

40



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MEXICO**

**Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
CAMPUS ARAGÓN**

**“ANÁLISIS DEL TREN DE  
TRANSMISIÓN DE POTENCIA DE  
VEHÍCULOS HÍBRIDOS UTILIZANDO  
EL ADVISOR (ADVANCED VEHICLE  
SIMULATOR)”**

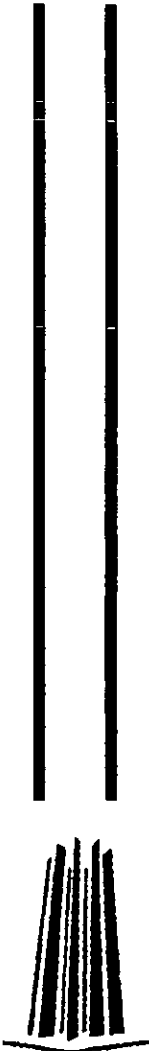
**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA MECÁNICO ELÉCTRICO  
P R E S E N T A:**  
**JOSEFA AURORA GUTIERREZ VÁZQUEZ**

**ASESOR:**  
**ING. CUITLAHUAC OSORNIO CORREA**

MÉXICO D.F.

OCTUBRE DE 2001

299590





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

**INDICE**

<b>CAPITULO 1: VEHÍCULOS ELÉCTRICOS GENERACIÓN 1</b>	
<b>1.1 GENERALIDADES</b>	5
<b>1.2 VEHICULOS ELECTRICOS (VE)</b>	5
1.2.1 Funcionamiento de un VE	6
1.2.2 Tipos de Vehículos Eléctricos	7
1.2.3 Impacto de los VE's en la reducción de la contaminación	10
1.2.4 Simplicidad de los VE's	11
1.2.5 Limitaciones	11
1.2.6 En busca de la eficiencia.	12
1.2.7 Servicio de uso de VE	16
<b>1.3 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EXISTENTES</b>	17
1.3.1 Panorama del estado actual de los VE's	18
1.3.2 Programa Ekomoto	18
1.3.3 Proyecto Zeus	19
1.3.4 EV1, vehículo eléctrico de la General Motors	22
<b>CAPITULO 2: VEHÍCULOS ELÉCTRICOS HÍBRIDOS GENERACION 2 Y 3</b>	
<b>2.1 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS HÍBRIDOS (VEH)</b>	25
2.1.1 Funcionamiento de los VEH	26
<b>2.2 COMPONENTES ESENCIALES DE UN VEH</b>	27
2.2.1 Volantes de inercia	27
2.2.2 Ultracapacitores	28
2.2.3 Motores	29
2.2.4 Baterías	32
<b>2.3 CONFIGURACIÓN DEL VEH</b>	36
2.3.1 Configuración en serie	36
2.3.2 Configuración en paralelo	37
2.3.3 Pérdida de Energía	38
<b>2.4 VEHICULOS ELÉCTRICOS HÍBRIDOS EXISTENTES</b>	38
2.4.1 INSIGHT HONDA	38
2.4.2 Prius de Toyota	39
2.4.3 Para todos los gustos	39
<b>2.5 VEHICULOS ELECTRICOS DE CELDAS DE COMBUSTIBLE (FC)</b>	40
2.5.1 Principio de operación	41
2.5.2 Características de los sistemas de FC.	42
2.5.3 Clasificación de las FC	43

# CAPITULO 1

## VEHÍCULOS ELÉCTRICOS GENERACIÓN 1

### 1.1 GENERALIDADES

Existe una correlación sólida entre el desarrollo económico de un país y la demanda de transporte de personas y mercancías. En general, a mayor crecimiento se incrementa la necesidad de movilización urbana y regional. El transporte, de hecho, enlaza todas las actividades económicas que forman la estructura urbana de cualquier población. Por otra parte, el crecimiento económico en las urbes también está acompañado de más vehículos moviéndose a velocidades bajas, contribuyendo así a un alto consumo de combustibles y a un constante deterioro del medio ambiente.

La política energética actual marca la tendencia mundial hacia la reducción en el uso de combustibles fósiles, lo cual permitirá prolongar su existencia y mejorar la calidad ambiental. El efecto de esta situación en el transporte se ve reflejado en los esfuerzos que se están llevando a cabo para aumentar su eficiencia energética y disminuir su dependencia actual de la gasolina y el diesel, dando como opciones de solución el uso de vehículos eléctricos de baterías, vehículos eléctricos híbridos y vehículos eléctricos de celdas de combustible.

### 1.2 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (VE)

Los VE han sido usados desde 1910 en muchas aplicaciones, como en plantas industriales, donde las emisiones de un motor de combustión interna perjudica la salud de los empleados dada la toxicidad de sus emisiones, en campos de golf donde su conducción suave se une al entorno relajante, como transporte entre edificios de una empresa o de un campus, etc.

Hoy en día los avances de la tecnología en temas de baterías, aerodinámica, etc., consiguen que los VEs puedan cumplir su función en las calles de las ciudades. Algunas ciudades de California, como San Francisco, Sacramento, San Diego, o San José, usan medios de transporte eléctricos, tanto con la fuente de energía interna (baterías) como externa (tranvía eléctrico).

En 1995 la asociación "Electric Vehicle Association of the Americas" estimó que el número de VEs capaces de operar por carretera, sin entorpecer el tráfico, sólo en California, alcanzaba los 587.

Por ahora los VEs han demostrado que pueden llegar a rangos de autonomía por encima de los 160 Km, lo cual es mayor con creces de lo que se recorre diariamente en la ciudad. Como ejemplo de ello tenemos los siguientes datos:



Figura 1.2 Sunray de Suntera, baterías plomo-ácido, 100 km/h máximo.

Tres estados más en la Unión Americana han definido políticas semejantes a las del CARB:

- Nueva York adoptó el Programa de California con Bajas Emisiones en 1992. Bajo este mandato, se esperaban 11,900 vehículos cero emisión para 1998. El Departamento de Conservación Ambiental del estado de Nueva York preparó un estudio sobre el desarrollo actual de los VEs y el escenario para los próximos diez años.
- Massachusetts tiene un mandato similar al de Nueva York y, al igual que este estado, está revisando su mandato con la industria automotriz misma que ha externado su preferencia de vender un solo "automóvil limpio" para los 49 estados en lugar de los vehículos cero emisión.
- Vermont ha establecido un mandato diferente a los de Massachusetts y Nueva York; sus metas están establecidas en forma tal que no entrarán en vigor hasta que los vehículos cero emisión tengan una autonomía de 240 km. por carga, aceleren de 0 a 97 km./h en 15 segundos, se puedan recargar en dos horas o menos, y tengan un precio menor a los 19 mil dólares. Otra parte del mandato de Vermont es que éste entrará en vigor un año después de que un vehículo comercial cumpla con tales requerimientos.

