análisis completo, pero se tienen buenas esperanzas para estos tipos de vehículos.

3.2. TRANSMISIÓN HÍBRIDO - ELÉCTRICA DEL CHRYSLER PATRIOT.¹¹

Los conceptos de transmisiones híbridas no son nuevos. Los barcos de vela cargaban potencia de vapor auxiliar en los viajes transatlánticos en el siglo XIX. El auto Woods 1917 de "potencia dual" tenía un pequeño motor de combustión interna y un sistema eléctrico de frenos regenerativo. Sin embargo, los automóviles híbridos no han tenido un desarrollo favorable en el mercado. Para que dichos autos sean exitosos, los directivos de Chrysler creen en la teoría de que la transmisión debe diseñarse para el ciclo específico del vehículo; el rendimiento del vehículo debe ser aceptable para el cliente; la eficiencia de los componentes y la durabilidad deben mejorarse; y que se requieren reducciones importantes en el costo de los componentes.

Una transmisión híbrida básica, se compone de un motor eléctrico relativamente pequeño, de potencia baja para mover un motor de tracción eléctrico. Como el MCI se usa únicamente como generador eléctrico, puede girar a una velocidad constante. El consumo de combustible y las emisiones dependen de los cambios de velocidad así como la potencia que produce, una transmisión híbrida puede operar más eficiente y limpiamente que si fuera el alma de potencia del vehículo. Las transmisiones híbridas más avanzadas también recuperan la energía generada cuando el vehículo frena convirtiendo dicha energía en electricidad almacenándola en algún tipo de batería. Esta energía se puede usar en lugar

¹¹ TRANSMISIÓN HÍBRIDO - ELÉCTRICA DEL CHRYSLER PATRIOT. Escrito por Kevin Joet, para Automotive Engineering (SAE) diciembre 1994.

de, o como suplemento, de la energía generada por el motor, para así reducir el uso del MCI y sus emisiones.

Algunos ejemplos de dispositivos primarios para conversión de energía son los de ignición por chispa, ignición por compresión, y turbina de gas. Los requisitos para seleccionar estos dispositivos son: eficiencia máxima, características de eficiencia bajo cierto rango de cargas, relación potencia - peso, consumo de combustible al arranque, y costo.

Dentro de los ejemplos de almacenaje de energía se encuentran las baterías químicas, ruedas volantes, acumuladores hidráulicos, ultracapacitores, y mecanismos neumáticos. Las características que se deben tener en cuenta para elegir los dispositivos de almacenaje de energía son, densidad de almacenaje de energía, capacidades de potencia hacia adentro y potencia hacia afuera, relación de fuga de energía, pérdidas parásitas por equipo adicional, y costo.

Al diseñar el auto de carreras Patriot, Chrysler seleccionó la turbina de gas por su alta relación de potencia - peso. Una "ultra rueda volante" por su gran densidad de almacenaje de energía y sus características de potencia hacia adentro y potencia hacia afuera. Se usó un motor eléctrico para permitir frenado regenerativo. Los ingenieros de Chrysler usaron una pista de carreras para simular el ciclo de trabajo del Patriot. La capacidad de potencia del motor se basa en la energía total requerida por vuelta. La capacidad de potencia de la rueda volante se seleccionó para proveer potencia bajo condiciones extremas, con suficiente absorción de energía en desaceleración máxima. Se eligió gas natural porque es un combustible doméstico de bajas emisiones.

La transmisión híbrida de turbina de gas / eléctrica del Patriot se desarrolló para entregar 370 kW y conducir las ruedas vía un motor eléctrico. La transmisión consiste de cuatro componentes: una turbina de gas, una unidad de alternador de turbina compacta (TAU, turbine alternator unit), rueda volante de fibra de carbón, y un motor / generador de tracción eléctrico.

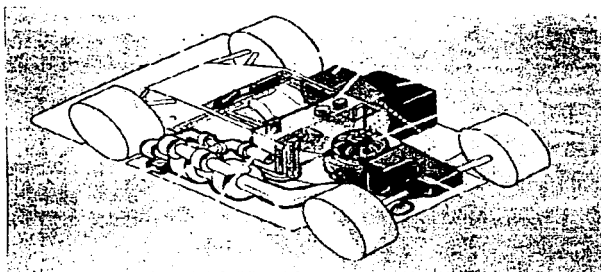


FIGURA 15. Diagrama de partes del Chrysler Patriot.

La TAU integra la turbina de gas de alta velocidad con un alternador eficiente de inducción de CA en el mismo eje. Los diseños eléctrico, estructural y térmico de la TAU permiten operarla a altas velocidades, resultando en una potencia alta de salida con un tamaño del sistema reducido. La potencia de transmisión primaria de la TAU se aumenta con el almacenaje de energía de la rueda volante para mover al motor de tracción. Usando gas natural líquido licuado como combustible, el arreglo de doble devanado de alta potencia combina una turbina centrífuga de alta velocidad y un compresor con un alternador de inducción de CA en cada eje. Cada uno de los devanados montados en el interior del alternador de la turbina de gas generan 185 kW en un volumen un poco mayor que el de una caja de zapatos. Este sistema presenta una densidad de potencia total de aproximadamente 4.3 kW/kg, y un consumo de combustible específico por debajo de 3.1 kg/kWh, con una masa menor de 90 kg.

El aire de admisión en la TAU se comprime primero en el devanado del alternador de la turbina de baja velocidad, después pasa por un interenfriador donde se extrae el calor de la compresión previo al segundo paso de compresión. Después, el aire comprimido pasa al combustor, donde se combina con el gas natural y se enciende. Los alternadores montados

al centro de cada eje producen una potencia de CA de alta frecuencia, la cual se invierte y se deposita en la barra colectora de alto voltaje de CD.

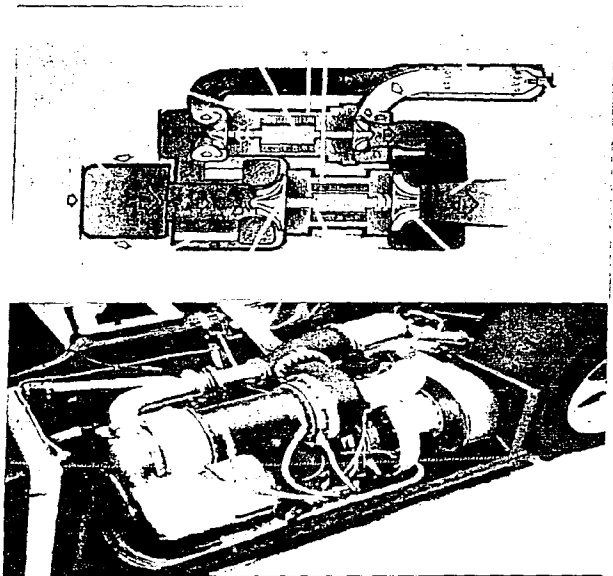


FIGURA 16 Unidad de alternador para turbina TAU.

La TAU ofrece muchas ventajas sobre los generadores diesel convencionales. El alternador de la turbina puede girar bajo condiciones óptimas y con combustibles seleccionados para producir bajas emisiones. La velocidad de operación más alta significa

que los componentes pueden ser más pequeños para producir la potencia necesaria: hay mayores posibilidades de acomodar piezas pequeñas. Con el tamaño reducido y nuevos materiales viene la *reducción de peso*, la cual va de la mano con la eficiencia. Menos piezas y baleros sin contacto en el alternador de la turbina, reducen el *desgaste* y extienden la vida de los componentes. Ajustando las espesas del combustor, el alternador de la turbina puede operar con una variedad de combustibles, haciéndolo ideal para zonas donde prevalecen los combustibles alternos.

El sistema de *almacenaje de energía* de la rueda volante (FES, flywheel energy storage), consiste de una rueda volante de alta velocidad, un motor / generador, un sistema de soporte de baleros, un bastidor de contención / vacío. El control y la potencia inducen electrónicamente energía eléctrica hacia adentro y hacia afuera de la rueda volante. La rueda volante del Patriot, es de fibra de carbón y pesa 57 kg, gira a 60 000 rpm, y sirve como batería ya que almacena hasta 4.3 kW h de energía.

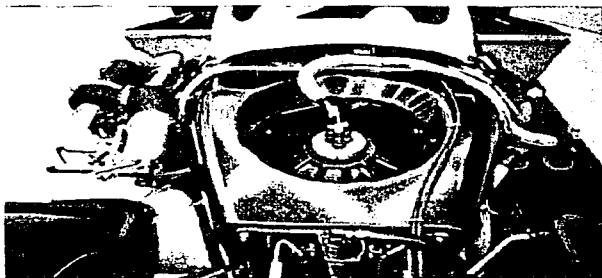


FIGURA 17. Rueda volante de fibra de carbón.

El motor / generador eléctrico de 370 kW, conduce las ruedas traseras, y alimenta de energía a la rueda volante trabajando como generador. El motor de tracción, girando hasta 24 000 rpm, tiene una densidad de potencia de 10 kW/kg. El uso de materiales de

alta calidad y un diseño cuidadoso de circuitos magnéticos nos llevan a eficiencias del 97%. Las máquinas eléctricas Patriot fueron diseñadas para operar a 800 volts para ser compatibles con la transmisión de alto voltaje.

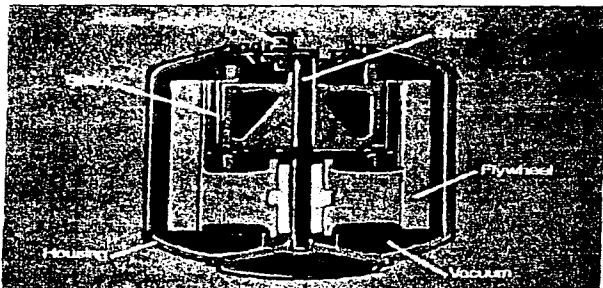


FIGURA 18. Diagrama de partes de la rueda volante.

La transmisión ofrece ciertas ventajas sobre otras tecnologías. Tiene menos masa que un motor convencional o un arreglo de baterías de plomo-ácido. La rueda volante puede pasar por muchos ciclos de carga/descarga sin sufrir deterioro alguno. A través del frenado regenerativo, la rueda volante es capaz de recuperar energía que se pierde usualmente al frenar. La turbina de gas es casi no contaminante si quema gas natural líquido o propano.

Lo más importante de la rueda volante, es que el sistema actúa como un nivelador de carga. Cuando las demandas de potencia son bajas, circulando en zonas planas a velocidad constante, la turbina de gas carga a la rueda volante. Para situaciones donde se demanda alta potencia, el sistema toma energía de la rueda volante. Circulando por una bajada, el motor eléctrico se convierte en generador, alimentando de nuevo a la rueda volante.

En un auto convencional, la versión de esta transmisión provee aproximadamente 110 kW, tiene una masa de aproximadamente 90 kg, y cumple con los estándares de emisiones de California.

ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DEL CHRYSLER PATRIOT.	
VEHICULO	
Tipo	Autos deportivos FIA, con llave de paso abierta
Masa mínima (kg)	720
Longitud hasta alerón trasero (cm)	465
Ancho (cm)	200
Altura:	
-Hasta el rollover (cm)	102
-Hasta el alerón (cm)	96.5
CONTROLADOR TRACCIÓN / MOTOR	
Tipo	Cuatro poleas, inducción CA trifásica
Masa (kg)	65
Velocidad máxima (rpm)	24 000
Material	Aluminio
Lubricación	Aceite
Enfriamiento	Agua
Controlador	72 IGBTs
Relación de engranes	8:1
Voltaje (V)	525
TURBO - ALTERNADOR	
Tipo	Doble alternador con doble devanado
Combustible	Gas natural
Velocidad	
-Estado de baja velocidad (rpm)	50 000
-Estado de alta velocidad (rpm)	100 000
Localización del interenfriador	Entre el compresor bajo y alto
Masa (kg)	85
Tipo de alternador	Inducción de CA trifásica con controlador 72 IGBTs

Materiales	Compuestos, cerámicos, titanio, acero inoxidable
Enfriamiento	Agua
SISTEMA DE RUEDA VOLANTE	
Tipo	Cubierta de vacío, de alta velocidad
Masa (kg)	67
Velocidad máxima (rpm)	58 000
Materiales	Fibra de carbón: rueda (6.3 GPa), carcasa (2.8 GPa)
Vacío (mPa)	1.3
Baleros	Balas
Controlador	72 IGBTs
Enfriamiento	Agua

3.3. CONCEPTO HÍBRIDO DE CHRYSLER.¹²

Dentro de la fase de investigación y búsqueda de distintos tipos de propulsión para vehículos en el programa de PNGV, cada compañía automotriz debe tener un auto concepto para fines de 1997. El Dodge Intrepid ESX es un pronto ejemplo de la tecnología de propulsión híbrida en investigación.

REQUISITOS VEHICULARES.

Los tres fabricantes norteamericanos de automóviles concordaron en un mínimo de requisitos vehiculares. El requisito primordial es superar tres veces la eficiencia de combustible de un sedan típico de seis pasajeros actual. Una aceleración de 0-97 km/h en 12 segundos es el tiempo promedio de esta clase de vehículos. El objetivo para las distancias de recorrido, es un reto real para los vehículos eléctricos, es de 612 km; hasta ahora ningún VE es capaz de recorrer esta distancia. Los vehículos PNGV también deben cumplir con los requisitos de emisiones dictados por EPA Tier II y satisfacer los requisitos de seguridad dictados por FMVSS, un reto considerando los objetivos de reducción de peso. Otro requisito difícil de cumplir para un VE o un VHE es mantener una velocidad constante de 89 km/h mientras se maneja por una subida con 6.5% de inclinación durante 20 minutos. La separación del suelo se puede variar de 94 mm a 64 mm con un sistema

¹² CONCEPTO HÍBRIDO DE CHRYSLER. Automotive Engineering SAE, mayo 1996.

aerodinámico activo. El peso promedio de estos vehículos (Ford Taurus, Chrysler Concorde, Chevrolet Lumina) es de 1470 kg, se debe reducir a 890 kg para ser un vehículo PNGV, teniendo el mismo volumen interior. El arranque puede ser crítico para los esquemas de propulsión híbrida considerando que usan una rueda volante, celda de combustible, o turbina de gas. Un aspecto clave del programa es que los costos de adquisición y operación, que se enfocan en la posibilidad de tecnología, deben ser equivalentes a los costos actuales.

DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA.

El equipo que conforma a PNGV se concentrará en la reducción de las pérdidas de energía. De la energía del combustible, 62.4-69.2% se pierde inmediatamente en calor del motor en la salida, a través de la chaqueta de enfriamiento, o aumentando la temperatura del aire alrededor del motor. Las pérdidas en ralentí debidas al papalote cerrado se añaden al 3.6-17% de las pérdidas. Estas pérdidas se pueden reducir usando sistemas que apaguen el motor en ciertas situaciones. Las pérdidas por los accesorios se consideran pequeñas porque durante las pruebas de EPA no se utilizan, pero en un vehículo convencional de 80 mpg, manejado por un conductor típico usando los accesorios como A/C, faros, y radio entonces la economía de combustible podría caer hasta 45 mpg. Es por esto que PNGV observa la eficiencia con los accesorios. Una vez que se tomaron en cuenta todas estas pérdidas, sólo 12.6-20.2% de la energía original del combustible está disponible para trabajo en las ruedas para mover el auto, compensando las pérdidas de rodaje, aerodinámicas, y de frenado. Las pérdidas de frenado se pueden recuperar incluyendo un sistema de almacenaje de energía regenerativa incluyendo una batería, ultracapacitor, y rueda volante.

Uno de los parámetros críticos para mejorar la eficiencia del combustible es la reducción másica. La reducción de masa en el cuerpo de un 50% es posible usando materiales compuestos o aluminio, pero la gran pregunta es si se puede manufacturar a un precio razonable. PNGV sólo asigna un 10% de reducción de masa a la transmisión por la posibilidad de requerir otros componentes.

DODGE INTREPID ESX.

Cada uno de los tres fabricantes de autos trabaja en sus vehículos concepto para PNGV. Se trabaja muy de cerca con vehículos híbridos como se ha demostrado con los componentes que se han planteado por las maquiladoras y ahora el vehículo concepto Dodge Intrepid ESX. También hay programas de vehículos híbridos en Europa y Asia pero con diferentes requisitos que los de PNGV.