Además de los Estados Unidos, en el ámbito internacional destacan los esfuerzos realizados por los siguientes países de la Agencia Internacional de la Energía: Alemania, Canadá, Francia, Holanda, Italia, Japón, el Reino Unido, Suecia y Suiza. También se pueden mencionar las organizaciones CITELEC (Asociación de Ciudades de la Comunidad Económica Europea Interesadas en el Uso de Vehículos Eléctricos), y la Asociación Mundial de Vehículos Eléctricos, la cual se estableció en 1990 en Hong Kong con la participación de tres organizaciones: AVERE (Asociación Europea de Vehículos Eléctricos), EVAA (Asociación de Vehículos Eléctricos de las Américas) y la EVAAP (Asociación de Vehículos Eléctricos de Asia del Pacífico).

### 1.2.3 Impacto de los VE's en la reducción de la contaminación

La reducción de los elementos contaminantes por el cambio de vehículos de combustión interna (VCI) a VE's varía de contaminante a contaminante y con el

### 1.2.6.2 Sistemas Conductivos

Los sistemas conductivos mostrados hasta a la fecha utilizan un sistema de enchufe y cable que puede variar según el tipo de conector usado y el nivel de voltaje y corriente. El cargador puede estar localizado dentro del vehículo o fuera del vehículo, dependiendo del diseño del sistema conductivo. En los casos que el cargador está dentro, es necesario algún tipo de aparato de control e interconexión exterior. (Figura 1.6)



Figura 1.6 Conjunto enchufe-cable conductivo , corriente alterna, 220 voltios

### 1.2.6.3 Sistemas Inductivos

Los sistemas de carga inductivos, utilizan un cable y un conector en forma de pala que transfiere la energía del sistema eléctrico de inducción al VE por medio de la inducción magnética. (Figura 1.7)



Figura 1.7 Cable y conector con forma de pala inductiva

### 1.2.6.4 Redes de recarga para VE

Existe una gran oportunidad para las empresas de distribución eléctrica en el desarrollo de la infraestructura de los sistemas de la recarga para VE. Algunas de las acciones relevantes en este sentido y que ya se están llevando a cabo en otros países están enfocadas a:

- La estandarización de los equipos de carga y los procedimientos correspondientes.
- El desarrollo de las instalaciones de carga.
- Las estaciones para el reemplazo y reciclado de baterías.
- La capacitación y organización de técnicos de servicio para emergencias y operación de las estaciones de recarga.
- La definición de las características técnicas de la capacidad de recarga del sistema.
- La estructura de tarifas de la energía eléctrica.
- La educación pública sobre el tema.

### 1.2.6.5 Tiempos de carga

Para cargar completamente un VE, la tecnología de hoy en día requiere que el vehículo esté cargando como mínimo de 2 a 3 horas a 220 voltios. Actualmente, las tecnologías de carga todavía no están completamente perfeccionadas, a pesar de que una cantidad importante de la investigación se dedica a esta actividad. Además, la carga rápida a niveles de potencia de unos 25 kwats puede suponer unas extraordinarias demandas de energía en la red de distribución de electricidad durante el día y las horas poco.

### 1.2.6.6 Reciclaje de Baterías

Uno de los puntos críticos de la infraestructura de los VE es asegurarse de que las baterías sean respetuosas con el medio ambiente. El reciclaje de baterías de plomo-ácido se esta haciendo actualmente, y existe suficiente capacidad de reciclaje para dar soporte al incremento a corto plazo del uso de baterías resultado de la comercialización de VEs. (Tabla 1.2 )

Tabla 1.2: Comparación de las Especificaciones de diferentes Bateria

	Energía Específica (Wh/kg)	Densidad Energética (Wh/kg)	Potencia Específica (W/kg)	Ciclo de vida (horas)	Autonomía (Millas)	Tiempo de recarga (Horas)	Eficiencia Energética (%)	Reciclabilidad de Los materiales (%)
Actuales Plomo Ácido	33	30	130	400	60	8 a 17	65	97
Horizon Plomo Acido	42	93 Wh/L	240	800	100	< 5	¿?	100
Niquel-Cadmio	57	56	200	2000	120	8	65	99
Niquel-Acero	55	50	100	2000	110	4 a 8	60	99
Niquel-Metal Hidrido	70	80	250	600	250	< 6	90	90
Lithium-Ion	100	100	300	1200	195	< 3	¿?	50

Fuente: Electric Vehicle Community Market Launch Manual: A Guide to Prepare Your Community for Electric Vehicles, Diciembre de 1995

### 1.2.7 Servicio de uso de VE

#### \* Estudios de factibilidad

##### PROBLEMATICA:

Se tiene elevada contaminación atmosférica en las grandes ciudades por el uso indiscriminado de vehiculos de combustión interna.

##### QUE SE HACE:

Estudio de factibilidad de uso de vehículos eléctricos de baterías, VE híbridos y vehículos de celda de combustible de hidrógeno; incluyendo la determinación del consumo energético y la contaminación que se produce, así como escenarios de

sustitución, requerimientos de infraestructura y determinación de potenciales de ahorro energético.

**BENEFICIO:**

Conocimiento de alternativas para disminuir la contaminación ambiental y mejorar la calidad de vida de los habitantes de las grandes ciudades, así como de ahorrar energéticos primarios.

**\* Monitoreo y evaluación**

**PROBLEMATICA:**

Existen VE en diversos países del mundo, algunos en demostración y otros ya en comercialización, diseñados para condiciones ideales o específicas de tráfico urbano.

**QUE SE HACE:**

Se efectúan recorridos de prueba con VE's bajo condiciones reales del tráfico urbano de ciudades con problemas de circulación, efectuándose monitoreo continuo de VE o flotillas y análisis de resultados con modelos matemáticos, para poder adaptar los vehículos a las condiciones del sitio.

**BENEFICIO:**

Contar con VE que operen óptimamente y sin problemas en ciudades de tráfico intenso y con variaciones de elevación en el terreno.

**\* Impacto económico y social**

**PROBLEMA:**

Desconocimiento de la población en general de los beneficios que pueden obtenerse tanto económicos como ambientales y sociales al utilizar los VE's.

**QUE SE HACE:**

Escenarios y evaluaciones para determinar el costo - beneficio del uso de VE, el potencial de ahorro energético, el potencial de ahorro económico, la disminución de contaminantes, la posibilidad de industrialización de los VE y creación de empleos.

**BENEFICIOS:**

Ahorro económico para los usuarios, mejoramiento de la calidad de vida y de la salud al disminuir la contaminación en las grandes ciudades.

**1.3 VEHICULOS ELECTRICOS EXISTENTES**

Existen muchos y muy diversos VE en el mercado fabricados por Compañías como DaimlerChrysler, Ford, General Motors, Iberdrola, Toyota, entre otros; no obstante una de las restricciones que podemos encontrar está dada por el siguiente manual:



## **"Manual para el lanzamiento al mercado de los VE: una guía para preparar a su comunidad para los VE "**

Este manual, diseñado para ser una guía para asistir a las comunidades a estar preparadas para los VE, ha sido realizado por la Electric Transportation Coalition (ETC) y la Electric Vehicle Association of the Americas (EVAA), con la cooperación del U.S. Department of Energy (DOE) y el U.S. Department of Transportation (DOT).