Se dice que el Chrysler Dodge Intrepid ESX provee el rendimiento y el confort de los vehículos familiares actuales, y proveen también la economía de combustible y la "amistad" con el medio ambiente, sin embargo, información de la compañía dice que las tecnologías no son factibles para una producción masiva debido a los costos. El Intrepid ESX es un ejercicio de transmisión, según los directivos de Chrysler; no se han hecho trabajos de conducción ni manejabilidad en este auto. Los componentes híbridos se adaptaron al vehículo ESX concepto primordialmente para desarrollar una estrategia para el sistema controlador de propulsión. En el híbrido diesel/eléctrico, la estrategia del controlador se ve influenciada por los cambios entre los parámetros de baterías y el motor diesel. En el ESX, el alternador del motor diesel tiene la mayoría de la carga, mientras que las baterías se usan como reserva para la aceleración.



FIGURA 10. Motor turbodiesel 1.8L 3 cilindros.

Debido a que los componentes híbridos se adaptaron al ESX, fueron rediseñados para mantener el espacio interior. El vehículo se construyó más "cab forward" para acomodar el motor en la parte trasera. Tiene un cuerpo y estructura de aluminio

fabricados a mano que se dice son 270 kg más ligeros que una unidad comparable de acero de 1300 kg. Mide 4.95 m de largo, 1.93 m de ancho, y 1.34 m de alto, con una distancia entre ejes de 2.87 m. La masa total de la transmisión es justo sobre los 450 kg. El vehículo fue diseñado con un coeficiente de arrastre aerodinámico de 0.20, pero no ha pasado por el túnel de viento; actualmente se construye un modelo para probarlo. El vehículo ha sido diseñado para tener un sistema de frenos de disco regenerativo en las cuatro ruedas. Las masas son de aluminio fundido con ruedas 235/45R19 adelante y 235/50R20 atrás; no hay rueda de refacción.

En las series híbridas tales como el ESX, la potencia se transmite a las ruedas por motores eléctricos, no hay una conexión mecánica directa entre las ruedas y el motor de combustión interna. En el ESX, se acopla la transmisión diesel/eléctrica con baterías avanzadas de plomo/ácido que conducen a los motores eléctricos en cada rueda trasera.

El vehículo usa un motor de 1.8 L, tres cilindros, turbodiesel, suministrado por VM Motori (ahora propiedad de Detroit Diesel) y produce aproximadamente 55 kW a 3600 rpm. Chrysler usa una versión de cuatro cilindros en su Jeep Cherokee y Minivan en Europa. Se ubica entre el compartimiento para pasajeros y el área de carga y conduce un alternador con electro magneto permanente Kohler.



FIGURA 20. La posición de las baterías bajo el cofre pretende maximizar el espacio.

Dos paquetes de baterías, conteniendo baterías de plomo/ácido devanadas en espiral de Bolder Technologies, proveen 300 V corriente directa y una potencia pico de 90

kW a los dos motores eléctricos Zytec de 75 kW. Cada paquete de baterías tiene una masa total de 82 kg, con las baterías en cada paquete que tienen una masa de 44 kg. La masa total de baterías de 164 kg se compara con el del vehículo eléctrico de Chrysler que es de 544 kg. En el ESX, las baterías sólo se usan para aceleración instantánea, nivelación de carga, y recuperación de energía regenerativa, para que puedan ser relativamente pequeños.

Con un giro del volante se cambia el motor de Park a Drive. El paquete de baterías es el alma fuente de potencia en ralentí. A bajas velocidades y bajas demandas, el vehículo se mueve con potencia eléctrica de la batería. Si se requiere más potencia, entonces se enciende el motor diesel. Mientras la velocidad aumenta, el uso de las baterías disminuye y se usa exclusivamente el motor diesel. El motor diesel se usa exclusivamente en la carretera o vías rápidas para disminuir las pérdidas por conversión; de otra manera el sistema crearía un ciclo para mantener el estado de carga de la batería, con las ineficiencias resultantes de carga y descarga. Cuando se detiene el vehículo y se mantiene en ralentí por más de 10 segundos, el controlador apaga el motor diesel para ahorrar combustible.

Los motores de corriente directa, sin escobilla, y magneto permanente, según su fabricante Zytec Automotive Ltd., tienen una excelente relación potencia-peso. Los motores eléctricos son capaces de desarrollar hasta 140 kW y 60 Nm de torque, a pesar de su masa de 13 kg. La alta potencia de salida es posible por las nuevas técnicas de enfriamiento (aceite de enfriamiento presurizado fluye sobre las laminas del estator), por el uso de nuevos materiales desarrollados para aplicaciones aeroespaciales, y por una extremadamente alta velocidad de giro de hasta 20000 rpm. El manejo de potencia, frenado regenerativo, control anti-bloqueo y de tracción, y la propulsión son coordinados por un microprocesador de 32 bits hecho por Zytec.

RETOS HÍBRIDOS.

El objetivo primordial de trabajo del ESX es desarrollar la estrategia del controlador de transmisión. Los ingenieros de Chrysler planean usar lo aprendido con el programa de alto rendimiento Patriot. El microprocesador del controlador determina la

operación e interacción del motor/alternador y paquete de baterías. Uno de los deberes básicos del controlador es mantener el estado de carga del paquete de baterías de 30-70%, ya que el rendimiento de las baterías se ve severamente afectado por descargas profundas.

Determinar el estado de carga de las baterías es uno de los grandes retos. No hay una manera de medirlo precisamente. Las estrategias actuales envuelven el uso de microprocesadores basados en métodos empíricos usando algoritmos, los cuales toman en cuenta variables como temperatura, historia pasada, y relación de atracción.

Mejorar la eficiencia del alternador es otro objetivo. Aumentar su velocidad de operación de 3500 rpm significa que su tamaño se puede reducir drásticamente. Un alternador operando a 20000 rpm permitiría salida similar a la de un componente pequeño. Si el alternador se pudiera enfriar más efectivamente, sería más eficiente y tendría una carga pico más alta, y sería más pequeño.

Chrysler cuenta ya con ayuda de la NASA para desarrollar un modelo de computadora que simule los esquemas de propulsión alterna y sus efectos en el manejo de los vehículos. Este modelo de computadora será usado también por Ford y General Motors debido a la ayuda que permite la PNGV para evitar esfuerzos dobles.

3.4. ALMACENAJE DE ENERGÍA ALTERNA.¹³

La PNGV ha hecho progresos en el desarrollo de tecnologías para almacenar energía tales como baterías de litio-ion, ultracapacitores, y ruedas volantes que se pueden aplicar en un futuro a vehículos eléctricos e híbrido eléctricos.

El objetivo a largo plazo de la PNGV es el vehículo del progreso referido como el *superauto*. El vehículo supuestamente debe llegar 80 mpg, pero debe también tener los atributos promedio de los vehículos actuales como el Chrysler Concorde, Ford Taurus, y Chevrolet Lumina. Para efectuar este objetivo a largo plazo, uno de los objetivos de esta fase del programa, evaluación de tecnología, es el análisis de capacidades de un sinnúmero

¹³ ALMACENAJE DE ENERGÍA ALTERNA. Escrito por Kevin Jost, editor asociado de Automotive Engineering SAE, noviembre 1996.

de esquemas de propulsión involucrando al convencional, eléctrico, híbrido eléctrico, y componentes de celdas de combustible.

La USCAR publicó un folleto que comprende los logros de muchos de los proyectos de la PNGV en categorías incluyendo ingeniería vehicular, motores de combustión interna, turbinas de gas, electrónica de potencia, materiales y estructuras, manufactura, análisis de sistemas, celdas de combustible, y para analizar ahora almacenaje de energía. A continuación se explican algunos desarrollos en las tecnologías de baterías, capacitores, y ruedas volantes.

Electrodos de baterías de litio-ion.

La siguiente generación de baterías de litio-ion podrían eventualmente impulsar un vehículo de la PNGV eléctrico o híbrido eléctrico, con variedad de aplicaciones para productos del consumidor tales como computadoras portátiles y teléfonos celulares, así como satélites comerciales y militares. Según USCAR, este tipo de batería provee una densidad de corriente cuatro veces la de plomo/ácido y dos veces la de níquel/cadmio y níquel/hidruro metálico, y tiene un eficiente uso de energía regenerada por los sistemas de frenos. También tiene el potencial de ser uno de los sistemas de baterías de más bajo costo y cumplir con el objetivo de los paquetes de almacenaje de energía de PNGV de \$500 USD para 3kW-h, con futuras mejoras en el rendimiento del material, y manufactura de la celda.

Trabajo realizado en los Sandia National Laboratories ha resultado en el desarrollo de materiales para electrodo que pueden llevar a una batería de litio-ion segura y con un ciclo de vida mejorado. Sus carbones sintéticos y los óxidos de manganeso con litio tienen densidades de corriente cercanos a los límites teóricos, y son estables ante los amplios rangos de temperatura de operación de las aplicaciones vehiculares. Se dice que el óxido de manganeso con litio rinde mejor que cualquier otro óxido de manganeso obtenido por los manufactureros americanos o japoneses.

Ultracapacitores.

Un ultracapacitor es capaz de entregar muchas veces la potencia específica de sistemas de baterías convencionales. Puede ser una tecnología útil para los sistemas de

propulsión híbrido eléctricos, pero se requiere de optimización posterior para cumplir con los requisitos de PNGV de rendimiento y costo. Un ultracapacitor representa la siguiente generación de capacitores, que se pueden encontrar hoy en día en cualquier dispositivo electrónico para almacenar energía eléctrica. Los ultracapacitores, que ya se han desarrollado para las comunicaciones, electrónica, y aplicaciones médicas, tienen el potencial de almacenar más de cien veces la energía de los capacitores convencionales. La energía se almacena en un ultracapacitor mediante la separación de carga por los microporos de materiales con gran área superficial. Estos materiales normalmente no son resistentes a la degradación química como los materiales típicos de baterías convencionales. Este mecanismo de almacenaje de energía es la razón principal por la que los ultracapacitores tienen unos ciclos de vida extremadamente altos.

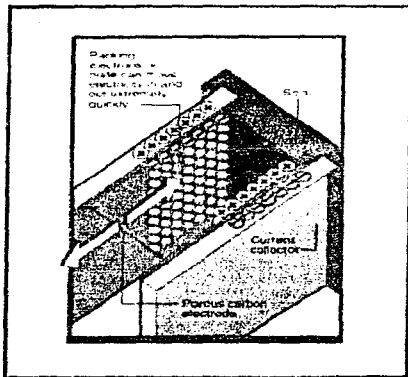


FIGURA 21. Configuración de un ultracapacitor.

Los ultracapacitores pueden ser utilizados para aplicaciones híbridas como un sistema de baja capacidad de almacenaje de energía (0.1-0.5 kWh), o para nivelar la carga de una batería o celda de combustible, que requiere una capacidad significativamente más

alta (2-8 kWh). Los ultracapacitores proveen alta potencia suplementaria para la aceleración de un vehículo híbrido, y puede aceptar y almacenar pulsos altos de energía recuperados del frenado regenerativo.

Los Maxwell Laboratories están involucrados en la realización de los ultracapacitores PNGV. Ya han fabricado unos ultracapacitores no acuosos, de base de carbón, 24 V y los han probado en el Department of Energy's Idaho National Engineering Laboratory. Las pilas bipolares de ocho celdas tuvieron energías específicas de 4.5 Wh/kg y potencias específicas en exceso de 1 kW/kg.

La compañía también ha desarrollado y fabricado una celda avanzada, monopolar, de alta energía clasificado a 2300 farads. Este dispositivo de 3 V produce una energía específica de 5 Wh/kg y es capaz de entregar una corriente en exceso de 100 A.

En otro desarrollo de ultracapacitor, investigadores de Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) han aplicado un material de carbón aerogel a un "aerocapacitor." El carbón aerogel es uno de los materiales más ligeros y su área superficial cumple con la necesidad del tamaño compacto de un ultracapacitor.

Los aerocapacitores no son caros y han demostrado el potencial para su fácil producción. Debido a la gran área superficial del aerogel, puede entregar 50 veces más potencia que las baterías en un espacio dado. Además, su conductividad es mayor que la de los capacitores hechos de otras formas de carbón y polvos de carbón debido a la estructura de panal de abeja.

Los investigadores de LLNL han desarrollado aerogels del tamaño de una uva con área superficial efectiva del tamaño de dos canchas de basketball. Los aerocapacitores han mostrado capacidades de hasta 40 farads/cm³ y excelente rendimiento a temperaturas tan bajas como -30°C. Las densidades de potencia son de más de 7 kW/kg, mientras que las densidades de energía con electrolitos acuosos son de 4 Wh/kg. Los aerocapacitores también almacenan energía durante un período de semanas.

Ruedas volantes.

La rueda volante o batería mecánica, una masa girando alrededor de un eje, es uno de los dispositivos mecánicos más viejos y comunes. Muchos de los conceptos usados hoy

en ruedas volantes se dice que han sido puestos en marcha por el Dr. Richard Post en LLNL. En las dos últimas décadas, LLNL ha explorado el diseño de las ruedas volantes, baleros magnéticos, e integración del sistema. Ahora, con cooperación de General Motors como parte del programa para el sistema de propulsión híbrida, ha desarrollado ruedas volantes para vehículos híbridos y está transfiriendo la tecnología a la industria.

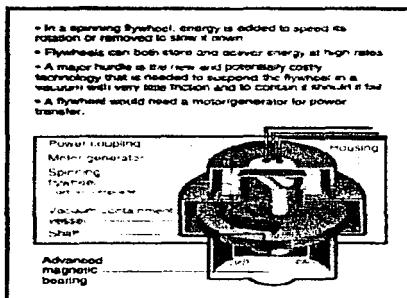


FIGURA 22. Configuración de una rueda volante o batería mecánica.

En vehículos híbridos, el motor de una rueda volante acepta la potencia de la fuente de energía del vehículo (p.e. un motor conduciendo un generador o una celda de combustible) para hacer girar la rueda volante. La energía eléctrica es llevada del generador de la rueda volante a los accesorios y motores que conducen las ruedas del vehículo.

Las ruedas volantes pueden evitar los problemas asociados con el almacenaje de energía de los vehículos híbridos eléctricos, especialmente para los sistemas que se cargan y descargan seguido y rápido. Comparado con otras formas de almacenaje de energía, las ruedas volantes tienen la habilidad de entregar alta potencia por tamaño y peso; sus ciclos (descarga y recarga) pueden ser muchos cientos de veces; pueden tener un estado

precio de carga conocido; tiene larga vida útil; y operan sin usar materiales potencialmente dañinos.

Debido a que los rotores de las ruedas volantes giran a alta velocidad, el posible daño debido a la falla del rotor puede ser dirigida. La seguridad de una rueda volante involucra el diseño del rotor con resistencia a la falla, hacerlo en una forma benigna si es que falla, y asegurarse de que la estructura de contención puede manejar las cargas.

Las preocupaciones de la seguridad de las ruedas volantes son el máximo obstáculo para su aceptación en el mercado. Se están construyendo muchos laboratorios y zonas experimentales para probar las ruedas volantes. Los programas incluyen una cantidad significativa de pruebas experimentales para determinar las características de las fallas del rotor de la rueda volante y las cargas resultantes.

Los avances en LLNL incluyen la fabricación de un material compuesto mejorado; rotores fuertes y simples; un nuevo motor/generador de alta potencia; diseño de sistemas de baleros pasivos magnéticos; pruebas de reacción al golpe durante eventos de estallamiento; y demostración en el laboratorio de sistemas integrados de ruedas volantes.

3.5. LOGROS DE LA INGENIERÍA VEHICULAR DE PNGV.¹⁴

La alianza entre Ford, General Motors, Chrysler y el gobierno de los Estados Unidos, conocida como PNGV, continúa trabajando en el desarrollo de su objetivo a largo plazo que consiste en producir un vehículo alcanzable económicamente, eficiente en cuanto a combustible, y de bajas emisiones que cumpla con los estándares de rendimiento de hoy en día. Se ha explorado un diverso rango de conceptos y tecnologías en áreas como generación de energía, almacenaje de energía, electrónica, materiales, manufactura, y análisis de sistemas. A continuación se presenta un resumen de los logros más recientes y significativos que se han llevado a cabo por la PNGV con respecto a vehículos concepto.

¹⁴ LOGROS DE LA INGENIERÍA VEHICULAR DE PNGV. Escrito por Carolyn Taylor, editora asistente de Automotive Engineering SAE en noviembre 1996.

sistemas de propulsión híbrida, y bolsas de aire que la alianza clasifica como tecnología en ingeniería vehicular.

VEHÍCULOS CONCEPTO.