Este manual resulta de un programa iniciado por la ETC conocido como la EV Market Launch Framework (Estructura para el Lanzamiento al Mercado de los VE). Esta estructura está diseñada para concluir con la colocación de 5000 VE en 10 localidades norteamericanas a finales del 1997. Esta iniciativa, además, también está dirigida a la instalación de una infraestructura necesaria para dar soporte a los VE en funcionamiento, y finalmente, la preparación de las comunidades para asegurar la introducción exitosa de los productos en el mercado.

### **1.3.1 Panorama del estado actual de los VE's**

Aunque todos los fabricantes tienen la idea de abarcar el enorme mercado del auto familiar, las flotas urbanas de reparto de mercancías, alimentos y servicio de correo parecen ser el lugar indicado para iniciar la penetración comercial de los VE's.

### **1.3.2 Programa Ekomoto**



Figura 1.8 Programa Ekomoto

El Ayuntamiento de Bilbao, a través del Area de Empleo, Mujer y Medio Ambiente, IBERDROLA y el Ente Vasco de la Energía fomentan el uso de ciclomotores eléctricos en la ciudad. Para ello han puesto en marcha el denominado "Programa Ekomoto", que se enmarca dentro del acuerdo de

Tanto el diseño como las características del vehículo, lo hacen especialmente adecuado para su integración en este tipo de flotillas, cuyas condiciones habituales de operación son las siguientes:

- Concentración de los vehículos en locales propios.
- Recorridos diarios inferiores a la autonomía del vehículo.
- Circuitos con gran número de arranques y paradas.
- Evaluación detallada de los costos de explotación.
- Contribución de los vehículos térmicos a la polución ambiental de las ciudades en ruidos y emisiones de humos.

El proyecto ZEUS ha considerado desde su inicio estas condiciones, para aportar las soluciones más adecuadas, y el resultado es un vehículo nuevo y claramente diferenciado, fruto de un desarrollo totalmente nacional.

### **1.3.3.2Diseño**

Acorde con las últimas tendencias estéticas del sector del automóvil, se ha diseñado una línea de carrocería específica para este vehículo, aportando así un mayor valor a su imagen, un factor muy importante en esta etapa inicial del mercado de vehículos eléctricos.

### **1.3.3.3Materiales**

La carrocería, íntegramente fabricada en composite, constituye un ejercicio avanzado de la utilización de este tipo de materiales en piezas de compromiso con resistencia estructural.

El composite de resinas y fibras especiales aporta al vehículo ligereza y una tecnología de fabricación bien adaptada a series medias.

### **13.3.4 Equipo de tracción**

Se evaluaron dos sistemas: El más avanzado, que equipa el primer prototipo, incorpora un motor de corriente alterna con un control vectorial de velocidad (por frecuencia). El segundo está basado en un motor de corriente continua de excitación independiente, de desarrollo propio, más adecuado para las primeras etapas de la industrialización.

### **1.3.3.5 Sistema de control electrónico**

Permite al usuario recibir información sobre el funcionamiento de los sistemas del vehículo, al mismo tiempo que convierte sus acciones naturales de conducción en órdenes para el equipo de tracción. También, facilita un cierto grado de personalización del vehículo en cuanto a características de conducción: rampas de aceleración (curvas), recuperación de energía en el frenado, velocidad máxima, etc.

Este sistema, diseñado específicamente para el vehículo, incorpora funciones de gestión de la carga de las baterías, como gran novedad en relación con otros desarrollos de este tipo.

Se ha cuidado especialmente la fiabilidad de la información sobre carga restante en las baterías y la discriminación del estado de carga de cada uno de sus módulos. Este último punto es de gran importancia a la hora de garantizar el total aprovechamiento de las características de autonomía del vehículo.

### 1.3.3.6 Baterías

En el proyecto se ha realizado un gran esfuerzo de evaluación de las diferentes tecnologías de baterías de tracción existentes hoy en día en el mercado. Mediante simulación en bancada, se ha obtenido una información exhaustiva acerca de su previsible comportamiento en este tipo de servicio.

A la hora de seleccionar el tipo más adecuado para este vehículo, se han seguido criterios de fiabilidad, prestaciones y costo.

De acuerdo con las pruebas, el vehículo se ha equipado con baterías de plomo-ácido con recombinación de gases, que aportan una gran fiabilidad, ausencia de mantenimiento, seguridad, una relación calidad-precio razonable y son totalmente reciclables.

### 1.3.3.7 Características técnicas

#### ➤ Motor

**Tipo:** Asíncrono trifásico, refrigerado por agua

**Potencia nominal:** 18 kW

**Potencia máxima:** 35 kW

**Régimen nominal:** 2 500 r.p.m.

**Régimen máximo:** 9 000 r.p.m.

**Par máximo:** 125 N-m

**Potencia fiscal:** 3 CVF

#### ➤ Baterías de tracción

**Tipo:** Plomo-ácido estancas, sin mantenimiento

**Capacidad:** 110 Ah

**Número de elementos:** 12

**Tensión nominal:** 144 V

**Energía almacenada:** 15.84 kWh

#### ➤ Cargador

Embarcado en vehículo

**Potencia:** 3 kW

**Tensión:** 220 V (monofásico)

**Tipo de carga:** IUI

## CAPITULO 2 VEHICULOS ELECTRICOS HÍBRIDOS GENERACION 2 Y 3

En respuesta a las necesidades de cumplir con los requerimientos de vehículos de bajas emisiones de contaminantes y a la vez ser baratos, se concluyo que los VE no eran la mejor opción, ya que, por un lado, a pesar de ser cero emisiones, tenía los siguientes inconvenientes:

- el almacenaje de energía, por ser tardados en la recarga de baterías, además de la opción costosa de un kit de repuesto, y
- los rangos de autonomía relativamente cortos.

Con tales planteamientos se optó por un **Vehículo Eléctrico Híbrido**, el cual propone, no las deseadas cero emisiones, pero si muy bajas, lo cual aunado a la unión de dos motores, uno eléctrico y otro de combustión interna, lo cual facilitaría la autonomía del vehículo y lo haría menos costoso.

La energía eléctrica todavía está muy lejos de resultar viable para mover con total garantía un automóvil, pero no por ello su aportación deja de ser importante. Los fabricantes de vehículos la utilizan en sus nuevos modelos para minimizar sus emisiones contaminantes, para optimizar su consumo de combustible o para ambas cosas. En combinación con motores térmicos, unas veces asume un papel de protagonista y otras oficia de mero auxiliar

Los coches eléctricos ya son el pasado. Han sido sustituidos por los VEH, que sin dejar de lado la electricidad, la utilizan de forma racional para lograr los mejores rendimientos posibles de los tradicionales motores de combustión, tanto los movidos por gasolina como los que utilizan el gasóleo.

El futuro es de ellos y los fabricantes lo saben. Por eso cada día aparece un nuevo ejemplo de cómo aplicar, de forma combinada y con éxito, dos energías tan diferentes como la eléctrica y la que producen los derivados del petróleo.