Todos los conceptos desarrollados por PINGV incluyen innovaciones en diseño, proceso, y materiales que contribuyen a la creación del superauto. El Ford Synergy 2010 demuestra que un vehículo puede llegar a 80 mpg mientras mantiene la utilidad, precio, y rendimiento de los autos actuales. Este vehículo concepto deriva su eficiencia, en parte, por una transmisión híbrida eléctrica. Tiene un motor montado en la parte trasera, de inyección directa de 1.0 lt, ignición por compresión que conduce a un generador para producir electricidad en los magneto-motores localizados en cada rueda. La energía en exceso del motor y del frenado regenerativo se almacena en un sistema de rueda volante.

El uso de materiales ligeros y diseño futurista ayudan al mejoramiento de la eficiencia en este vehículo. El cuerpo en forma aerodinámica construido de aluminio hace al Synergy 2010 un tercio más ligero y 40% más aerodinámico que el Ford más impecable actual. Las salpicaderas con su diseño distintivo de aletas, y la defensa delantera que se dobla como un spoiler ayudan en el diseño y sirven para mejorar la aerodinámica general y la economía de combustible.

Mientras que el Synergy 2010 explora el futuro a través de tecnologías de propulsión híbridas, materiales avanzados, y diseño único, también incluye las características del próximo siglo como tablero de instrumentos activado con voz, volante parecido al de un avión, y cámaras traseras que sustituyen a los espejos. El Dodge Intrepid ESX es la perspectiva de Chrysler de cómo podría ser un sedan familiar deportivo el próximo siglo. Su cuerpo de aluminio es 272 kg más ligero que los sedan comparables de acero, por esto ofrece economía de combustible y aceleración mejorada. Está diseñado para altas eficiencias y bajas emisiones, la transmisión híbrida/eléctrica en serie, acoplada con baterías avanzadas de plomo/ácido, conducen a dos motores eléctricos de 75 kW montados en las ruedas traseras. El motor turbodiesel de tres cilindros conduce un alternador muy potente el cual genera aproximadamente 300 volts. La potencia para aceleración instantánea y la captura de la energía regenerada durante el frenado es

proveída por baterías avanzadas con devanado espiral de plomo/ácido. Mientras que las tecnologías usadas en el ESX se pueden usar en prototipos, muchas todavía no son factibles para producción en masa por su costo y porque aún requieren mejoras.

General Motors diseñó un vehículo eléctrico, el EV1, que está más allá de la mitad del camino para cumplir los objetivos de PNGV de masa: coeficiente de arrastre, reducción de la resistencia al rodamiento, eficiencia eléctrica, y frenado regenerativo. El motor de inducción de 102 kW pesa 68 kg y convierte eficientemente energía almacenada en 26 baterías de plomo/ácido de 12 volts. La carrocería de aluminio bien moldeado y nuevas tecnologías en los interiores como asientos de magnesio fundido y los respaldos con marco de aluminio extruído también ayudan al vehículo eléctrico a cumplir con los objetivos de reducción de masa total.

Para contribuir con su incrementada distancia de recorrido y mejorada seguridad, viaje y manejo, cuenta con un sistema de frenos aplicados eléctricamente y una suspensión ligera de peso. Una computadora controla una combinación de frenado regenerativo e hidráulico en las ruedas delanteras, con un sistema de frenado eléctricamente completo en las ruedas traseras, incrementando la distancia de recorrido del vehículo en un 20%. Las suspensiones delantera y trasera están hechas de un compuesto de metal/polímero y aluminio forjado y extruído. Tiene forma de gota y es por eso que es el automóvil con el menor coeficiente de arrastre que es de 0.19. El EV1 será introducido al mercado en otoño de 1997 en el sur de California y Arizona.

SISTEMAS DE PROPULSIÓN HÍBRIDOS.

Los sistemas de propulsión híbridos, combinan tecnologías de conversión y almacenaje de energía para impulsar a los vehículos, comúnmente se aceptan como críticos para el objetivo de eficiencia de combustible y bajos en emisiones en PNGV. Cada planta manufacturera tiene la tarea de diseñar un sistema factible y trabaja muy de cerca con varios proveedores automotrices para el desarrollo de tecnologías, un ingrediente esencial en la producción de vehículos híbridos.

Ford Motor Company actualmente prueba varias configuraciones híbridas, incluyendo un sistema de almacenaje de energía de rueda volante, un módulo de

ultracapacitor, y baterías de electrodos delgados de 12 volts. Empezaron trabajando en dos vehículos prototipo que servirán de conejillos de indias: un Ford Ecostar eléctrico modificado y un Mondeo europeo. Ford convocó a un concurso para el diseño, desarrollo y pruebas de un motor híbrido de ignición por compresión e inyección directa, que al integrarse a la transmisión híbrida en paralelo, tenga el potencial de entregar la mejor economía de combustible de todas las alternativas de propulsión híbrida. Hasta la fecha, trece compañías han participado con análisis de tecnología y desarrollo.

General Motors con la colaboración de más de veinte compañías, ha logrado en la integración del primer sistema de propulsión híbrido en un vehículo. El Lumina 1995 sirve como vehículo de pruebas, cuenta con una unidad completa de potencia híbrida, unidad eléctrica, electrónica, control térmico, frenado regenerativo, y sistemas de almacenamiento de energía. A la fecha se trabaja en el desarrollo de un nuevo vehículo de pruebas.

Mientras tanto, Chrysler inició un subcontrato con Midwest Research Institute, comenzó con el modelado y simulado de configuraciones híbridas, e inició estudios para analizar la factibilidad de sistemas en serie y en paralelo.

BOLSAS DE AIRE.

La tecnología en las bolsas de aire también es un elemento de exploración para PNGV. Se está desarrollando en Sandia National Laboratories un nuevo prototipo de bolsa de aire para obtener un automóvil más seguro. El desarrollo de la bolsa de aire usa modelos sofisticados en computadora incluyendo análisis estructural e incorporando técnicas de cálculo normalmente usadas para fabricar paracaídas de alta tecnología. Aunque la bolsa de aire se infla al mismo tamaño que las convencionales, es 60% más pequeña cuando está doblada y pesa 60% menos, por eso se infla más rápido durante el impacto. Está hecha de una tela más suave para reducir la irritación facial; además, este diseño más pequeño mejora la protección del conductor mientras que minimiza el desperdicio de tela y maximiza el espacio interior. Este nuevo diseño se espera que aparezca en los modelos europeos de 1997 y en los americanos en 1998.

3.6. FORD P2000.¹⁵

Ford Motor Company presentó el auto de investigación que representa al sedán más ligero del mundo con una masa de 906 kg, usando menos metales ferrosos y más aluminio, magnesio, y titanio que el Taurus GL 1997. Se analizó cada parte para encontrar la reducción de masa, mientras se consideraron las características de impacto de resistencia, rigidez y desgaste.

En una de las más extensivas aplicaciones en computación automotriz, el equipo de 150 miembros dedicó más de 20000 horas extras en el modelado por computadora para correr permutaciones y alternativas para analizar reducciones de masa sin interferir con la integridad estructural, resistencia, y seguridad.

El Synergy 2010 era sólo un vehículo concepto, el P2000 es real. Incorporará tecnologías de diseño y manufactura factibles para la producción en grandes volúmenes y ofrecerá la misma durabilidad y características de rendimiento que los vehículos actualmente producidos.

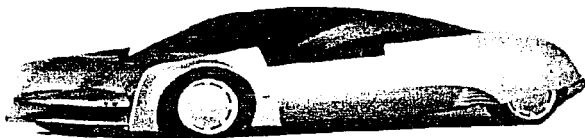


FIGURA 23. Ford P2000.

Los materiales del chasis del P2000 incluyen titanio, acero tubular, polipropileno, fibra de carbón, y compuestos de matriz metálica. Los 5 kg de titanio en el P2000 incluyen cientos de tuercas de 9 g, sustituyendo a las tuercas actuales de acero revestidas de cinc de 16 g, generando una reducción de masa del 47%.

El P2000 cuenta con un bastidor delantero de aluminio fundido de 14.4 kg. En el Taurus 1997, el bastidor delantero está formado por cinco piezas de acero estampado

¹⁵ FORD P2000. Escrito por Kami Buchholz. Automotive Engineering, mayo de 1997.

soldadas a un tubo para soportar las piezas de la suspensión. El aluminio fundido reduce la masa (14.4 vs 21.3 kg), reduce costos, reduce partes, y mejora la estabilidad dimensional. Otras partes de aluminio en el chasis del P2000 son: un booster de frenos de 1.86 kg (vs 3.65 kg de acero), y un rotor de frenos delanteros de 2 kg (vs 5.4 kg de acero).

Los ingenieros también encontraron 77 aplicaciones del magnesio, entre las que destacan: el cárter, múltiple de admisión, ensamble de la transmisión, rin de rueda de refacción, pedal del clutch, ensamble del clutch, columna y eje de la dirección, volante, y alternador.

El P2000 utiliza un tanque de combustible más pequeño (35 kg de combustible líquido vs 63 kg) debido a que el sistema de propulsión en general es más eficiente. Usa resortes y amortiguadores así como el booster de los frenos más pequeños por el menor peso del vehículo.

El sistema de propulsión del P2000 consta de un motor de cuatro cilindros de 1.2 litros encendido por compresión de inyección directa (CIDI, compression ignition direct injection). El trabajo de desarrollo empezó en junio de 1995 para diseñar un CIDI más pequeño vía modificaciones en el ensamble y en la configuración de enfriamiento. Cada uno de los cilindros es de 300 cm³ de 70 mm de diámetro. Dicho motor completamente de aluminio, genera 75 hp, y es el CIDI que se dice ser el más bajo en emisiones, de mayor energía jamás diseñado para la industria automotriz.

El Ford P2000 puede usar uno de dos sistemas de propulsión, una transmisión de bajos requisitos de almacenaje (LSR, low storage requirements) o una post transmisión híbrida (PTH, post transmission hybrid). El sistema LSR usa una batería de plomo-ácido de 11.3 kW/0.33 kWh y una combinación de alternador arrancador (sustituyendo al alternador y arrancador convencionales). El sistema PTH incluye un motor eléctrico y tiene aproximadamente 10 veces más almacenaje de energía eléctrica. Usa una batería de plomo-ácido de 45 kW/3.4 kWh. Las proyecciones de economía de combustible del sistema LSR son 59 mpg en la ciudad y 70 mpg en las carreteras, mientras que las proyecciones en km/L del sistema PTH son 68 mpg en la ciudad y 71 mpg en las carreteras.

Se espera que los primeros P2000 manejables (16 vehículos) estén disponibles en octubre de 1997. Todavía no se sabe si comenzarán con la configuración eléctrica o con el motor CIDI.

3.7. MODELO HÍBRIDO DE RENAULT: "NEXT".¹⁶

Francia cuenta con pocos recursos naturales para producir combustibles fósiles, pero tiene energía eléctrica considerable que apunta en dirección hacia el desarrollo de sus futuros vehículos. Las investigaciones de Renault resultaron en Next, un nuevo vehículo híbrido que completó satisfactoriamente su primer recorrido a través de París.

Un auto estándar usa sólo el 40% de su potencia más del 80% del tiempo que está circulando. Además, mientras el 25% de su energía se usa en la ciudad, emite completamente 80% de sus gases de escape en el primer cuarto de un viaje de 4 km, una distancia común para manejo en zonas urbanas.

Gracias al buen uso de diseño asistido por computadora, la etapa del modelado a escala no se llevó a cabo, y las piezas fueron directamente maquinadas usando los datos digitales disponibles. Sólo se necesitaron 12 meses para diseñar el Renault Next.

El Next tiene un motor de 750 cm³, 35 kW en el eje delantero y dos motores eléctricos de 7 kW montados en las ruedas traeras. Una computadora se encarga de las operaciones complejas del motor, adaptándose a las condiciones de manejo tan suavemente que el conductor no nota el cambio de un tipo de motor a otro. La computadora alterna añade tracción térmica a la transmisión eléctrica para disminuir el consumo de gasolina. Quema aproximadamente un litro por cada 24 km de recorrido cumpliendo con los últimos requisitos europeos.

El Next arranca con el motor eléctrico hasta llegar a la velocidad de 40 km/h. Entonces arranca el motor térmico, recargando automáticamente las baterías. Los dos motores trabajan a velocidades más altas, o bien el motor de gasolina puede ayudar si la computadora juzga que la potencia de las baterías es baja. Las baterías también se

¹⁶ MODELO HÍBRIDO DE RENAULT: "NEXT". Escrito por Al Demmler, Automotive Engineering, enero de 1997.

cargan durante las desaceleraciones. El auto puede llegar hasta 140 km/h con el motor de gasolina sólo, o 165 km/h con las dos transmisiones trabajando juntas.

Esta hecho básicamente de aluminio y fibra de carbón, es un vehículo ligero a pesar de los 150 kg de baterías. Tiene una masa total de 91 kg menos que el Renault 19 con motor de 1.9L. Mide poco menos de 4 m de largo, y más de 1.7 m de ancho, con un suelo completamente plano. Tiene tres asientos al frente y dos en la parte posterior. La cajuela se puede agrandar abatiendo los dos asientos traseros.

3.8. UN NUEVO PUNTO DE VISTA DE LA EFICIENCIA EN LOS VEHÍCULOS HÍBRIDO ELÉCTRICOS.¹⁷

Lo que se piensa actualmente sobre los vehículos híbrido eléctricos puede subestimar la importancia en la reducción del uso de petróleo. Estos vehículos pueden reducir el consumo de combustible, usar combustibles alternos de base no petrolífera, y reducir las emisiones contaminantes y de esta manera la contaminación urbana.

Factores de la eficiencia.

Es más fácil entender la eficiencia de los VHE comparada con la eficiencia de los vehículos convencionales. Mientras la potencia máxima para la mayoría de los autos nuevos en el mercado norteamericano es de 100 kW, actualmente el promedio de potencia utilizado durante el manejo en ciudad y en carretera es aproximadamente 75 kW. A esta baja carga, la eficiencia del motor es pobre, 20%. En un vehículo híbrido, un motor muy pequeño operando a la máxima eficiencia o cerca de ésta genera este pequeño nivel de potencia. Entonces se usa una transmisión eléctrica para proveer los requisitos de carga variable en carretera. El frenado regenerativo, usar parte del frenado del vehículo para recargar las baterías es un bi-producto de la transmisión. La transmisión híbrida permite a los motores alternos tener mayores eficiencias que los motores convencionales de ignición por chispa, con oportunidades posteriores de ganancia en eficiencia.

¹⁷ UN NUEVO PUNTO DE VISTA DE LA EFICIENCIA EN LOS VEHÍCULOS HÍBRIDO ELÉCTRICOS. Escrito por Charles Mender, de Abacus Technology Corp. para Automotive Engineering SAE, febrero 1997.

Incrementar la economía de combustible y cambiar a combustibles alternos puede reducir notablemente el consumo de petróleo y la emisión de gases con efecto invernadero (GHG, greenhouse gases). Los vehículos eléctricos tienen niveles de consumo de petróleo muy bajos en cualquiera de sus configuraciones. Un VHE operando con M85, una mezcla de 85% etanol y 15% gasolina, tiene un consumo de petróleo en un ciclo completo de combustible aproximadamente 90% menor que el de un auto convencional. De igual forma, se pueden tener bajos niveles de consumo de petróleo con combustibles alternos tales como gas natural, etanol, e hidrógeno.

Los análisis muestran que una alta eficiencia vehicular requerirá una combinación de mejoras en la transmisión y en el diseño del vehículo. Se han buscado muchas maneras de reducir el peso y mejorar la aerodinámica de los VE. En base a un vehículo del mismo tamaño, los VHE deben tener una mejor eficiencia de ciclo de combustible completo que los VE. La eficiencia del motor de un VHE es casi tan alta como la de una planta de energía eléctrica debido a la optimización del tamaño del motor. No hay pérdidas en la línea de transmisión, y los VHE no requieren baterías muy grandes, haciéndolos más ligeros que los VE.

Los autos actuales con motores de combustión interna usualmente son optimizados para operar eficientemente con gasolina, pero no con combustibles alternos. Por lo tanto, los consumidores no se dan cuenta de los beneficios de los combustibles alternos. En comparación, los motores alternos considerados para los VHE, tales como turbinas de gas cerámicas y motores Stirling, se pueden diseñar para operar eficientemente con un gran rango de tipos de combustibles.

La capacidad multi combustible es ideal para proveer una transición sin interrupciones del petróleo a los combustibles alternos. El conductor podrá usar gasolina como combustible de repuesto si no hay disponible el combustible alternativo. Otra ventaja de los VHE es, las largas distancias de recorrido, mientras que los VE pueden ser usados como segundo vehículo de bajo costo, bajo mantenimiento, para distancias cortas.

El ahorro en el consumo de petróleo resultante del aumento en la economía de combustible y el cambio a combustible alternativo puede ser significativa. De 1983 a 1993, la

economía de combustible promedio se vio estancada, y el consumo total de combustible incremento ligeramente debido a los kilómetros recorridos por los vehículos. Un vehículo de 50 mpg puede reducir los niveles de 1983 de consumo de petróleo hasta 61%. Para un vehículo de 80 mpg, el consumo es 39% los niveles de 1983, y un vehículo de 80 mpg con M85 reduce el uso de petróleo hasta 16% dichos niveles, si los kilómetros recorridos continúan incrementando 3.09% por año. Estos valores de consumo de combustible son para un sólo vehículo; los valores totales dependen del mercado.

El ahorro económico que resulta de este ahorro de petróleo es muy importante, por lo que se deben buscar las alternativas correctas para no tener una ventaja tecnológica contra otra y de esta manera incrementar el valor agregado.

Bajos niveles de emisiones de los VHE.

Los vehículos híbridos comúnmente son vistos como mitad vehículos eléctricos y mitad vehículos convencionales de combustión interna, y por lo tanto, tienen un 50% más emisiones que los VE. Sin embargo, cuando son medidos bajo una base de ciclo completo de combustible, los VHE proveen casi los mismos beneficios en cuanto a emisiones que los VE comparados con los MCI.

En los vehículos último modelo de 1991, la evaporación del combustible era la mayor contribución a la emisión de gases orgánicos no de metano (NMOG, nonmethane organic gases). En un vehículo de 28 mpg último modelo de 1988 de ultra bajas emisiones ULEV, las emisiones por el escape son sólo el 15% de las emisiones NMOG. Las emisiones de ciclo completo de un VHE ULEV de 80 mpg son 50% menores que las emisiones de un ULEV convencional, si las emisiones evaporativas móviles se reducen en proporción a las mejoras en economía de combustible.

El prototipo VHE de Mitsubishi tiene grandes baterías para permitir una distancia de recorrido largo cuando se usa el sistema eléctrico. Pesa casi el doble que el VHE-ULEV de 80 mpg proyectado. Tiene un millaje de 18-24 mpg, las emisiones de NMOG son altas durante la carga de combustible, pero se compensan con las casi nulas emisiones por el tubo de escape. El Mitsubishi y el VHE-ULEV 80 mpg tienen casi las mismas emisiones NMOG, el VHE-ULEV 80 mpg tiene una economía de combustible muy superior.

Las emisiones por el escape de un VHE son fáciles de controlar, por eso se espera que los VHE cumplan con los estándares de ULEV.

La mayoría de las emisiones de un MCI ocurren durante los primeros minutos después de arrancar un motor frío, antes de que el convertidor catalítico se caliente. Un VHE se puede manejar, completo o compartidamente, con el motor eléctrico mientras se calienta el convertidor catalítico, reduciendo así las emisiones del escape.

Los VHE pueden usar motores y combustibles alternos teniendo menores niveles de emisiones. Los vehículos con gas natural comprimido CNG tienen mucho menores niveles de emisiones porque el gas no quemado que sale del tanque es primordialmente metano, el cual no es un contaminante regulado. Los VE tienen los niveles de emisiones NMOG más bajos, pero la diferencia incremental entre emisiones NMOG de un VE y un VHE es tan sólo de 10%.

Para que la estrategia tenga éxito en un 90%, los sistemas de emisiones no deben fallar durante la vida útil del vehículo. Los estándares de certificación que aseguran una garantía del fabricante, presentan una barrera para la factibilidad comercial. Todas las transmisiones tienen un desgaste eventual, y ningún fabricante garantiza su reposición por tiempo indefinido. Una estrategia alterna es que los fabricantes garanticen y se comprometan a reparar cualquier falla durante los primeros 160000 km. Bajo esta cláusula, CARB (California Air Resource Board) impone otra cláusula donde hace que los fabricantes se comprometan ya sea a reparar el auto o bien a comprarlo por una cantidad considerable. El uso de estos vehículos no será permitido en California sin un certificado de reparación.

CAPÍTULO 4.
PERSPECTIVA SOCIAL.

Hasta ahora hay opiniones divididas con respecto al automóvil, para algunos es un objeto que da categoría, para otros es una pasión, para muy pocos es un pasatiempo, y sin embargo, no podemos olvidar el objetivo primordial que no es más que un medio de transporte. Sin importar las opiniones, lo más importante de cada automóvil es el rendimiento de su motor y la comodidad (manejabilidad, ergonomía, etc). Los ingenieros ligados a la industria automotriz han buscado durante años mejorar las bases importantes antes mencionadas. Así como al pensar en un automóvil siempre se toman en cuenta las ventajas que éste representaría en términos de transporte personal, también se deben tomar en cuenta las desventajas que éste representa, tanto en términos de carácter público (contaminación, tráfico, etc) como en términos de economía personal (mantenimiento, seguridad, etc).

Los ingenieros del futuro debemos pensar en resolver los graves problemas generados por el uso del automóvil en las grandes ciudades. Es por todos conocido que el sistema de transporte masivo tiene muchas deficiencias, por eso, debemos redoblar esfuerzos en el desarrollo de un mejoramiento en dicho transporte. El Sistema de Transporte Colectivo Metro de la ciudad de México es uno de los que más gente transporta diariamente en el mundo; sin embargo, es insuficiente para el tamaño de nuestra ciudad. Hay proyectos en espera muy importantes como lo es el del tren elevado; dicho proyecto ayudaría en gran parte a mejorar uno de los problemas del transporte masivo, pero este proyecto está detenido por la falta de recursos económicos y la falta de aceptación, lógicamente por parte de la gente que no lo requiere. También cabe mencionar la falta de organización del transporte concesionado; éste es sin duda el más grande organizador de los problemas de tráfico y en consecuencia de contaminación. Dicho transporte debería de estar concesionado, sí, pero a una o dos organizaciones, dueñas del gran lote de camiones y microbuses. Cada una de estas organizaciones se repartirían las rutas que por supuesto deben estar bien planeadas y con paradas establecidas; de esta manera se evitaría que los choferes vayan luchando por las calles de la ciudad para llevar al mayor número de pasajeros, que son los que les generan ingresos. Tener un buen sistema de transporte masivo eliminaría en gran parte la utilización del automóvil. Con un buen

sistema de transporte masivo, la gente que lo utiliza para dirigirse al trabajo, recurriría al transporte masivo, siempre y cuando, éste le produjera ahorros, tanto económicos en términos de mantenimiento y operación de su vehículo, como en tiempo total de recorrido.

Los ejemplos de transporte masivo antes mencionados se limitan únicamente a la ciudad de México, por ser los que conocemos a detalle, pero no debemos olvidar a otras ciudades del mundo de gran tamaño que también cuentan con los mismos problemas (Los Angeles, París, Río de Janeiro, Roma, Madrid, por mencionar algunas).

Actualmente se están tomando medidas drásticas sobre la utilización del automóvil en países europeos como Dinamarca, lo cual indica que no es necesario que las ciudades sean de gran tamaño para que tengan problemas de contaminación y tráfico. Tienen un proyecto de ley, que dice, el automóvil sólo se podrá utilizar para distancias mayores a cuatro millas, para distancias menores se deberá recurrir al uso de bicicletas. Para hacer factible la aplicación de esta ley, se creó un carril exclusivo para bicicletas en todas las calles de Copenhague. En horas de tráfico, las bicicletas tienen derecho de paso en cruces con o sin semáforo, esto es para hacer aún más atractivo el uso de la bicicleta en lugar del automóvil. Se tiene planeado que, en no más de diez años esta ley se encuentre en vigor en todo el país.

En un gran número de ciudades de Estados Unidos (California sobre todo) ya existe el carril exclusivo para bicicletas, sin embargo, no existe ninguna ley que obligue a dejar el automóvil para distancias cortas, este carril lo utilizan únicamente deportistas y niños que se dirigen a la escuela.

Esta no es una mala idea para la ciudad de México, ya que la bicicleta es un vehículo accesible para cualquier persona. El problema es que hace falta una conciencia cívica para respetar al ciclista, lo cual disminuye considerablemente lo atractivo de dicho proyecto. Un buen principio sería iniciar con esta iniciativa en algunas colonias importantes de la ciudad (Polanco, Condesa, Zona Rosa, Centro, Del Valle, por mencionar sólo algunas).

Los avances tecnológicos actuales nos pueden hacer pensar también en la falta de dependencia automotriz. Actualmente la supercarretera de la información Internet facilita muchas de las tareas habituales de una persona en la oficina, se podría pensar en tener la

oficina en casa; por medio de un sistema parecido al de Internet se podrían controlar todas las operaciones de la empresa, desde luego esto reduciría el número de personal administrativo que diariamente tiene que recorrer cierta distancia de su casa a la oficina. Sin embargo, el personal encargado de producción y servicios tendrían la misma situación actual. Para efectos de entretenimiento, el sistema de televisión vía satélite ha reducido notablemente las ventas de los centros de alquiler de video, y en un futuro no muy lejano las películas de estreno se podrían transmitir a través de dicho sistema, lo que reduciría los viajes en automóvil de la casa al cine. Para efectos de alimentación, actualmente hay una invasión de expendios de comida preparada, con reparto a domicilio, lo que representa otra reducción de viajes en automóvil, considerando que una motocicleta de reparto en buen estado contamina 60% menos que un automóvil.

En pocas palabras se podría planear un modo de vida que dependa menos del uso del automóvil. Para este nuevo modo de vida, el uso del automóvil debe ser una operación fuera de moda y obsoleta. El medio de transporte se podría transferir a un sistema eléctrico magnético, donde los vehículos sean una especie de "patín del diablo" con celdas magnéticas en la parte inferior. Todas las calles deberían contar con celdas magnéticas del polo opuesto al de los vehículos, los que contarían con un pequeño motor eléctrico alimentado por la corriente generada por las celdas; dichos vehículos serían portátiles lo que evitaría los problemas de estacionamiento.

Se pueden tener muchas ideas futuristas con respecto al transporte en el Siglo XXI, sin embargo, es difícil que se lleven a cabo, por lo menos en lo que a corto plazo se refiere (mínimo 30 años). Actualmente llevamos una vida que depende enormemente del uso del automóvil, es por eso que hay importantes proyectos para mejorar los sistemas de transporte tanto personal como masivo.

Es evidente que a más cien de años de inventado el automóvil, las mejoras que a éste se le han hecho son innumerables, no obstante, no se ha logrado mejorar la eficiencia térmica de los motores. Este problema se puede considerar un fracaso de la ingeniería, ya que la eficiencia térmica está íntimamente ligada con los materiales de los que está hecho el motor de combustión interna. Si se logran reducir las pérdidas térmicas que sufre un

motor durante su operación, la eficiencia térmica aumentaría considerablemente. Éste es uno de los proyectos importantes que se están llevando a cabo en la industria automotriz. Se busca el material ideal que logre absorber ese calor desperdiciado y transformarlo en forma de trabajo. Como se mencionó en el capítulo 2, los materiales cerámicos son ideales para estos fines, sin embargo, son muy frágiles y no aguantarían los esfuerzos que sufren los motores durante su operación.

Es indudable que la tecnología de funcionamiento de los automóviles cambiará durante el siglo XXI. Es difícil decir con certeza cual será la tecnología reinante, ya que hay dos proyectos que se postulan como candidatos importantes, encontrar un combustible alternativo al actual y los vehículos eléctricos o híbrido eléctricos.

El hecho de buscar un combustible alternativo se debe a que los yacimientos petrolíferos no durarán para siempre, por lo que el refinamiento de la gasolina será un proceso muy difícil de efectuar en un futuro. Además, debemos pensar en un combustible que sea menos contaminante si se quiere trabajar con la pobre eficiencia térmica actual. Este es un proyecto que en el papel suena muy interesante, tanto en cuestiones de medio ambiente como en cuestiones de ingeniería, sin embargo, en cuestiones económicas no lo es tanto. Para llevar a cabo este proyecto se debe pensar en cambiar toda la infraestructura de producción, repartición, y distribución, empresa que elimina lo atractivo de dicho proyecto. Por ejemplo, el hidrógeno, es un gas que para todo ingeniero ligado a la industria automotriz, es el sueño de combustible ideal para los MCI, pero la producción, distribución, y repartición de dicho gas son extremadamente costosos, sin tomar en cuenta el peligro que representaría tener estaciones de distribución de hidrógeno.

Los vehículos eléctricos son un concepto que se ha manejado durante mucho tiempo: éste es un proyecto muy atractivo en cuestiones de medio ambiente urbano, en cuestiones de economía, y en cuestiones de ingeniería, pero, no lo es tanto en cuestiones comerciales. ¿A quién le interesaría tener un automóvil cuya distancia máxima de recorrido fueran 60 km, y su velocidad máxima fueran 80 km/h? Es por eso que las maquiladoras automotrices realizan grandes esfuerzos por mejorar la tecnología de dichos vehículos. Se trabaja en la reducción del peso total del vehículo, la reducción de la resistencia al

rodamiento, y la reducción del coeficiente de arrastre, así como en el desarrollo de nuevas baterías que proporcionen mayor potencia y mayor tiempo de energía, y además disminuyan el impacto ambiental al desecharlas. Otra desventaja de dichas baterías es el tiempo para recargarlas al 100% (aprox 8 hrs) y poder circular durante otros 60 km.

El proyecto, que creo yo, está mejor dirigido, es el de los vehículos híbrido eléctricos. Éstos integran de manera considerable los tres problemas difíciles de atacar que los otros proyectos no logran abarcar. Una transmisión híbrido eléctrica básica, está formada por un motor eléctrico relativamente pequeño, de potencia baja para mover un motor de tracción eléctrico. El MCI se usa únicamente como generador eléctrico, por lo tanto, puede girar a una velocidad constante. Como el consumo de combustible y las emisiones dependen de los cambios de velocidad así como la potencia que produce, una transmisión híbrida puede operar más eficiente y limpiamente que si fuera el alma de potencia del vehículo. Las transmisiones híbridas más avanzadas también recuperan la energía generada cuando el vehículo frena, convirtiendo dicha energía en electricidad y almacenándola en algún tipo de batería. Esta energía se puede usar en lugar de, o como suplemento, de la energía generada por el motor, para así reducir el uso del MCI y sus emisiones.

A los VHE se les puede llamar vehículos inteligentes, ya que la computadora debe decidir las situaciones en que se requiere de mayor potencia y hacer automáticamente el cambio de motor eléctrico a MCI, así como decidir las situaciones en que se requiere usar ambos tipos de motores en forma paralela para generar aún más potencia. La computadora también debe decidir momentos críticos de funcionamiento para apagar el MCI (tráfico, semáforos, etc).

Otra ventaja importante de los VHE es la flexibilidad de sus componentes, es decir, las transmisiones pueden variar en sus configuraciones. Hay elementos de la transmisión que se pueden escoger de acuerdo a las necesidades requeridas como son los MCI (turbinas de gas, motores diesel, motores de gasolina convencionales), o bien los sistemas de almacenaje de energía (ruedas volantes, ultracapacitores, baterías avanzadas). Sin

embargo, hay componentes que siempre deberán estar presentes que son los frenos regenerativos y los motores eléctricos, los cuales pueden variar únicamente en el tamaño.

Esta tecnología es, en teoría, la ideal para eliminar los problemas generados por la pobre eficiencia térmica de los MCI actuales, sin embargo, se deben mejorar muchos detalles para que dicha tecnología sea económicamente viable, y de esta manera se pueda pensar en la factibilidad comercial.

México es actualmente uno de los países más importantes en la industria automotriz manufacturera. Esto representa grandes ventajas para el país como son: generación de empleos, ingresos por inversiones extranjeras, e ingresos por gastos de exportación ya que la mayoría de los vehículos producidos en México son para venta en el extranjero. Sin embargo, también representa desventajas como son el que estas plantas consumen un gran porcentaje de la energía eléctrica producida por la red nacional de CFE la cual está subsidiada y es relativamente barata comparada con otros países del mundo; otra desventaja es que la industria automotriz en México sea únicamente maquiladora, lo que representa que toda la investigación se realiza en el extranjero, limitando las operaciones de los ingenieros mexicanos. Pero la gran desventaja en todo esto, es que el día que se tome la decisión de eliminar el subsidio de CFE las industrias automotrices reducirán sus inversiones en el país porque desaparecería el atractivo ahorro que obtienen en sus gastos fijos de producción.