### 2.1 VEHICULOS ELECTRICOS HIBRIDOS (VEH)

Los VEH no tratan de lograr el nivel de emisiones cero tan perseguido por los vehículos eléctricos, ni tampoco pretenden que sus consumos sean ínfimos, aunque se esmeran en conseguir los mejores resultados en ambos terrenos al mismo tiempo. Su misión no es otra que mejorar el funcionamiento de los automóviles equipados con motores convencionales, habida cuenta de que éstos van a seguir utilizándose durante mucho tiempo.

La razón de ser de los híbridos estriba en la perfecta simbiosis que han conseguido los fabricantes entre los motores de combustión y los eléctricos. En estos últimos ha desaparecido el grave problema que suponía la recarga de las

Los VEH's tienen varias ventajas sobre el motor tradicional de vehículos combustión interna (MCI). Algunas son las siguientes:

- La capacidad de freno regenerativo, que ayuda a minimizar la energía perdida cuando se conduce.
- El motor se clasifica por la carga promedio, no con cargas pico, lo cual reduce el peso del motor.
- La eficiencia del combustible aumenta, mientras que las emisiones disminuyen.
- Los VEH's pueden ser operados usando combustibles alternativos, por lo tanto no dependen necesariamente de combustibles fósiles.

La meta de los fabricantes de autos es lograr estos beneficios sin pérdida estimable en el desempeño del vehículo, costo y seguridad. Con dos opciones de manejo (MCI que utiliza gasolina o combustibles alternativos y una batería eléctrica), el VEH es capaz de operar aproximadamente dos veces más eficientemente que los vehículos tradicionales MCI. Esto es porque la pérdida de energía de un VEH es mucho menor que la de los vehículos tradicionales

## 2.2 COMPONENTES ESENCIALES DE UN VEH

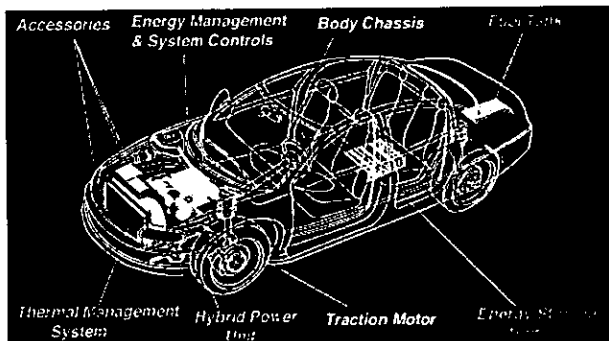


Figura 2.1 Componentes de un VEH

### 2.2.1 Volantes de inercia

Los volantes de inercia son los dispositivos para almacenar energía cinética dentro de un rápido giro de rueda como un rotor o un disco. Los volantes de inercia podría finalmente almacenar cantidades de energía comparable a las baterías. Estos no contienen ácidos u otro material potencialmente peligroso. Además, no son afectados por temperaturas extremas ambientales como en la mayoría de las baterías.

Los volantes de inercia se han usado en diversas formas, y tienen una historia larga en aplicaciones automotrices. Los primeros automóviles usaron una manivela conectada al volante de inercia para encender el motor, y todos los motores de hoy de combustión interna usan un volante de inercia para almacenar

energía y entregar una corriente lisa de desde los pulsos bruscos de potencia del motor. Los volantes de inercia modernos emplean una alta y fuerte composición de rotor que gira en una cámara de vacío para minimizar las pérdidas aerodinámicas. Un motor/generador se monta sobre el eje del rotor para accionar el rotor y para convertir la energía cinética del rotor a energía eléctrica. Una fuerte estructura de contención aloja la rotación de los elementos y la presencia de pérdidas de energía estabilizan el eje. La electrónica de interfase se necesita para convertir la corriente alterna a corriente directa, condicionando la potencia, y para controlar el volante de inercia.

Los volantes de inercia para aplicaciones en VEH deben proveer densidades más altas de energía de lo que actualmente se dispone. En suma, su costo actual es prohibitivamente alto.

Hay varios criterios para usar volantes de inercia en VEH, los cuales explotan la capacidad de entregar pulsos de alta potencia. Un concepto de combinar un volante de inercia con un motor estándar, provee una potencia de ayuda. Otro concepto emplea un volante de inercia para cargar a un nivel baterías químicas. Otros usos de volantes de inercia es reemplazar baterías químicas enteramente. En algunos usos, un volante de inercia es conocido como una " batería electromecánica."

Las evaluaciones recientes de volantes de inercia para VEH han concluido que la tecnología ha avanzado en puntos donde el desarrollo adicional podría producir dispositivos prácticos para la aplicación vehicular. El volante de inercia de capacidades para usos prácticos en VEH incluyen energía específica de aproximadamente 100 watts hora por kilogramo, 1,000 watts por kilogramo de potencia específica, la eficiencia de sistema de hasta 95%, y vida útil hasta 1 millón de ciclos.

### **2.2.2 Ultracapacitores**

Los ultracapacitores son versiones más altas de energía específica de los condensadores electrolíticos, o bien, dispositivos que almacenan energía como una carga electrostática. Son sistemas electroquímicos que almacene energía en una capa líquida polarizada en interfase entre un electrolito de conducción iónica y un electrodo conductor. La capacidad de almacenaje de energía aumenta por el incremento del área de superficie de interfase; los esfuerzos de Investigación y Desarrollo se enfocan en perfeccionar esta área de superficie.

Los Ultracapacitores están siendo desarrollan como una energía primaria del dispositivo para la potencia de ayuda durante la aceleración y ascenso de colinas, así como también la recuperación, de la energía de frenado. Son también potencialmente útiles como dispositivos secundarios de almacenaje de energía en un VEH, proveyendo nivelación de carga de potencia a baterías químicas. La Investigación y el Desarrollo pretenden crear ultracapacitores con capacidades de 5 watts - hora por kilogramo y 1,000 watts por kilogramo.

Actualmente se desarrollan métodos para balancear las baterías térmica y eléctricamente, desarrollo preciso de técnicas para determinar el estado de carga de baterías, desarrollo de uso de tolerancias en las mismas, y el reciclaje son técnicas de cambio adicional.

El ácido utilizado en las baterías, usado actualmente en muchos VE, son potencialmente utilizados en aplicaciones híbridas. Este ácido puede ser diseñado para dar alta potencia y son baratos, seguros y confiables. No obstante, la baja energía específica, mal desempeño a bajas temperaturas, y corto ciclo de vida son impedimentos de su uso. El avance de alta potencia en baterías de ácido comienza a desarrollarse para aplicaciones en VEH.

Aunque las baterías de níquel-cadmio, usadas en productos electrónicos de consumo, tienen alta energía específica y mejor ciclo de vida que las baterías de ácido, no dan suficiente potencia, por lo cual no son consideradas en aplicaciones para VEH.

Las baterías híbridas Níquel-metal usadas comúnmente en computadoras y equipo médico, ofrecen energía específica razonable y capacidades de potencia específica. Sus componentes son reciclables. Las baterías híbridas Níquel-metal tienen un gran ciclo de vida en comparación con las baterías de ácido y son seguras y de gran tolerancia. Estas baterías son usadas en producción de VE y recientemente en un bajo volumen de producción de VEH. Los principales cambios en las baterías de Níquel-metal son sus altos costos, alta descarga y generación de calor a altas temperaturas, la necesidad de control de pérdidas de hidrógeno, y su baja eficiencia de celda.

Los principales parámetros técnicos de las baterías, desde el punto de vista de su aplicación en los VE, son:

- la energía específica
- la potencia específica
- el ciclo de vida y,
- el costo.

La energía específica es la cantidad de watts-hora de electricidad que la batería puede almacenar por kilogramo de masa para un índice específico de descarga.

El cálculo práctico del valor de energía específica de una batería se ve afectado por varios factores que disminuyen grandemente los valores teóricos. La construcción de la batería requiere de materiales como son soportes, colectores, recipientes y el mismo cuerpo de la batería, que incrementan el peso, pero que no participan en la reacción de producción de la electricidad. Estos factores limitan el valor de la energía específica de una batería de plomo-ácido a aproximadamente 35 Wh-kg cuando el valor teórico máximo es de 170 Wh-kg (figura 2.2).

### 2.2.4.3 Consorcio de Estados Unidos de Baterías Avanzadas (USABC).

USABC es una asociación colaborativa que incluye General Motors, Ford y Chrysler; el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), el Instituto para la Investigación de la Energía Eléctrica (EPRI) de los Estados Unidos y las compañías eléctricas: Pacific Gas and Electric Company, Southern California Edison Company, Public Service Electric and Gas Company, Southern Company, y Empire State Electric Energy Research Corporation. El DOE proporciona la mitad de los fondos y las empresas el resto. USABC ha desarrollado tecnologías de baterías a medio termino (p.e. níquel metal-hidrido) para los últimos años de los 90 y baterías a largo termino para el 2003.

## 2.3 CONFIGURACIÓN DEL VEH

Son posibles muchas configuraciones para VEH. Esencialmente un híbrido combina un sistema de almacenamiento de energía, una unidad de poder y un sistema de propulsión del vehículo. Las opciones primarias de almacén de energía incluyen baterías, ultracapacitores y volantes de inercia.

Aunque las baterías son la alternativas más común de almacenamiento de energía, existe una gran búsqueda de diferentes alternativas. Las unidades de poder híbridas son ignición por chispa, motor de inyección directa del motor de ignición por compresión, turbinas de gas y celdas de combustible. La propulsión puede generarse por el motor eléctrico, como en una configuración en serie o el motor pudiera proveer potencia mecánica directa al sistema de propulsión del vehículo en una configuración en paralelo. Hay varias opciones de transmisión en los VEH que se pueden usar eficientemente.

La eficiencia de un híbrido y las emisiones dependen de la combinación particular de subsistemas y de su integración como un sistema completo y la estrategia de control de tales subsistemas.

### 2.3.1 Configuración en serie

Un VEH con una configuración en serie (Figura 2.3) usa el motor de combustión como un generador que produce electricidad para la batería y el motor eléctrico. El vehículo eléctrico híbrido en serie (VEHS) no tiene conexión mecánica entre la unidad de poder híbrida y las ruedas. En éste, la potencia motriz es transformada de energía química a energía mecánica y eléctrica, regresando a energía mecánica para conducir las ruedas. Se encuentran algunos beneficios de esta configuración:

- El motor no pierde tiempos, lo cual reduce las emisiones del vehiculo.
- El motor utiliza un generador al trabajar en óptimo funcionamiento.
- El diseño permite una variedad de opciones cuando se arma la máquina.
- Algunos híbridos en serie no necesitan transmisión.



El soporte bajo que requiere un VEHS es más largo, por lo cual, las baterías son mas pesadas que las de los vehículos en paralelo. En suma, el MCI trabaja constantemente para mantener cargadas las baterías.

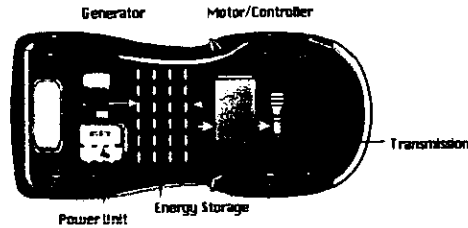


Figura 2.3 Configuración en serie de un híbrido

### 2.3.2 Configuración en paralelo

Un VEH con una configuración en paralelo (Figura 2.4) tiene una conexión mecánica directa entre la unidad de poder híbrida (HPU) y las ruedas como un VC, pero también tiene un motor eléctrico que conduce las ruedas. Por ejemplo, un vehículo eléctrico híbrido en paralelo (VEHP) podría usar la potencia creada del motor de combustión interna para conducir en carretera y la potencia del motor eléctrico para acelerar. Algunos beneficios de la configuración en paralelo son:

- El vehículo tiene más potencia porque ambos, el motor de combustión interna y el motor eléctrico suministran potencia simultáneamente.
- Los vehículos paralelos no necesitan un generador separado porque el motor alimenta las baterías.
- La potencia es cedida en el momento de la demanda, lo cual lo hace más eficiente.

Una combinación alternador-volante de inercia es considerada como un VEHP. Estos, esencialmente cuentan con una máquina eléctrica que puede balancear electrónicamente la máquina, ya que realiza el arranque del motor y le da la potencia necesaria para su desplazamiento, lo regresan como electricidad por la función de alternador. También podría proveer potencia extra el manejar en pendiente o suministrar una pronta aceleración.

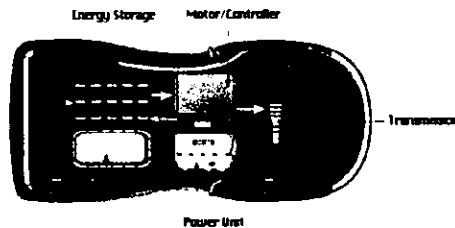


Figura 2.4 Configuración en paralelo de un híbrido

Aun cuando la realización de un sistema de FC como generador de corriente es complejo, su principio de operación resulta ser relativamente simple. Para operar una celda de combustible, se requieren los siguientes elementos:

- Un electrodo para el combustible (ánodo)
- Un electrodo como oxidante (cátodo)
- Un conductor iónico
- Un conductor eléctrico exterior

Todas las FC tienen el mismo principio de operación básico. Un combustible de aporte es catalíticamente reaccionado (los electrones removidos desde los elementos de combustible) dentro de ella para crear una corriente eléctrica. Las FC consisten de un material de electrolito que es intercalado en dos electrodos delgados (ánodo y cátodo). El combustible aportado pasa sobre el ánodo (y oxígeno sobre el cátodo) donde catalíticamente es dividido en iones y electrones. Los electrones van mediante un circuito externo, mientras los iones se mueven mediante el electrolito hacia el electrodo de carga contraria. En el electrodo, los iones se combinan para crear subproductos, primariamente agua y CO<sub>2</sub> dependiendo del electrolito y del combustible de aporte, donde ocurrirán diferentes reacciones químicas. En teoría, cualquier sustancia capaz de sufrir una oxidación puede ser usada como combustible. Similarmente, cualquier sustancia puede ser usada como oxidante, por lo general se utiliza el oxígeno obtenido del aire.