La solución que propongo a este problema es: obligar a todas las fabricas del país, ya sea de forma independiente o a nivel parque industrial, a tener una planta de cogeneración; de está manera se reduciría el consumo de energía eléctrica por cada parque industrial y se podría eliminar el subsidio de CFE a nivel industrial. Este puede ser un proyecto de ley que actualmente se aplica en los países de donde viene el capital de la industria automotriz en México como es Estados Unidos, Alemania, y Japón. Es evidente que la construcción de una planta de cogeneración no es fácil y mucho menos económico, pero sí cada planta aporta un porcentaje de sus utilidades anuales para la fabricación de una gran planta para el parque industrial al que pertenecen, dicha construcción se podría

llevar a cabo en un plazo no mayor a 5 años, generando, a largo plazo, un ahorro en gastos por consumo de energía eléctrica y mayores ingresos para el país por la eliminación del subsidio de CFE.

4.1. CONDUCIENDO AUTOS MÁS LIMPIOS.¹⁶

El desarrollo de vehículos comerciales que produzcan muy pocas o cero emisiones ha probado ser una tarea muy difícil para los fabricantes. Dependiendo de que tan lejos lleguen las regulaciones de emisiones en un futuro, será el desarrollo de equipos suficientemente sensibles para detectar las pequeñas cantidades de contaminación que se espera produzcan los vehículos del futuro.

Se han logrado grandes mejoras en las emisiones vehiculares desde que el gobierno de los Estados Unidos instituyó en 1975 la prueba federal para asegurar que los vehículos nuevos emitan cantidades limitadas de contaminación, según se dijo en la "United New Generation Vehicle Conference & Exposition" llevada a cabo en abril de 1997.

California ha impuesto regulaciones de emisiones aún más estrictas que las del gobierno federal. Para cumplir con las normas ULEV, un vehículo puede emitir únicamente 0.04 gramos de hidrocarburos por milla. En contraste, los vehículos de una era pre-regulada emitían en promedio aproximadamente 15 gramos por milla. Esto representa una mejora del 99.7% en emisiones.

Cabe mencionar, de cualquier manera, que la norma federal actual (Tier 1) permite 0.25 gramos por milla. Además, no todos los vehículos registrados en California deben cumplir con la norma ULEV. Bajo las regulaciones CARB, una flota de vehículos OEM (original equipment manufacturers) 1997 debe emitir un promedio por vehículo de no más de 0.202 g/milla de gases NMOG; algunos vehículos pueden emitir más de dicho nivel si se compensa con otros de menor nivel. Para que un vehículo sea certificado por ULEV, los niveles de emisiones no deben exceder 0.04 g/milla de NMOG, 1.7 g/milla de CO, o 0.2 g/milla de NO_x.

¹⁶ CONDUCIENDO AUTOS MÁS LIMPIOS. Escrito por Patrick Ponticel para Automotive Engineering, junio de 1997.

California ha considerado una clasificación llamada EZEV (equivalent zero emission vehicle), una categoría para aquellos vehículos que emitan una cantidad de contaminación igual a la producida por una planta de potencia para cargar a un VE operando bajo los mismos criterios de rendimiento que el vehículo EZEV. Para los hidrocarburos de escape (uno de tantos contaminantes regulados), dicha figura de comparación podría ser de 0.004 g/milla.

Las regulaciones ambientales surgieron como tema principal en dicha conferencia para el desarrollo de vehículos eléctricos, híbridos, y de combustibles alternos. El evento combinó tres reuniones bajo el mismo marco: la 5ª anual "Environmental Vehicles Conference", la 7ª anual "Advanced Coatings Technology Conference", y la 12ª anual "Advanced Composites Conference". La exposición, que contó con más de 60 exponentes, destacó algunos de los más recientes avances de productos y tecnologías para el desarrollo de vehículos.

Los avances limitados en el rendimiento de las baterías y en la reducción de peso fueron identificados por algunos como los principales impedimentos en el desarrollo de vehículos de bajas emisiones. La falta de infraestructura (tal como estaciones de combustible) para soportar al gas natural y a otros combustibles alternos también se identificó como un problema. Se creó un debate sin solución sobre si los OEM deben crear mayor demanda para una mejor infraestructura produciendo vehículos "ambientales", o si se debe construir la infraestructura para dar paso a los vehículos ambientales. En ambos el costo es el gran obstáculo.

Los OEM mundiales no están en contra de producir vehículos ambientales en una escala limitada. Siguiendo las más recientes introducciones al mercado encontramos el GM EV1, y el Honda EV Plus, además de las futuras introducciones pick up Chevrolet S-10 eléctrica y la pick up GMC bi combustible (gas natural comprimido y gasolina); y el sedan Honda Civic GX alimentado por gas natural. Otras compañías con proyectos ambientales en puerta son: Chrysler que introducirá en 1998 las minivans eléctricas Dodge Caravan y Plymouth Voyager EPIC; Toyota tendrá en el mercado de Estados Unidos en otoño de este año el vehículo deportivo eléctrico RAV4-EV. Ford afirma tener la mayor variedad de

vehículos con combustibles alternos en Estados Unidos. La producción de la pick up F-250 de gas natural empezó en abril de 1997, y la producción de la Econoline de gas natural empezó tres semanas después. Éstas además del Crown Victoria de gas natural, el Contour bi combustible (gas natural y gasolina), el Taurus de combustible flexible (metanol o etanol y gasolina), y la Ford Ranger eléctrica, disponibles en el mercado en otoño de 1997.

En esta conferencia también se habló de la PNGV, se dijo que se deben tomar decisiones más drásticas en términos de reducción de peso, resistencia al rodamiento, y coeficiente de resistencia aerodinámica. También se dijo que aunque no se logre producir el vehículo de 80 mpg, pero sí uno de 65 mpg a corto plazo, esto no significará un fracaso aunque los esfuerzos deberán seguir hasta cumplir los objetivos planteados.

Se ha efectuado mucha investigación en el desarrollo de vehículos híbridos, dijo Larry Oswald director de este proyecto en el centro de investigación y desarrollo de GM; también dijo que no hay preferencia por los vehículos híbridos en serie o en paralelo porque no se han desarrollado suficientemente bien los componentes como para tomar una decisión. Otros problemas con los que se ha encontrado este proyecto son los altos costos, deficiencias en el almacenaje de energía, y la desconocida redituabilidad.

Bajo un programa de investigación y desarrollo, GM y el Departamento de Energía de los Estados Unidos trabajan para producir un sistema de propulsión que quepa en el Chevrolet Lumina y que tenga el doble de economía de combustible con emisiones por debajo de la norma ULEV. GM eligió utilizar un motor Stirling de 40 kW en una configuración en serie, y baterías de plomo ácido con devanado espiral, el cual ha traído dolores de cabeza en términos de niveles de energía. Aseguraron que la batería es el mayor obstáculo para el desarrollo de dicho tipo de vehículos. También se dijo que los problemas tienen solución pero llevará tiempo, por lo que se afirma que no se verán muchos vehículos híbridos en por lo menos cinco años, pero que habrá demanda ya sea por la configuración en serie o en paralelo, con las consecuencias de bajas emisiones y alta eficiencia.

CAPÍTULO 5.
EMPRESAS REPRESENTATIVAS DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ
EN MÉXICO.

Se puede decir que la industria automotriz en México es únicamente de maquila, sin embargo, existen compañías que, aunque muy poca, realizan investigación y desarrollo técnico para mejorar las unidades vendidas, sobre todo en nuestro país.

Para que la industria automotriz mexicana funcione, se tienen que juntar muchos factores: que cuente con la cantidad suficiente de proveedores, tanto para producción como para funcionamiento y mantenimiento post venta; que cuente con la infraestructura suficiente para cumplir con la exigente capacidad de producción que se requiere para satisfacer al mercado nacional y al extranjero, además de que se tienen que cumplir las disposiciones gubernamentales sobre los contenidos de partes nacionales de los vehículos para cualquier autoconstructor en México, que es por ley del 30%. La forma de cubrir dichos porcentajes difiere de una u otra forma; la industria automotriz en México cuenta con todos los factores necesarios para funcionar al pie de la letra. Por ejemplo, Mercedes Benz cubre este porcentaje con la producción de camiones, lo que permite que sus automóviles tengan casi el 100% de partes importadas (a excepción de los extinguidores). En el caso de BMW se tiene cerca del 40% de productos mexicanos en sus vehículos, lo cual quiere decir que previamente tuvieron que desarrollar proveedores nacionales con la misma calidad alemana.

Un punto primordial para tener una buena industria automotriz, es que el país cuente con la infraestructura necesaria y la capacidad suficiente para abastecer de combustible a todo el parque vehicular. Pemex realiza grandes esfuerzos para cumplir con este requisito, pero además, se preocupa por tener una gasolina amigable con el medio ambiente, de buena calidad y accesible para el consumidor.

5.1. PRODUCCIÓN Y PERSPECTIVA EN PEMEX.¹⁹

México produce 500 000 barriles de gasolina diarios, de los cuales 10 000 barriles son de Pemex Premium*. Hay un consumo de 491 500 barriles diarios en promedio al mes. Hay un total de 3910 estaciones de servicio a nivel nacional, de las cuales 3528 son franquicias. En la zona metropolitana hay 446 estaciones de servicio, y tan sólo en la ciudad de México hay 261 estaciones de servicio. La gasolina Pemex Premium* tiene una distribución limitada, a pesar de ser la de mejor calidad, porque está hecha para vehículos con tecnología moderna que requieren de alto octanaje, poder calorífico alto, y poder de ignición alto. Se puede decir que este tipo de gasolina es elitista, ya que el 65% del total del parque vehicular de la ciudad de México tiene una antigüedad de 10 ó más años; es decir, sólo el 35% de los automóviles de la ciudad podrían usar este tipo de gasolina sin ser estrictamente necesaria más que para un pequeño porcentaje de este 35%.

El precio por litro de gas natural comprimido (CNG) es más barato que el de la gasolina, esto es para hacer más atractivo el uso de dicho combustible. Sin embargo, debemos tomar en cuenta que la conversión de un MCI convencional a uno de gas natural cuesta aproximadamente \$5000 - 8000 USD, y la conversión de una estación de servicio de gasolina a gas natural cuesta aproximadamente \$ 10000 - 15000 USD. Se podría considerar la posibilidad de realizar dicha conversión ya que un vehículo de gas natural tiene una mejor eficiencia de combustión, sin embargo, las emisiones al final del escape son muy altas en NO_x. Resulta peligroso el hecho de tener estaciones de servicio de gas natural dentro de la ciudad, ya que dicho combustible es bombeado por ductos subterráneos y se debe tener una toma de gas para cada estación. Si se quiere tener vehículos que su fuente de energía sea el gas natural deben ser vehículos de transporte masivo o bien de reparto con rutas específicas para que al llegar a cada punto puedan recargar combustible, por ejemplo, un autobús del transporte concesionado que su ruta es de Indios Verdes a la Universidad puede recargar combustible en sus bases de Indios Verdes y Universidad. Se debe tomar en cuenta que los vehículos de gas natural tienen una distancia de recorrido

¹⁹ Entrevista realizada al Ing. José Antonio Robas y al Ing. Nicolás Rodríguez Martínez, gerente y subgerente de Subdirección de Producción, Gerencia de Evaluación de Refinación; PEMEX Refinación.

máxima de 240 km, y los vehículos de gasolina llegan a tener distancias de recorrido máximas de 500 km.

Una evolución a los graves problemas de tráfico y contaminación creados por los microbuses de transporte concesionado podría ser: primero hacer un nuevo Reglamento de Tránsito donde se tengan bien estipulados dos puntos muy importantes, 1) toda persona que obtenga su licencia de conducir por primera vez deberá pasar un estricto examen de manejo (como lo hacen los países del primer mundo) y 2) los transportes masivos sólo podrán recoger y dejar pasaje en paradas bien definidas durante su trayecto. Segundo se deben reestructurar las rutas de transporte, prohibiendo el paso de los microbuses por las grandes avenidas de la ciudad como son Paseo de la Reforma, Avenida de los Insurgentes, Avenida Universidad, y los ejes viales por mencionar algunas. En dichas avenidas sólo podrán circular los grandes autobuses de transporte concesionado antes Ruta 100. En las nuevas rutas de los microbuses se deberán poner paradas en puntos específicos que deberán ser respetadas tanto por los usuarios como por los conductores; al conductor que no respete esta parte del nuevo reglamento se le aplicará una sanción de treinta días de salario mínimo y un día de detención del microbús.

Además, el gobierno de la ciudad debe plantear un plan económico para renovar el parque vehicular o bien para convertir los motores de los autobuses y microbuses, tanto de transporte masivo como de reparto con rutas definidas, a gas natural y así tener un balance de emisiones donde sólo los automóviles utilicen gasolina y los vehículos de servicio medio y pesado utilicen gas natural.

Tal vez este cambio no favorezca a los autobuses de transporte masivo ya que éstos utilizan diesel y ahora cuentan con el nuevo Femex Diesel* el cual tiene una muy buena calidad, certificado entre los cinco mejores del mundo. Si los autobuses son nuevos y queman una buena calidad de diesel contaminan menos que cualquier vehículo comparable de gasolina, y si a esto añadimos que cuentan con el sistema de catalizador Eolye, aún mejor.

Este plan se podría llevar a cabo con la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA). Sería un plan con beneficios triples; para la ciudad, por el mejor control de las

emisiones de los vehículos nuevos que de los viejos; para los propietarios de los vehículos que ahorrarían grandes cantidades por cuestiones de mantenimiento; y para la AMIA que aumentaría sus ventas, lo cual se pensaba que sucedería cuando se introdujo el plan Hoy No Circula; sin embargo este plan aumentó la compraventa de vehículos usados y no de vehículos nuevos envejeciendo de esta manera el parque vehicular de la ciudad.

De un boletín de prensa de la AMIA de junio de 1997 se toman los siguientes datos:

PRODUCCIÓN TOTAL DE UNIDADES. La producción total acumulada del primer semestre de 1997 es de 636 812 vehículos producidos, superando la producción acumulada del primer semestre de 1996 que era de 613 793 unidades, teniendo una diferencia de 23 019 unidades o bien 3.7%

PRODUCCIÓN PARA MERCADO INTERNO. El acumulado al mes de junio de 1997 asciende a 158 884 unidades, lo cual muestra un incremento del 49.2% comparado con el acumulado del primer semestre de 1996 que era de 106 488 unidades, teniendo una diferencia de 52 396 unidades. La diferencia en autos es del 60.2% o bien 42 284 unidades, con una producción acumulada de 112 531 vehículos y en camiones la diferencia es de 27.9% o bien 10 112 unidades, la producción acumulada de camiones es de 46 353 vehículos en este año.

PRODUCCIÓN PARA EXPORTACIÓN. La producción para el mercado de exportación al mes de junio asciende a 477 928 unidades que comparadas con las 507 305 de 1996, muestra una diferencia negativa del 5.8% o bien 29 377 unidades. En autos el decremento es del 16.1%, es decir, 55 289 unidades menos que en 1996, por el lado de camiones se observa un crecimiento del 15.8%.

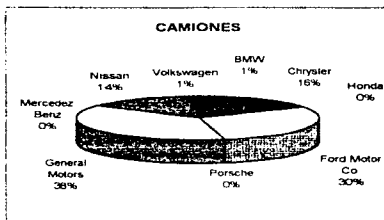
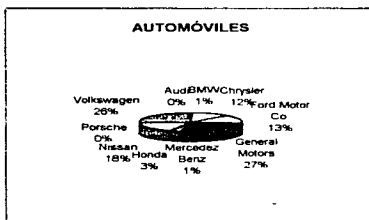
VENTA DE MAYOREO AL MERCADO INTERNO. La venta acumulada en 1997 (incluyendo unidades importadas) asciende a 194 592 unidades que comparadas con 140 901 de 1996 presenta un incremento del 38.1% o bien 53 691 vehículos. Dentro del segmento de autos la diferencia es del 49.8% y en camiones del 22% entre los acumulados obtenidos entre 1996 y 1997 al primer semestre.