Las FC poseen características especiales con respecto a otros sistemas. Estas características son consideradas beneficios en contribución a los requerimientos de operación de dicho sistema. Estos, incluyen factores importantes en su desempeño que lo hacen un poco ideal y confiable, por mencionar algunos están, la corrección del factor de potencia, rápida respuesta a la carga de salida, es posible controlar la potencia real y la potencia reactiva de manera simultánea, y finalmente se tiene un control total en la línea de distribución de voltaje, así como también en la frecuencia. Todos estos aspectos positivos dan como resultado el minimizar pérdidas en la transmisión eléctrica, reduciendo así la necesidad de equipo especial como capacitores, transformadores y reguladores de voltaje.

### **2.5.2 Características de los sistemas de FC.**

Las FC combinan hidrógeno y oxígeno para generar electricidad. El subproducto de este proceso es el agua en un 98% aproximadamente. La obtención del hidrógeno en las FC es a partir de metano como principal combustible y otras fuentes como gas natural (metano), etano, gas butano y propano. El aire proporciona el oxígeno.

Existen tres métodos comunes de procesamiento de combustibles para crear el hidrógeno requerido por las FC.

- Subsistemas de procesamiento de combustible o reformador, es un sistema que involucra la generación de vapor de agua en reacción con combustibles de baja cantidad de hidrocarburos.

El exceso de calor en la FC se quita por medio de los platos de carbono que contienen canales fríos en algunas celdas. El aire o un líquido refrigerante, tal como agua, poder ser pasado a través de estos canales para quitar calor excesivo.

#### \* Reacciones que ocurren en la PAFC

En el ánodo, el hidrógeno se divide en dos iones de hidrógeno (+H), que pasan a través del electrolito al cátodo, y dos electrones que pasan mediante el circuito externo (carga eléctrica) al cátodo. En el cátodo, el hidrógeno, los electrones y el oxígeno se combinan para formar agua.

#### \* Características de Desempeño de la PAFC

Los diseños de la planta de poder muestran eficiencias eléctricas en un rango desde 36% a 42%. Los diseños más altos en eficiencia operan con reactantes presurizados. La eficiencia más alta de diseño presurizado requiere más componentes y probablemente costo más altos. Las plantas de poder abastecen la energía térmica útil a una eficiencia de 37% a 41%. Una porción de la energía térmica puede abastecerse a temperaturas de 250°F (121°C) a 300°F (149°C). Sin embargo, la mayor energía térmica se abastece a 150°F (65°C). La PAFC tiene una densidad de potencia de 160 a 175 Watts/ft<sup>2</sup> de área activa de la celda

#### 2.5.3.2 Celdas de Combustible de Carbonato Fundido

Las Celdas de Combustible de Carbonato Fundido (MCFC) evolucionaron desde 1960 dirigidas a producir una FC que operaría directamente sobre el carbono. No obstante esta operación directa sobre el carbono parece hoy menos probable, siendo viable la operación en combustibles gaseosos derivados del carbono o el gas natural.

Estas FC prometen altas eficiencias combustible-electricidad y la habilidad para consumir combustibles a base de carbono. La primera pila de carbonato fundido a gran escala fue probada en California en 1996.

#### \* Diseño y Operación de la MCFC

La MCFC usa una mezcla de sal de carbonato fundido como su electrolito. La composición del electrolito varía, pero comúnmente consiste de carbonato de litio y carbonato de potasio. A una temperatura de operación sobre 1200°F (650°C), la mezcla de sal es líquida y un buen conductor de iones. El electrolito se suspende en una matriz cerámica porosa, aislada y químicamente inerte (LiA102).

El nivel de capacidad de la FC y la eficiencia eléctrica es determinada por el voltaje a que la FC es operada. Así, una PAFC, y MCFC, o una PEFC que opera a 0.7 V/celda trabajará a la misma eficiencia de capacidad. La PEFC tiene la ventaja que, a una eficiencia determinada de capacidad (voltaje de celda), la PEFC entregará más corriente y así más energía para un determinado tamaño de FC. De forma equivalentemente, la PEFC puede proveer el mismo poder, a una eficiencia determinada de capacidad, desde una batería pequeña y menos costosa.

Cuando los combustibles de hidrocarburo o el aire son usados como oxidante, la temperatura más alta en las FC, la MCFC, la SOFC, y la PAFC, tiene una ventaja de eficiencia sobre la PEFC al nivel de sistema. La temperatura más alta de estos sistemas puede ser usada para manejar un compresor de aire, para ayudar en la regeneración de combustibles de hidrocarburo, y, en el caso de la MCFC y SOFC, para producir vapor para la generación térmica de electricidad u otra carga térmica.

La PEFC puede operarse usando aire o líquido enfriado. Para las aplicaciones que requieren un generador compacto de poder, el líquido enfriado será el método de elección. Este también será el caso si el calor es excesivo.

Además del hidrógeno puro, la PEFC puede operar también sobre el combustible de hidrocarburo reformado sin la remoción o recirculación del subproducto CO<sub>2</sub>.

La PEFC puede operar en el aire. Como es cierto con todas las FC, el desempeño es mejorado por la presurización del aire. En cualquier aplicación, habrá un balance comparativo entre la energía y costo financiero asociado con comprimir aire a presiones altas y el desempeño mejorado. Las presiones arriba de 45 psia no son probables para ser ventajosas para la mayoría de las aplicaciones.

Ya que la PEFC usa un electrolito sólido, una diferencia importante de presión puede mantenerse a través del electrolito. Esto permite la operación de la PEFC con bajas presiones de combustible y altas presiones de aire, para perfeccionar el desempeño.

La PEFC usa platino en el ánodo y el cátodo. Al término del programa de la NASA las cargas típicas de platino fueron sobre 0.001 onz./in<sup>2</sup> para cada electrodo. El desempeño de celda obtenido representó una falla de costo muy importante frente al PAFC.

Con el desempeño actual de las unidades de producción de la PEFC, que son de 0.001 onz./in<sup>2</sup>, los requerimientos de platino estarían sobre 0.60 onz./kW para la operación en hidrógeno y aire. Las reducciones importantes en la carga de platino son posibles. El trabajo en Los Alamos National Laboratory y Texas A&M University han mostrado técnicas para reducir el platino a 0.00007 onz./in<sup>2</sup>

### 2.6.1.1 Estados Unidos y Canadá.

Los "tres grandes" fabricantes de autos junto con otras pequeñas compañías independientes están trabajando en Celdas de Combustible.

#### ➤ **Chrysler**

Chrysler ha contratado a Delphi Automotive Systems para desarrollar un sistema para automoviles a base de FC. Delphi ha puesto una orden de compra por \$4 millones de dólares con Ballard Power Systems para las FC que se usarán en el sistema.

A principios de 1997, Chrysler presentó un modelo a escala real de un vehículo movido a base de un sistema de FC que podría emplear gasolina. El sistema de las FC emplea un reformador del combustible, desarrollado por Arthur D. Little Inc., el cual convierte gasolina y otros combustibles líquidos en hidrógeno "a bordo". Chrysler está también trabajando con la industria del petróleo.