EXPORTACIÓN DE UNIDADES. La exportación de unidades acumulada de 1997 asciende a 487 052 unidades cifra 3.3% o bien 16 515 unidades menores a las 503 567 unidades exportadas al primer semestre de 1996. En el segmento de autos se contabilizan 297 550

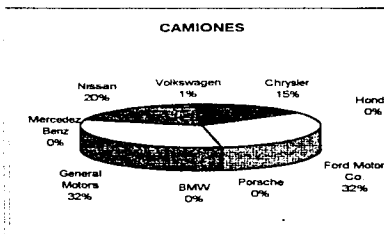
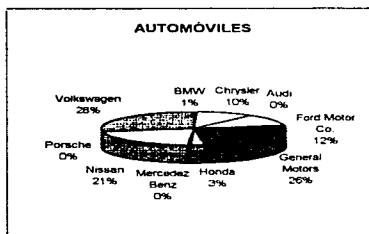
unidades en este año, que comparadas con las 338 698 en 1996 se tiene una diferencia negativa del 12.1% o bien 41 148 unidades, en el segmento de camiones se registran 189502 unidades exportadas, que comparadas con las 164 869 hasta junio de 1996 muestran un crecimiento del 14.9% o bien 24 633 unidades más que en el primer semestre de 1996.

VENTA AL MENUDEO DE UNIDADES. El acumulado al mes de junio de 1997 asciende a 193 227 unidades que comparadas con las 136 280 de 1996 muestra un incremento del 41.8% o 56 947 unidades. La diferencia por segmento entre 1997 y 1996 en este primer semestre es la siguiente: en autos se tiene un crecimiento del 47.9% al comercializarse 121204 unidades en comparación con las 81 491, mientras que en camiones se tiene un crecimiento del 32.5% al contabilizar 72 023 unidades en comparación con las 54 339 unidades registradas en 1996.

VENTA MAYORITARIA DE UNIDADES AL MERCADO INTERNO EN 1997



VENTA MENUDERA DE UNIDADES AL MERCADO INTERNO EN 1997



5.2. VOLKSWAGEN MÉXICO.²⁰

Volkswagen México es sin duda la industria automotriz más representativa de nuestro país por dos razones en especial: a pesar de estar regidos por los diseños e investigaciones realizadas en Alemania, tiene un área importante de Desarrollo Técnico donde realizan una limitada investigación; es la empresa automotriz con mayor índice de vehículos producidos para exportación.

En el área de Desarrollo Técnico se realizan todas las modificaciones que se consideran necesarias para mejorar el rendimiento o bien para reducir costos y así poder atacar todos los mercados. Actualmente trabajan con la nueva generación de vehículos VW, A4 y NB (Golf, Jetta, New Beetle), con los cuales han tenido un desarrollo muy importante. El NB únicamente se fabrica en México para todo el mundo, por lo tanto han tenido que realizar modificaciones precisamente para poder aclimatar los motores a todo tipo de condiciones; para ello se cuenta con una flota considerable de NB circulando a prueba por todo el mundo para asegurar un rendimiento óptimo antes de abrir la venta al mercado mundial. Con el A4 se han realizado modificaciones al motor 2 litros ya que el diseño original alemán cuenta con cinco válvulas y doble árbol de levas a la cabeza, sin embargo, éste tiene un costo muy elevado por lo que no sería un motor comercial en México; para esto se diseñó un sistema convencional de dos válvulas por cilindro y un sólo árbol de levas. Este diseño fue realizado completamente en México bajo supervisión de técnicos alemanes.

También en el área de Desarrollo Técnico se realizaron todas las modificaciones que ha sufrido el motor 1600 enfriado por aire utilizado en el Sedan. Este es un auto que se produce únicamente en México y en Brasil; la principal modificación por la que pasó fue por el sistema de encendido e inyección de combustible. Estas modificaciones se tuvieron que realizar para que pudiera cumplir con los requisitos ambientales. Ahora cuenta, como parte de la norma con sistema de encendido electrónico y sistema de inyección electrónica de

²⁰ Entrevistas realizadas a: Rubén Leal, Roberto Cardona, Noé Toxle, René Santiago, Construcción de Motores y Desarrollo Técnico VW México; Moisés Cruz, Laboratorio de Emisiones; Moisés González, Laboratorio de Pruebas.

combustible, además de contar con un catalizador catalítico para reducir las emisiones al final del tubo de escape. Todas estas modificaciones fueron realizadas en México sin ayuda del centro de investigación en Alemania ya que a ellos no les interesa la producción de dicho auto. El VW Sedan no será sustituido por el NB mientras tenga mercado, que por lo económico que resulta, el Sedan será por muchos años más ya que su venta es exclusiva en Latino América.



FIGURA 24. Volkswagen New Beetle (NB).

Los motores con los que trabaja VW para atacar el mercado del futuro a partir de 1998 son los producidos para el A4 y el NB. El NB cuenta con el mismo motor 2 litros que el A4, aunque se planean producciones más austeras con motor 1.8 litros al igual que con el A4. También se producen vehículos con motores Turbodiesel de inyección directa (TDI). Estos motores no se producen en México por una regulación que prohíbe la producción y venta de vehículos con motores a Diesel. Dichos motores tienen un mejor rendimiento y economía de combustible que los motores a gasolina; el consumo de un motor a Diesel es de 23-24 km/l mientras que en uno de gasolina es de 14.5 km/l en promedio. Sin embargo, si no existiera dicha regulación, la venta de vehículos a Diesel sería difícil en México ya que no se cuenta con producción suficiente de dicho combustible y se tendría que importar para poder abastecer al gran lote vehicular.

Después de que la planta productiva de VW Detroit cerrara, VW Puebla se convirtió en el gran proveedor de vehículos VW para toda la Unión Americana, por lo que realizan

grandes esfuerzos para cumplir con las normas ambientales de Estados Unidos, sobre todo de California que, como ya se mencionó, son las más estrictas del mundo. Para ello cuenta con sistemas en los motores para todo tipo de mercados. La producción de vehículos para venta en EUA cuenta con sistemas anticontaminantes que son:

El sistema OBD-II (On Board Diagnose) que cumple con la norma TIER I, y el cual está basado en un cerebro electrónico, un sistema de inyección de combustible Motronik y un catalizador trimetálico de Paladio, Platino y Rodio. Dicho auto cumple con índices de emisiones de 0.25 en partículas de NO_x.

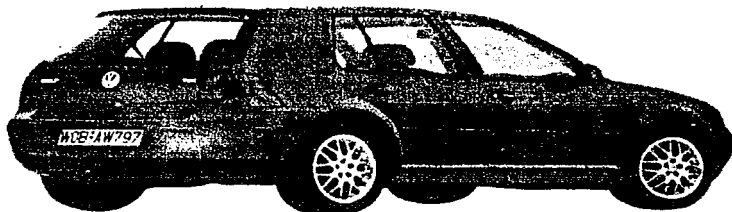


FIGURA 25. Volkswagen A4.

El sistema OBD-II apoyado por un sistema SLP (Sekundar Luft Pumpe) de bomba de aire secundaria que inyecta aire caliente al sistema durante los primeros 45 seg - 1.5 min mientras el motor llega a su temperatura de operación óptima. Esto evita que las emisiones sean elevadas cuando se tiene un arranque en frío que son las condiciones más críticas para un motor, ya sea para su rendimiento como para las emisiones. Este sistema cumple las regulaciones de California y emite 0.125 partículas de NO_x. Es considerado un vehículo TLEV (Transition Low Emission Vehicle).

Actualmente se desarrollan tecnologías para los vehículos LEV (Low Emission Vehicle) y ULEV (Ultra Low Emission Vehicle). Estos vehículos contarán con sistemas de inyección de aire a presión a la cámara de combustión para ayudar a dispersar las partículas de hidrocarburos y así optimizar la cantidad de combustible consumido y evitar que las partículas de HC no quemado vayan al medio ambiente.

En México las normas de contaminación no son tan estrictas y por lo tanto los autos para venta en el mercado nacional cuentan con sistemas de inyección de combustible DIGIFAN y con catalizador bimetálico de Paladio y Rodio, los cuales son menos avanzados y por lo tanto más baratos. VW podría dejar de producir los autos con dichos sistemas y producir todos con los sistemas Motronik y catalizador trimetálico y así tener autos más limpios, sin embargo, esto reduciría su competitividad comercial ya que elevaría el costo de venta de los autos. Se estima que conforme han ido avanzando las normas ambientales en México, para 1999 los vehículos producidos para uso en nuestro país contarán con dichos sistemas.

Por lo que respecta a corto plazo, el NB contará con sistema TLEV para EUA y con sistemas DIGIFAN para México, mientras que el A4 contará con sistema LEV para EUA y con sistema TLEV y DIGIFAN para México en sus versiones equipado y austero respectivamente.

VW produce motores con una vida útil de 10 años sin una reparación mayor, esto es siempre y cuando se realicen los mantenimientos adecuados periódicamente. El catalizador tiene una vida útil de 2-3 años; su cambio tiene un costo aproximado de \$3000.⁰⁰ y es considerado parte del mantenimiento periódico del motor; este servicio no se considera una reparación mayor ya que el costo aproximado de una afinación es de \$1000.⁰⁰.

VW es parte de un consorcio empresarial formado por cuatro empresas automotrices a nivel mundial además de absorber a algunos de sus proveedores más importantes. Dicho consorcio está formado por VW, Audi, SEAT, y Skoda. Entre los planes del consorcio es tener un auto plataforma que cuente con la misma tecnología básica; es decir, que los motores sean todos comparables en cuanto a su tecnología, los chasises sean comparables en cuanto a su peso y su resistencia al impacto, las suspensiones sean comparables en cuanto a seguridad y manejabilidad, etc. Los avances que se tienen para esto son: el motor A4 tiene la misma tecnología que los motores de 4 cilindros del Audi, SEAT, y Skoda. Entre los cambios más significativos que sufrió dicho motor con respecto al del A3, es la eliminación del distribuidor, el cual fue sustituido por dos sensores

situados en la flecha del cigüeñal y del árbol de levas. Eliminando el distribuidor se eliminó la flecha intermedia que conducía a las bombas de aceite y agua; de esta manera se reduce el tamaño del monoblock y se elimina una parte considerable de peso en el motor. La tecnología de la bomba de aceite y de la bomba de agua cambió radicalmente. Se realizan grandes esfuerzos a nivel consorcio (centro de investigaciones en Alemania y todos los centros de Desarrollo Técnico a nivel mundial) para desarrollar la tecnología del sistema FLYNO (Flying Nocke) o de levas voladoras. Este sistema pretende evitar el traslape entre válvulas a bajas RPM. El sistema consiste de un árbol de levas mecánico, es decir la leva que conduce a la válvula de escape tiene un sistema de resortes que mueve la leva según la velocidad de giro del árbol. Hasta ahora no se ha logrado un perfecto desarrollo ya que se ha visto que el árbol de levas forjado es el que mejor trabaja ya que resiste todos los esfuerzos de torsión por los que pasa dicho mecanismo durante su funcionamiento. Se pretende aplicar dicho sistema o algún sistema paralelo en un máximo de 4 años; es con este tiempo que trabaja VW anticipándose a la tecnología que reinará en los siguientes años. Actualmente se trabaja para fijar el tipo de motores que se utilizarán para el año 2000.

Según información que se tiene del centro de investigaciones en Alemania hay ya vehículos eléctricos producidos, sin embargo, no han encontrado la tecnología que sea comercialmente viable, además de que el mercado mundial aún no lo requiere. VW Puebla está preparada para aplicar las tecnologías futuras siempre y cuando VW Wolfsburg así lo dictamine.

En cuanto a las propuestas que VW Puebla realiza para reducir la contaminación en la ciudad de México son:

- el sistema de transporte masivo deberá contar con motores a Diesel de inyección electrónica;

- a los motores Diesel actuales se les debe implementar (de manera obligatoria) un sistema de catalizador que reduzca las emisiones de partículas de combustible no quemado;

-se debe implementar un sistema de catalizador o algún reductor de contaminación en los calentadores de gas de casas habitación;

-el transporte dentro de los aeropuertos también deberá contar con motores a Diesel.

Dentro de las acciones que toma VW para estos fines son:

-participa activamente en las reuniones de la AMIA (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz) para la organización de las normas ambientales;

-todos los vehículos utilizados dentro de la planta productiva cuentan con sistemas de Gas natural, sin embargo, consideran que esta no es una buena alternativa para los vehículos comerciales ya que no se cuenta con la infraestructura para abastecer del combustible a todo el parque vehicular;

-cuenta con una flotilla de taxis a prueba con motores a Diesel circulando por las calles de la ciudad de Puebla.

VW México considera que el sistema de verificación en la Ciudad de México está bien aplicado en teoría pero no en la práctica, ya que los operadores no siguen el procedimiento al pie de la letra, y los verificadores no dan mantenimiento a sus equipos, lo cual da pie a la corrupción. VW Puebla cuenta con un área de pruebas donde realizan las de emisiones con los sistemas más avanzados. En dicho laboratorio realizan pruebas con todas las normas mundiales y han encontrado que la gasolina Pemex Magna SIN[®] y Pemex Premium[®] son de buena calidad y podrían pasar las normas aplicadas en California; el problema con dicha gasolina es que es muy inconsistente en cuanto a su composición. En California se consume una gasolina llamada Phase II, la cual bien podría ser utilizada con los sistemas DIGIFAN en los vehículos VW en México. Sin embargo, están convencidos de que el problema en la ciudad de México no es la gasolina ni los vehículos nuevos, si no que el parque vehicular es muy viejo, y se deberían tomar decisiones drásticas que prohibieran la circulación de vehículos de más de 10 años. Esto implica que en este momento se deberían sacar de circulación los vehículos modelo 1988, que representan el 65% del total del parque vehicular.

5.3. CHRYSLER MÉXICO.²¹

Chrysler México es uno de los ejemplos más claros de una empresa automotriz que depende en su totalidad de las decisiones tomadas en el extranjero, Chrysler Detroit en este caso. En México se lleva a cabo muy poca investigación, la cual está enfocada al desarrollo de productos o sistemas para reducir el costo de un vehículo destinado para el mercado nacional.

A diferencia de Volkswagen, los vehículos Chrysler vendidos en México cuentan con la misma tecnología que los vendidos en Estados Unidos, excepto en California. Las únicas variantes que presentan unos vehículos de otros son equipos auxiliares como las bolsas de aire que en Estados Unidos son obligatorias y en México son opcionales. Chrysler México produce sus vehículos únicamente bajo pedido; el distribuidor escoge entre una lista de características y opciones la cantidad de vehículos que requiere en su tipo, y de 4-6 semanas después se le entrega el lote, siempre y cuando haya entregado la carta de crédito durante la segunda semana de producción, si no ésta se detiene.

La vida útil estimada de los motores Chrysler producidos en México es de 150000 km para autos y de 350000 km para camiones, dependiendo exclusivamente del mantenimiento que se le dé al motor. Chrysler no produce motores a Diesel para autos porque no encuentra una relación costo beneficio viable. Un auto con motor a Diesel tendría un costo mucho mayor que el de uno con motor a gasolina, si el precio del Diesel fuera menor, entonces habría cierta ventaja a largo plazo para el consumidor.

En Chrysler México no hay propuestas específicas para resolver el problema de la contaminación, las únicas propuestas son: renovar el parque vehicular y mejorar el sistema de transporte masivo, lo cual no representa más que una propuesta muy vaga y no una solución.

En cuanto a las nuevas tecnologías de propulsión, están dispuestos a hacer lo que sea más factible comercialmente, lo cual se decidirá completamente en Chrysler Detroit,

²¹ Entrevista realizada al: Ing. Mario Medina, Director de Ingeniería y Calidad Chrysler México.

después de un consenso general en la PNGV. Sin embargo, cuentan ya con una flotilla en Estados Unidos de Minivans eléctricas a prueba.

Actualmente trabajan en el desarrollo de un método para extraer hidrógeno de la gasolina. Hasta ahora se ha desarrollado un proceso de etapas múltiples para extraer hidrógeno de la gasolina y usarlo en una celda de combustible de automóviles que prácticamente elimina las emisiones perjudiciales. Además de hidrógeno, el proceso produce agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2). Las etapas básicas son:

-Vaporizador de combustible: Calienta el combustible para convertirlo de líquido a gas. Esto asegura una combustión más limpia y sin hollín.

-Oxidación parcial: La gasolina evaporada se procesa en un reactor de oxidación parcial (POX), que básicamente se compone de un recipiente metálico con una bujía de encendido. Limitando la cantidad de aire en este entorno de baja presión, se producen hidrógeno y monóxido de carbono. El azufre de la gasolina se convierte en ácido sulfhídrico gaseoso y se separa del vapor mediante un filtro.

-Cambio de fase líquida a gaseosa: Ya que el CO contamina las celdas de combustible, se debe eliminar o reducir hasta niveles extremadamente bajos, inferiores a 10 ppm. Se introduce agua en estado de vapor y, mediante catalizadores de óxido de cobre y óxido de zinc, prácticamente todo el CO se convierte a CO_2 . En esta etapa también se genera combustible de hidrógeno adicional.

-Oxidación preferencial: En el cambio de fase líquida a gaseosa, el vapor con aproximadamente 30% de CO se convierte en un gas rico en hidrógeno, con apenas 1% de CO. No obstante, la concentración de 10.000 ppm de CO debe reducirse. En la etapa de oxidación preferencial (PROX) se inyecta aire en el gas, que reacciona con el CO remanente sobre un catalizador de platino, genera CO_2 y deja sólo rastros de CO (menos de 10 ppm). Para mantener un rendimiento efectivo, este proceso requiere intercambiadores de calor, ya que el gas limpio se debe enfriar hasta aproximadamente 30°C, la temperatura ideal para la celda de combustible.

También trabajan en el desarrollo de una carrocería de plástico fabricada mediante el proceso de inyección, para lo cual se desarrollan todas las herramientas de inyección

exclusivas para este proceso. Esta carrocería será exclusivamente para autos de mercado interno, sin embargo, el desarrollo de las herramientas se realiza en un laboratorio en Estados Unidos.

Chrysler México cuenta con la infraestructura y la tecnología para producir vehículos con motores a gas natural y a gas LP, pero estos no se producen porque no serían comerciales ya que no se cuenta con la infraestructura de repartición.

En opinión de Chrysler México el sistema de verificación tiene tantos problemas por la falta de mantenimiento de los equipos de verificación y por las estaciones de servicio, ya que la gasolina mexicana es buena pero ésta se contamina en dichas estaciones.

5.4. UNAM.

La UNAM a través del Instituto de Ingeniería se hace presente como un importante de medio de tecnología y vanguardia en el medio automotriz y de medio ambiente. Con una inversión de 10 millones de pesos la Universidad Nacional Autónoma de México y General Motors de México, fabricarán en serie 25 microbuses eléctricos que inicialmente darán servicio dentro de la Ciudad Universitaria.

José Luis Fernández, director del Instituto de Ingeniería, explicó durante la presentación, que la fabricación de estas unidades será posible en coinversión con dicha firma automotriz.

El Instituto de Ingeniería también presentó el minibus eléctrico creado en sus instalaciones. Durante la exhibición, se informó que varios de los vehículos eléctricos están ya a disposición de quien quiera rentarlos para familiarizarse con esta tecnología. Fernández indicó que la utilización de estas unidades eléctricas ayudaría a reducir considerablemente las emisiones de contaminantes en la ciudad.

El objetivo, dijo, coincide plenamente con lo planeado en el programa gubernamental de combate a la contaminación para mejorar la calidad del Valle de México. Añadió que los vehículos eléctricos no sólo permiten un efecto favorable al medio ambiente, sino también un aprovechamiento más eficiente de los recursos energéticos.

De ahí que la sustitución de motores de combustión interna por sistemas eléctricos sea ya una práctica en nuestra ciudad.

Dijo que en combinación con el gobierno capitalino, se está buscando la posibilidad de asignarle rutas específicas a vehículos eléctricos y asegurarlas durante cierto tiempo. Respecto a la comparación con la tecnología extranjera, el especialista mencionó que por la creación del minibús, México tiene un mercado distinto al de otros países que fabrican automóviles, por lo que también son diferentes los sistemas de recarga.

CAPÍTULO 6.
EL MEDIO AMBIENTE EN LA CIUDAD DE MÉXICO.

La principal causa de contaminación del aire en el Valle de México, es la enorme cantidad de combustibles que consumimos en los vehículos, industrias y servicios. Los habitantes y las autoridades de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) iniciamos hace relativamente poco tiempo una lucha sistemática contra la contaminación. Se han arrojado resultados satisfactorios en aspectos importantes, especialmente debido a los esfuerzos para mejorar y sustituir combustibles industriales y automotrices en la ZMVM. De esta forma entre 1989 y 1995 se logró reducir significativamente los niveles de plomo, óxidos de azufre y en menor medida partículas suspendidas, mientras que las concentraciones de ozono se mantuvieron con sus mismos promedios y variantes a pesar de haberse incrementado el consumo de energéticos.

En el caso del ozono también cabe apuntar algunos indicios de mejoría dado que los picos o niveles máximos de contaminación observados durante las contingencias ambientales se han reducido desde 1992. No obstante el problema del ozono es persistente y sumamente grave habiéndose encontrado y documentado evidencia sólida de los fuertes impactos a la salud que éste ocasiona en la ZMVM.

La problemática asociada con el ozono es un fenómeno muy complejo. Sus causas se relacionan con el elevado consumo de combustibles, con las tecnologías automotrices e industriales existentes con la estructura urbana, el tipo de transporte que usamos y la cantidad de kilómetros recorridos en vehículos automotores dentro de la ZMVM.

El inventario de emisiones es el instrumento básico de diagnóstico y de planeación y lo que da racionalidad a la toma de decisiones en esta materia. De acuerdo al inventario de emisiones disponibles para la ZMVM los vehículos automotores contribuyen mayoritariamente a la emisión de precursores de ozono (55% en hidrocarburos y 71% en óxidos de nitrógeno), siguiéndoles en importancia las termoeléctricas (15% en óxidos de nitrógeno), los servicios (38% en óxidos de nitrógeno, destacando aquí los sistemas de distribución y uso de gas LP), la industria (10% de óxidos de nitrógeno y 3% de hidrocarburos); el resto de las emisiones son responsabilidad de diversos giros de servicios.

El problema de la contaminación ambiental en la Ciudad de México requiere de una solución inmediata, aunque, ésta no es una tarea fácil de realizar. A continuación se presentan datos numéricos y estadísticos del Distrito Federal.

Superficie	D.F. 1,499 km ² Con 27 municipios conurbados 3,129 km ²
Población	D.F. 8'483,623 habitantes Zona metropolitana: más de 16 millones de habitantes
Densidad de Población	5,660 habitantes por km ² para el D.F.
Composición Poblacional	Mujeres 52% Hombres 48%

EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN DEL DISTRITO FEDERAL

Año	Millones de habitantes
1970	6.8
1980	8.0
1990	8.2
1995	8.5
2000	8.7*
2010	9.2*
2020	9.7*

* Estimado

La población estimada para el Valle de México (D.F. + 57 municipios del Estado de México y uno de Hidalgo) en el año 2020 es de 26.2 millones de habitantes.

TASA DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN DEL D.F.

Período	Tasa anual
1970-1980	1.5%
1980-1990	0.26%

Distribución de la población del Distrito Federal por Grupos Quinquenales de edad según
sexo en 1995

Grupos de edad	Total	%	Hombres	%	Mujeres	%
Población D.F.	8'489,007	100	4'075,902	48.01	4'413,105	51.99
0-4	780,705	9.19	397,471	4.68	383,234	4.51
5-9	785,466	9.25	399,659	4.71	385,807	4.54
10-14	781,808	9.21	394,202	4.64	387,606	4.57
15-19	848,416	10	412,443	4.86	435,973	5.14
20-24	964,075	11.38	464,586	5.48	499,489	5.90
25-29	826,960	9.74	398,800	4.70	428,160	5.04
30-34	725,263	8.54	343,863	4.05	381,400	4.49
35-39	643,428	7.58	303,002	3.57	340,426	4.01
40-44	499,935	5.88	236,398	2.78	263,537	3.10
45-49	402,093	4.73	188,011	2.21	214,082	2.52
50-54	325,253	3.83	151,341	1.78	173,912	2.05
55-59	235,829	2.78	106,781	1.26	129,048	1.52
60-64	212,782	2.51	92,245	1.09	120,537	1.42
65-69	158,713	1.87	66,784	0.79	91,929	1.08
70-74	119,920	1.41	50,741	0.60	69,179	0.81
75-79	71,291	0.84	29,171	0.34	42,120	0.50
80-84	46,687	0.55	17,256	0.20	29,431	0.35
85 y más	41,733	0.49	14,361	0.17	27,372	0.32
No especificado	18,650	0.22	8,787	0.10	9,863	0.12

Los datos que a continuación se presentan son respectivos al transporte y al parque vehicular.

Demanda total	-29.2 millones de tramos de viajes diarios (74.1% se cubre con transporte colectivo, 24.7% privado, 0.2% mixto y otro 1.0%)
Motivos de viaje	<ul style="list-style-type: none"> -Hogar 45.6% -Trabajo 22.5% -Escuela 13.9% -Compras 4.3% -Llevar o recoger 4.2% -Social o diversión 2.7% -Relacionados con el trabajo 1.9% -Ir a comer 0.8% -Otro 4.1%

PADRÓN VEHICULAR

Autos particulares	2'327,930
Carga mercantil	166,551
Omnibus particular	6,011
Remolque Taxis (incluyendo colectivos)	112,345
Carga general	18,044
Camión materialista	1,313
Camión de pasajeros	9,236
Diplomáticos	1,736
Demostradoras	293
Autos antiguos	208
Motocicletas	40,968
Bicitaxis (por emplacar)	165
Total	2'684,800

SERVICIO DE TRANSPORTES ELÉCTRICOS

<p>Tren Ligero</p>	<ul style="list-style-type: none"> -1 Línea o ruta -12.5 km de longitud -18 Estaciones o paradas -23.6 Millones de pasajeros transportados en el período enero-septiembre 1996 -Con la extensión a Xochimilco se transporta a 40,000 pasajeros más, diariamente -Velocidad promedio 50 km/hr
<p>Trolebuses</p>	<ul style="list-style-type: none"> -15 Líneas en operación -379.5 km de longitud -105.5 Millones de pasajeros transportados en el período enero-septiembre 1996.

SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO

<p>Metro</p>	<ul style="list-style-type: none"> -10 Líneas -154 Estaciones -Longitud de la red 178 km -8 Talleres y patios de carga -Carros articulados 2,559 (cada tren se forma de 9 carros, excepto la línea A que se forman con 6 -Transporta 4.6 millones de pasajeros diariamente -Sólo lo superan en extensión los de Londres, Nueva York, París, Moscú, Boston y Tokio -Ocupa el 3^{er} lugar entre los 87 metros del mundo, por pasajeros transportados y por líneas en operación.
---------------------	--

MEDIO AMBIENTE

Consumo diario de combustibles	44 millones de litros
Porcentaje de combustible que se destina al sector transporte	50%
Porcentaje de contaminantes que emiten los vehículos automotores	72%
Porcentaje de vehículos con más de 10 años de antigüedad	37.2% (producen el 70% de las emisiones)

CONSERVACIÓN Y REFORESTACIÓN DE ÁREAS VERDES

Área de conservación ecológica protegida	860 km ²
Conservación y mantenimiento de áreas verdes	34.7 millones de m ²
Reforestación con árboles, arbustos y plantas de ornato	15.1 millones de especies
Programa de reforestación rural	Plantación de 4.6 millones de árboles (sept 95-ago 96) en el área de conservación ecológica
Proyecto de conservación ecológica de la ZMCM (BID)	Sierra de Guadalupe y Santa Catarina: protección y vigilancia permanente de 4150 has
Proyecto de reforestación de la ZMCM	Superficie: 18000 hectáreas

De las tablas anteriores podemos llegar a varias conclusiones que nos llevan a soluciones para mejorar la calidad del aire en la ciudad de México.

De un total de 2'684,800 vehículos, el 37.2%, es decir, 998,745 tienen 10 o más años de antigüedad, esto representa el 70% de las emisiones producidas por los vehículos automotores.

Es evidente que el parque vehicular de la ciudad de México requiere ser renovado y el gobierno de la ciudad debe fomentar esto. ¿Cómo puede hacerlo? Una forma es con el pago de tenencias.

Con el paso de los años el pago de tenencia de vehículos decrece según el modelo del vehículo hasta que llega a un precio muy bajo que cubre únicamente el reemplazamiento. Esto debería ser al revés; al primer año no se debe pagar tenencia, únicamente las placas, y conforme pasan los años ir incrementando en el mismo porcentaje que ahora va decreciendo el precio de la tenencia hasta llegar a una cifra que sea incosteable y convenga más invertir ese dinero en el cambio del vehículo.

Otra evolución, más drástica, es prohibir la circulación por la ciudad de México a los vehículos con más de 10 años, es decir, que en 1998 no podrán circular vehículos anteriores a 1988 a menos que paguen un permiso especial que deberá tener un costo muy elevado además de tener que cumplir con una verificación muy estricta. Este permiso será otorgado únicamente a los vehículos que pasen la verificación o que estén registrados como clásicos.

Aunque el 74.1% de los 29.2 millones de tramos de viajes diarios es cubierto por transporte colectivo, éste resulta insuficiente o muy mal organizado para el volumen de pasajeros que lo utiliza diariamente. Se debe fomentar el uso de transporte público para reducir el 24.7% de tramos de viajes diarios cubierto por transporte privado.

Para que esto funcione se debe reestructurar el Reglamento de Tránsito. En el nuevo reglamento se deberán resaltar los siguientes puntos:

- Sólo podrán circular por las avenidas principales o vías rápidas camiones de transporte público, excluyendo a los microbuses. Estas avenidas tendrán paradas establecidas para el ascenso y descenso de pasajeros; de no ser así, se cobrarán multas elevadas o hasta la suspensión indefinida de la licencia de conducir del chofer.

- Los microbuses sólo podrán circular por las pequeñas avenidas y calles teniendo una nueva y reestructurada ruta. Esta ruta también contará con paradas establecidas y deberán funcionar igual que las de los camiones, incluidas las sanciones.

Las nuevas rutas se deben estudiar y planear de manera que dos rutas no pasen por una misma zona; de esta manera se evita que los choferes de microbus vayan peleando el pasaje.

Para lo anterior se debe incluir otra sanción; el vehículo de transporte público que obstruya otro carril por estar descendiendo o ascendiendo pasaje pagará una multa mayor a la antes mencionada.

Otra forma de evitar el que los vehículos de transporte masivo sean fuentes de contaminación, es ampliando la red de líneas de Trolebuses. Actualmente circulan únicamente por ejes viales. Se pueden crear líneas nuevas que vayan por avenidas principales como Paseo de la Reforma e Insurgentes, por mencionar algunas, y prohibir la circulación de cualquier otro tipo de vehículos de transporte masivo por dichas avenidas. Esta es una solución mucho más barata y rápida que ampliar la red del Sistema de Transporte Colectivo Metro, lo cual sería ideal.

Se deben sincronizar los semáforos de todas las avenidas y ejes viales de la ciudad para hacer más fluida la circulación por éstas. Además se debe prohibir que los oficiales de tránsito alteren los tiempos en los semáforos, ya que generalmente lo hacen supuestamente para dar prioridad a alguna avenida en especial, sin embargo, lo único que logran con esto es un caos vial en las zonas aledañas. Por eso se tiene que estudiar detalladamente el flujo del tránsito para de esta manera fijar los tiempos en los semáforos y dejarlos así permanentemente.

El transporte de carga sólo podrá circular por la ciudad de México por la noche. De esta manera se evita la circulación de camiones grandes y pesados que obstruyen el libre flujo del tránsito. A esto también se añaden los camiones y camionetas de reparto, a menos que éstos cuenten con sistemas anticontaminantes de gas.

El 13.9% de tramos de viajes diarios es cubierto para fines escolares, es decir, llevar y recoger a los niños en la escuela. Las horas de entrada y salida de las escuelas son muy conflictivas en cuanto a tráfico se refiere. Una solución a esto es la obligación del transporte escolar, en escuelas privadas primordialmente. Únicamente podrán llevar o recoger a los niños en casos de extrema urgencia. Actualmente hay escuelas que cuentan

con este tipo de reglamento, sin embargo, es únicamente interno, esta disposición debe ser general para todo el D.F.

Todas las reparaciones en la vía pública o relacionadas a ésta deberán ser llevadas a cabo por la noche para evitar obstruir el paso o el libre tránsito.

Una de las urgencias de la ciudad, y que a mi parecer todos los ciudadanos pedimos día con día, es la reglamentación de las marchas. Es inaudito que con los problemas de contaminación todavía no haya un reglamento para el Distrito Federal donde se prohíba la obstrucción del libre tránsito. La exigencia de los derechos de unos termina donde empiezan los derechos de otros. Las marchas deben ser eliminadas y permitir únicamente los plantones en alguna plaza o parque en el que no obstruyan la vialidad.