#### ➤ **Ford Motor Corporation.**

Ford ha establecido su programa P2000 para producir un sedán familiar ligero altamente avanzado. El concepto del automóvil P2000 actuará como plataforma para varios sistemas motores avanzados incluyendo FC. Ford ha trabajado con Ballard, International Cells y con Mechanical Technology Incorporated en este proyecto.

En diciembre de 1997, Ford anunció que traerá su tecnología de autos eléctricos junto con \$420 millones de dólares, a una nueva alianza internacional de vehículos provistos con FC junto con Ballard y Daimler-Benz. Cuando todos los arreglos de efectivo y valores hayan sido completados, tres compañías habrán de surgir. Ballard será el propietario mayoritario de la compañía que suministre las FC. Daimler-Benz será dueño mayoritario de la compañía que desarrolle los sistemas de motores empleando FC y Ford será el principal propietario de una compañía que desarrolle los sistemas de transporte eléctrico.

#### ➤ **General Motors**

GM está trabajando con Delphi y Ballard para desarrollar motores a FC. En enero de 1998, GM mostró un modelo avanzado de un sistema de tren de potencia alimentado por FC y "listo para producción" en el año 2004.

Actualmente GM se encuentra probando la posibilidad de integrar un procesador de combustible – el cual extraería hidrógeno de metanol – con un motor a FC de un vehículo. El motor híbrido con celda de combustible diseñado por el EV-1, sería alimentado de metanol, alcanzaría un nivel de emisiones de casi cero y tendría un rango de alcance de 300 millas y una economía de combustible de 80 mpg.

➤ **Ballard Power Systems**

Ballard es el proveedor líder de FC de membrana de intercambio protónico (PEM) para aplicaciones de transporte. Esta compañía ha recibido pedidos de fabricantes de autos de todo el mundo y se encuentra desarrollando motores a FC comerciales junto con Ford y Daimler-Benz.

El primer vehículo de demostración "real" que empleó tecnología moderna de FC fue un autobús de 32 pies lanzado en 1993 por Ballard. Un autobús de segunda generación Ballard se encuentra bajo pruebas ya en las calles en Canadá y los Estados Unidos. La ciudad de Chicago en Illinois se encuentra operando 3 de estos vehículos en campo. (Figura 2.6)

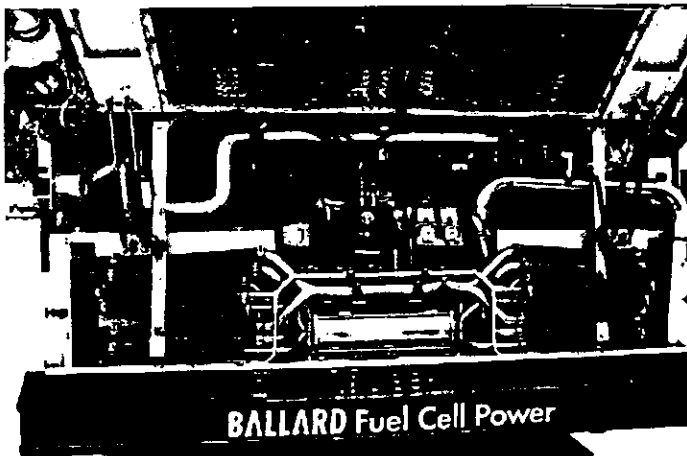


Figura 2.6 Celda de combustible Ballard

➤ **Energy Partners**

Energy Partners ha anunciado el primer auto para pasajeros movido por FC, un auto deportivo llamado "el auto verde".

Energy Partners se ha unido a John Deere Corporation en un proyecto para desarrollar vehículos a FC de usos múltiples basado en el vehículo de Deere llamado "Gator". En octubre de 1997 los vehículos comenzaron a hacer demostraciones en el aeropuerto Regional de Palm Springs transportando primordialmente personal, equipo de mantenimiento y cargas pequeñas dentro de las instalaciones del aeropuerto.

➤ **Universidad de Georgetown**

La Universidad de Georgetown está trabajando con Ballard, International Fuel Cells, con los fabricantes de autobuses NOVABUS y otros bajo contrato con el Departamento de Transporte de Estados Unidos para desarrollar autobuses tamaño "natural" energizados con FC tipo PEM y PAFCs. Georgetown ha

conseguido realizar la primera demostración en Estados Unidos. Entregó 3 autobuses al comienzo de 1991 impulsados por celdas de combustible de ácido fosfórico bajo contrato con el Departamento de Energía de los Estados Unidos.

➤ **H-Power**

H-Power fué el integrador del sistema usado en el programa original de Georgetown y el Departamento de Energía y ahora hace celdas de combustible tipo PEM para una variedad de aplicaciones en automóviles especiales.

➤ **International Fuel Cells**

International Fuel Cells (IFC) ha hecho demostraciones de manera muy exitosa con un sistema a base de celdas de combustible tipo PEM de 50kW usando hidrógeno más aire del ambiente. El sistema es altamente compacto, unos 9 pies cúbicos de espacio, y será muy apropiado para automóviles.

IFC está también trabajando para desarrollar una celda de combustible PAFC de 100kW para un autobús.

➤ **Plug Power, L.L.C.**

Plug Power, L.L.C. es una inversión conjunta entre un subsidiario de DTE Enrgy Co., y el Mechanical Technology Inc. De Latham, Nueva York. Junto con Arthur D. Little Inc., y Los Alamos National Laboratory, Plug Power ha demostrado exitosamente una FC en operación empleando un producto reformado de gasolina.

Este grupo se encuentra ahora concentrado en integrar este sistema a un vehículo. Dicho sistema se espera sea el doble de eficiente que un motor a gasolina de combustión interna con alrededor de 90% menos emisiones.

### 2.6.1.2 Europa

➤ **Daimler-Benz**

Daimler-Benz ha estado probando en campo una FC desde 1993 declarando que las barreras fundamentales para su comercialización han sido superadas. Daimler dió a conocer, en mayo de 1996, su vehículo a base de FCE de segunda-generación, un vehículo tipo van llamado NECAR II.

En octubre de 1997, Daimler dió a conocer NECAR III, un vehiculo alimentado con metanol para su celda de combustible.

Daimler-Benz y Ballard anunciaron su asociación en abril 1997. Las dos compañías han comprometido más de \$450 millones de dólares canadienses en el trato. Una nueva compañía de motores, financiada por este acuerdo, pondrá al mercado celdas de combustible y motores a FC.

Daimler-Benz dió a conocer un autobús en mayo de 1997 movido por FC que opera con hidrógeno almacenado y tiene un rango de 250 km (unas 155 mi). Este autobús se encuentra probándose en campo en Stuttgart, Alemania.

Daimler ha comprometido \$725 millones de dólares en su participación junto con Ballard para investigación en FC que usan metanol como combustible. Estas compañías planean producir unos 100,000 motores al año para el 2003-2004.