También se debe fomentar el uso de la bicicleta. Esto se puede hacer creando un carril exclusivo para los ciclistas en el cual tengan preferencia de paso en todos los cruces. Se cobrarán multas significativas a todo aquel que obstruya dicho carril.

Se puede tomar una medida clave como la del estado de California en Estados Unidos, que es la creación de un carril en las vías rápidas exclusivo para los vehículos que lleven tres o más pasajeros, de esta manera se fomentan las llamadas "rondas", disminuyendo el uso de varios vehículos que se dirigen a un mismo punto.

Debe también instrumentarse un sistema universal de control de emisiones que sea aplicado a los industriales, corporaciones y grupos organizados, con el mismo rigor que se aplica a los automovilistas privados. Esto se antoja como para un programa "Hoy no produce", el cual es prácticamente imposible ya que esto paralizaría a la industria y en su caso a la ciudad. Sin embargo, puede ser un aliciente para obligar a las industrias a poner sistemas anticontaminantes como se le obliga a los automovilistas.

En términos de contaminación se exigen prácticamente milagros a PEMEX, pero el departamento de refinación de Petróleos Mexicanos ya no puede hacer más, ya cumplieron creando la gasolina Pemex Premium, que es de la misma calidad que la llamada Phase II usada en California en Estados Unidos y mejorando la calidad del Pemex Diesel, el cual está entre los cinco mejores del mundo. ¿Pero, quién le exige a las compañías constructoras de autos?

General Motors cuenta con un terreno inmenso en las calles de Ejercito Nacional y Cervantes Saavedra en la colonia Irrigación, que no saben qué hacer con él.

Si pensamos que la cantidad de gases contaminantes emitidos por los vehículos se debe al mal estado en el que éstos se encuentran, es porque los únicos talleres que cuentan con la tecnología necesaria para reparar los autos actuales son las agencias, pero los precios de mano de obra y refacciones en dichos talleres son extremadamente altos.

Si en los Estados Unidos de Norteamérica se unieron las constructoras de autos americanos para formar la PNGV bajo supervisión del gobierno federal, también se pueden unir aquí las constructoras de autos con plantas en el país y crear un Instituto de Capacitación para todos los mecánicos y dueños de talleres para que cuenten con las bases necesarias y la tecnología para tener en buen estado a los vehículos que circulan por la ciudad. Dicho Instituto se puede establecer en los terrenos de GM en la colonia Irrigación. A groso modo se puede pensar en que GM pone el terreno y los demás ponen el capital para la construcción de las aulas y los laboratorios, y después todos aportan con técnicos y especialistas para impartir los cursos. Todo esto bajo supervisión del gobierno para certificar que todos aportan al mismo nivel.

Retomando el tema de los vehículos con antigüedad de más de 10 años, se puede crear un plan económico en el que las agencias distribuidoras de autos tomen a cuenta y a un precio razonable los vehículos viejos y apoyen en el financiamiento para la adquisición de un auto nuevo. De estos autos viejos se pueden tomar piezas que sirvan y se integren a las líneas de producción de autos nuevos, es decir, estos autos viejos serán reciclados. Las partes que pueden ser recicladas son:

- partes de la carrocería,
- los asientos.
- el tablero, y
- los accesorios.

Los vehículos que aún se encuentren en buen estado podrán ser arreglados y renovados para su venta posterior en ciudades pequeñas de provincia.

Una solución viable para disminuir los índices de contaminación en la ciudad de México es, que todos los microbuses de transporte público, y hasta los de transporte privado (colegios, empresas, etc), sean de Gas LP. Esto tiene varias ventajas:

-los vehículos equipados con Gas LP circulan todos los días durante dos años, siempre y cuando esta conversión haya sido hecha por una empresa con certificación ante la Secretaría del Medio Ambiente,

-el precio del Gas LP es aproximadamente 49% menor que el de la gasolina Magna Sin, y

-las empresas pueden contar con estaciones de autoabasto.

Para que el vehículo pueda circular todos los días durante dos años (vida útil del catalizador), debe tener instalado un equipo que cumpla las especificaciones de la NOM 034. El vehículo tiene que ser modelo posterior a 1980, y contar con los siguientes documentos para poder tramitar la exención al programa "Hoy no circula" ante la Dirección de Ecología del DDF:

-acta constitutiva de la empresa,

-factura del vehículo a convertir,

-tarjeta de circulación del vehículo.

Las estaciones de autoabasto pueden ser instaladas en cualquier lugar que cuente con el suficiente espacio para, ya sea poner un tanque estacionario para Gas LP elevado, o bien enterrado. Para su instalación sólo se requiere tubería de cobre, manguera, una bomba, y un medidor de flujo. Se puede firmar un contrato con alguna gasera para que ellos abastezcan de combustible al tanque estacionario, según el volumen promedio a consumir, y ellos se encargan de instalar el equipo.

La instalación del equipo en el vehículo es muy sencilla, lleva de 24 a 48 horas y tiene un precio de \$9,066.67 para 4 cilindros, y \$9,200.00 para 6 y 8 cilindros. El equipo consta de 13 componentes:

1. Tanque especial para carburación.
2. Tubería de alimentación (cobre o manguera).
3. Filtro para Gas LP.

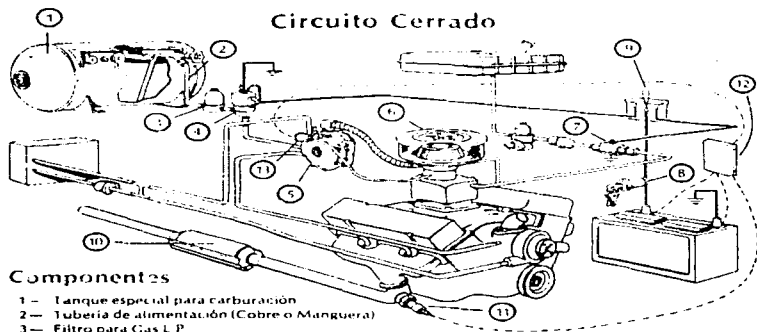
4. Válvula de control tipo solenoide para Gas LP.
5. Regulador vaporizador.
6. Carburador para Gas LP.
7. Válvula de control tipo gasolina (manual opcional).
8. Switch de ignición.
9. Switch selector de combustible (opcional).
10. Convertidor catalítico.
11. Sensor de oxígeno.
12. Microprocesador.
13. Válvula "Lambda".

La configuración del sistema se muestra en la siguiente página.

La ventaja de ponerlo en los vehículos de transporte público es que tienen una ruta establecida, por lo que se pueden poner estaciones de autoabasto en sus paraderos extremos, y así no tienen que desviar su camino para cargar gasolina. Si este sistema es utilizado en microbuses privados de empresas, éstas pueden poner una estación de autoabasto en sus instalaciones.

Existe ya una gasera que esta instalando estaciones de servicio para vehículos automotores en puntos estratégicos de la ciudad (cercano a las zonas industriales), que trabajan con vales, el mismo sistema que los vales de gasolina los cuales son deducibles de impuestos.

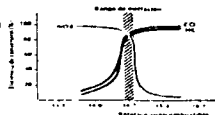
Configuración típica del sistema de Carburación a Gas L.P., según la norma NOM-034-SCFI-1994



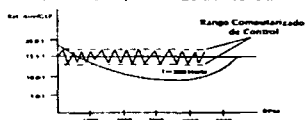
Componentes

- 1 - Tanque especial para carburación
- 2 - Tubería de alimentación (Cobre o Manguera)
- 3 - Filtro para Gas L.P.
- 4 - Válvula de control tipo solenoide para Gas L.P.
- 5 - Regulador Vaporizador
- 6 - Carburador para Gas L.P.
- 7 - Válvula de control tipo solenoide para Gasolina (Manual opcional)
- 8 - Switch de ignición
- 9 - Switch selector de combustible (opcional)
- 10 - Convertidor Catalítico de 3 Vías
- 11 - Sensor de Oxígeno
- 12 - Microprocesador
- 13 - Válvula "Lambda"

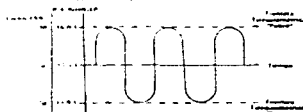
Curvas de Eficiencia del Convertidor



Control Computarizado de Mezcla



Rango Computarizado de Control



Todas las soluciones antes mencionadas no funcionarán nunca, si el pueblo no coopera. Realmente gran parte del problema de la contaminación en la ciudad de México se debe a la falta de educación del pueblo mexicano. Mientras la gente no participe activamente, el problema no disminuirá, sino que aumentará.

La ciudad de Chicago en Estados Unidos, será la primera del mundo en tener entre su flotilla de autobuses de transporte al primer vehículo de cero emisiones. Dicho autobús utiliza una celda de energía Ballard, la cual genera potencia a través de un proceso electroquímico. Esta tecnología permite convertir, directamente a electricidad, combustibles alternos como gas natural, metanol, o hidrógeno sin combustión ni contaminantes. El autobús trabajará con gas hidrógeno comprimido. Tendrá un rendimiento equivalente a los autobuses con motores a Diesel. En lugar de los gases de escape asociados a los autobuses a Diesel, el único gas de escape de la celda de energía será vapor de agua.

Se instaló una estación central para suministrar hidrógeno a los tres autobuses que estarán a prueba durante dos años. El gas hidrógeno que será utilizado en este proyecto, se deriva del gas natural.

Es el momento ideal para que México participe a la par en esta clase de proyectos, no debemos seguir probando proyectos de avances tecnológicos ya "quemados" en otros países. El gobierno de la ciudad de México se debe poner en contacto con las autoridades de tránsito de Chicago (CTA, Chicago Transit Authority), y con Firoz Rasul, presidente de la empresa canadiense Ballard Power Systems, para externar el interés en participar en este proyecto de prueba. La participación de México, debe ser con muchos más autobuses que en la ciudad de Chicago que son tan sólo tres.

De resultar positivo el funcionamiento de dichos autobuses, una opción viable para la ciudad de México es que todos los autobuses de transporte masivo cuenten con motores de celdas de energía.

El causante principal de tráfico en el anillo periférico, es la zona donde se unen los carriles centrales con el arroyo lateral, es decir, desde el Toreo de Cuatro Caminos hasta la Fuente de Petróleos. Se puede promover la construcción de un puente que cubra este

recorrido. Se eliminarían los dos carriles de alta velocidad para construir las torres de cimentación que soportarían el puente. En la parte inferior del puente quedarían cinco carriles exclusivamente para los vehículos de transporte público y los de tránsito local.

En este mega proyecto se puede incluir una prueba de un sistema de transporte magnético. Considerando que cinco carriles para vehículos de transporte y locales son muchos, se puede aprovechar un carril por cada lado para hacer un transporte magnético. Se debe construir una pista magnética que cubra el tramo Cuatro Caminos - Chapultepec. Por dicha pista circularán furgones de transporte público, que en la parte inferior tengan celdas magnéticas con el polo opuesto al de la celda magnética de la pista. Dependiendo del funcionamiento, se puede pensar a futuro para construir este tipo de transporte por todo el anillo periférico.

El gobierno de la ciudad de México no debe escatimar recursos para el mejoramiento ambiental, y debe llevar a cabo proyectos de vanguardia. Por medio de concursos y campañas publicitarias se pueden aceptar propuestas ya sea de empresas privadas que desarrollen el proyecto, como de particulares que propongan soluciones.

APÉNDICE DE ABREVIACIONES.

ACC	Automotive Composites Consortium
CARB	California Air Resource Board
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CGT	Ceramic Gas Turbine
CIDI	Compression Ignition Direct Injection
CNG	Compressed Natural Gas
CVT	Continuously Variable Transmission
DI	Direct Injected
DOE	Department of Energy
EPA	Environmental Protection Agency
EZEV	Equivalent Zero Emission Vehicle
FES	Flywheel Energy Storage
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standard
GHG	Greenhouse Gases
GM	General Motors
LLNL	Lawrence Livermore National Laboratory
LNG	Liquefied Natural Gas
LPG	Liquefied Petroleum Gas
LSR	Low Storage Requirements
MCI	Motores de Combustión Interna
NMOG	Non-methane Organic Gases
OCV	Open Circuit Voltage
OEM	Original Equipment Manufacturers
ORNL	Oak Ridge National Laboratory
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell
PEM	Proton Exchange Membrane
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PHS	Parallel Hybrid System

PNGV	Partnership for New Generation Vehicles
POX	Partial Oxidation
PROX	Preferential Oxidation
PTC	Positive Temperature Coefficient
PTH	Post Transmission Hybrid
SAE	Society of Automotive Engineering
SCAAP	Supercomputer Automotive Applications Partnership
SHS	Series Hybrid System
SI	Spark Ignition
SRIM	Structural Reaction Injection Moulding
TAU	Turbine Alternator Unit
TIT	Turbine Inlet Temperature
ULEV	Ultra Low Emission Vehicle
ULSAB	Ultra Light Steel Autobody
USCAR	United States Council for Automotive Research
VE	Vehículo Eléctrico
VHE	Vehículo Híbrido Eléctrico
ZEV	Zero Emission Vehicle
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

BIBLIOGRAFÍA.

1. Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, septiembre 1996, v. 104, n° 9.
2. Taylor Carolyn, "Realización De Materiales De PNGV", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, diciembre 1996, v.104, n° 12.
3. Oei Djong-Gie, "Motores De Celdas De Combustible Para Vehículos", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, febrero 1997, v. 105, n° 2.
4. Jost Kevin, "Celdas De Combustible De Gasolina", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, febrero 1997, v.105, n° 2.
5. Patil Pandit G., "Combustibles Alternos Para Vehículos Del Futuro", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, enero 1996, v. 104, n° 1.
6. Kukkonen Carl A. y Shelef Mordecai, "El Hidrógeno Como Combustible Alterno", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, octubre 1994, v. 102, n° 10.
7. Ramos Alejandro, "Catalizador Eotys", periódico Reforma México, 29 abril 1997.
8. Handa Nantoshi, y Niwa Kanoe, "Turbinas De Gas Cerámicas. Sistema De Potencia Híbrido", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, julio 1996, v. 104, n° 7.
9. Jarrabet G.P., "Elementos De Unión Cerámico / Metálicos Para Componentes Avanzados De Motores", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, enero 1995, v. 103, n° 1.
10. Ng H. K., Anderson J. L., y Santini D. J., "Vehículos Eléctricos E Híbridos, Un Pronóstico A 25 Años", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, febrero 1996, v.104, n° 2.
11. Jost Kevin, "Transmisión Híbrido - Eléctrica Del Chrysler Patriot", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, diciembre 1994, v.102, n° 12.
12. "Concepto Híbrido De Chrysler", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, mayo 1996, v.104, n° 5.
13. Jost Kevin, "Almacenaje De Energía Alternas", Automotive Engineering, Brimfield, Ohio, SAE International, noviembre 1996, v.104, n° 11.

14. Taylor Carolyn, "Logros De La Ingeniería Vehicular De PNGV", *Automotive Engineering*, Brimfield, Ohio, SAE International, noviembre 1996, v.104, n° 11.
15. Buchholz Kami, "Ford P2000", *Automotive Engineering*, Brimfield, Ohio, SAE International, mayo de 1997, v.105, n° 5.
16. Demmler Al, "Modelo Híbrido De Renault: NEXT", *Automotive Engineering*, Brimfield, Ohio, SAE International, enero de 1997, v.105, n° 1.
17. Mandler Charles, "Un Nuevo Punto De Vista De La Eficiencia En Los Vehículos Híbrido Eléctricos", *Automotive Engineering*, Brimfield, Ohio, SAE International, febrero 1997, v.105, n° 2.
18. Pontice Patrick, "Conduciendo Autos Más Limpios", *Automotive Engineering*, Brimfield, Ohio, SAE International, junio de 1997, v.105, n° 6.
19. Entrevista realizada a: Ing. José Antonio Rosas e Ing. Nicolás Rodríguez Martínez, gerente y subgerente de Subdirección de Producción, Gerencia de Evaluación de Refinación; PEMEX Refinación.
20. Entrevista realizada a: Rubén Leal, Roberto Cardona, Noé Toxle, René Santiago, Construcción de Motores y Desarrollo Técnico; Moisés Cruz, Laboratorio de Emisiones; Moisés González, Laboratorio de Pruebas, Volkswagen de México.
21. Entrevista realizada a: Ing. Mario Medina, Director de Ingeniería y Calidad, Chrysler México.