➤ **De Nora S.p.A.**

El grupo italiano de investigación De Nora S.p.A. se encuentra trabajando con celdas de combustible PEM para autobuses y aplicaciones marinas. Esta compañía se encuentra en la etapa de completar un diseño avanzado de celda de combustible PEM para el programa de autobuses de la Comunidad Europea y está cooperando con Renault en un proyecto de un automóvil a FC.

➤ **Peugot/Citroen**

Peugot/Citroen está involucrado en un programa de investigación conjunto europeo de celdas de combustible tipo PEM para reducir tanto el peso de este sistema como sus costos.

➤ **Renault**

Una co-inversión franco-sueco-italiana ha dado como resultado un concepto de vehículo a FC basado en un vagón tipo Renault. El vehículo FEVER (llamado así por sus siglas en inglés "Fuel Cell Electric Vehicle for Efficiency and Range") es alimentado por un sistema de celda de combustible tipo PEM que utiliza hidrógeno líquido almacenado, y una batería níquel-hidruro metálico como almacén de energía de respaldo. Su rango será de 500 km (310 mi).

➤ **Volkswagen/Volvo**

En un proyecto conjunto, Volkswagen y Volvo han anunciado sus planes para tener en funcionamiento en el 202 un auto tipo "Golf" híbrido a base de una celda de combustible PEM alimentada con metanol.

### 2.6.1.3 Asia

➤ **Honda**

En febrero de 1997, el subsidiario de Honda para investigación y desarrollo firmó un contrato por \$2 millones de dólares canadienses con Ballard para que éste le provea FC y equipo de medición relacionado con éstas.

➤ **Mazda**

En diciembre de 1997, Mazda anunció que había desarrollado un auto a base de FC basado en su auto compacto Demio. El auto desarrollado estará diseñado para alcanzar una velocidad máxima de 90 km/h (54 mph) y un rango de 170 km (102 millas) con un tanque de hidrógeno lleno.



➤ **Nissan**

Nissan comenzó a probar autos con FC a principio de los noventas. En 1991 la compañía compró a Ballard una Fc para pruebas. En marzo del mismo año Nissan arregló un contrato por \$2.2 millones de dólares canadienses con Ballard para que lo abasteciera de FC para investigación y prueba en automóviles.

➤ **Toyota**

En octubre de 1996, Toyota mostró la conclusión de un vehículo a FC de pre-producción basado en su vehículo deportivo RAV4L. El auto corrió abastecido de hidrógeno almacenado a bordo en forma de hidrógeno sólido, en un "tanque" de una aleación capaz de absorber hidrógeno desarrollada por Toyota. Para la aceleración Toyota usa un sistema híbrido basado en baterías.

Un año más tarde, Toyota reveló una nueva versión de su FCEV alimentado con metanol. Este auto es operado con una celda de combustible tipo PEM empleando un reformador de combustible y tiene un rango con tanque lleno de 500 km (310 mi).

Un ejecutivo de Toyota dijo que el enfoque de la compañía sería sobre hidrógeno ó metanol como combustibles para sus vehículos, siendo metanol la opción preferida ya que la infraestructura existente para gasolina podría ser fácilmente modificada para la distribución de metanol.

**2.6.2 Beneficios ofrecidos por el Uso de FC**

**Limpias y Eficientes:** Las FC podrían reducir de manera dramática la contaminación del aire urbano, reducir importaciones en los países que así obtienen este energético, reducir el déficit comercial y generar empleos.

El Departamento de Energía de los E.U.A. proyecta que si tan sólo un 10% de los autos de este país fueran movidos por celdas de combustibles, los contaminantes (bajo regulación) del aire serían reducidos un millón de toneladas al año y que 60 millones de toneladas de dióxido de carbono (uno de los gases causantes del efecto invernadero) serían completamente eliminados. DOE proyecta que el mismo número de autos a celda de combustible reducirían unos 800,000 barriles diarios de las importaciones de petróleo – alrededor de 13% del total de importaciones.

**Nuevos Mercados:** Los mercados para FC aplicadas a la generación de potencia podrían exceder \$3 billones de dólares alrededor del mundo para el año 2000 de acuerdo a un estudio reciente de Arthur D. Little Inc.

- Tan sólo una unidad porcentual del mercado total de vehículos (450,000 vehículos) en el mundo significaría otros \$2 billones dólares ó más.
- Otro estudio reciente proyectó una demanda global de Celdas de Combustible para el año 2007 de \$9 billones dólares.

## CAPITULO 3 PROGRAMA ADVISOR Y SU FUNCIONAMIENTO

### 3.1 GENERALIDADES

#### 3.1.1 Definiciones

**ADVISOR, ADvanced VehIcle SIMulatoR** o Simulador de Vehículos Avanzado es un software constituido por archivos de modelos, datos y textos para ser usados con Matlab y Simulink. Se diseñó por NREL para realizar análisis rápidos del desempeño y economía de combustible de vehículos eléctricos VE, híbridos VEH y convencionales VC.

Este programa proporciona vía de escala para una simulación detallada y análisis de los componentes del tren motriz definido por el usuario, un punto de partida para la verificación de los datos y algoritmos a partir de los cuales se puede aprovechar la flexibilidad del modelado del Simulink y el poder analítico del Matlab.

#### 3.1.2 Capacidades

Con ADVISOR se puede:

- Estimar el rendimiento de combustible de vehículos aún no fabricados
- Entender cómo los vehículos eléctricos, híbridos y convencionales usan la energía a través de su tren motriz.
- Comparar las emisiones producidas en diversos ciclos de manejo
- Evaluar la Lógica del Control del convertidor de energía del vehículo híbrido.
- Optimizar la relación de engranaje de la transmisión para minimizar el gasto de combustible y maximizar la eficiencia

Los modelos en ADVISOR son:

- Principalmente empíricos, basados en relaciones entrada-salida de los componentes del tren motriz medidos en el laboratorio y de comportamiento quasi-estático, es decir, se usan datos de comportamiento de pruebas de estado estable las cuales son corregidas por efectos transitorios tales como la inercia rotacional de los componentes del tren motriz.

En general, el usuario realiza la simulación en dos pasos:

1. Se define el vehículo usando o estimando datos de los componentes del mismo.
2. Se establece un comportamiento de la velocidad contra el tiempo conjuntamente con la pendiente del camino que el vehículo debe seguir.

Con esto, ADVISOR pone al vehículo en sus pasos, asegurándose de que cumple los ciclos de la mejor manera haciendo posible medir cada torque, velocidad, voltaje, corriente y potencia al pasar de un componente a otro.

### 3.3.3 Tren motriz en paralelo

Los componentes de vehículo en paralelo incluyen un motor térmico, las baterías y el motor eléctrico. A este arreglo se le llama paralelo por que ambos motores pueden proporcionar fuerza para mover el vehículo. El motor eléctrico puede actuar como generador al momento de frenar y cargar las baterías. La estrategia de control tiene la impulsión eléctrica por omisión. La transmisión es una de 5 velocidades por omisión. Se considera como elemento accesorio una carga eléctrica constante. (Figura 3.3)

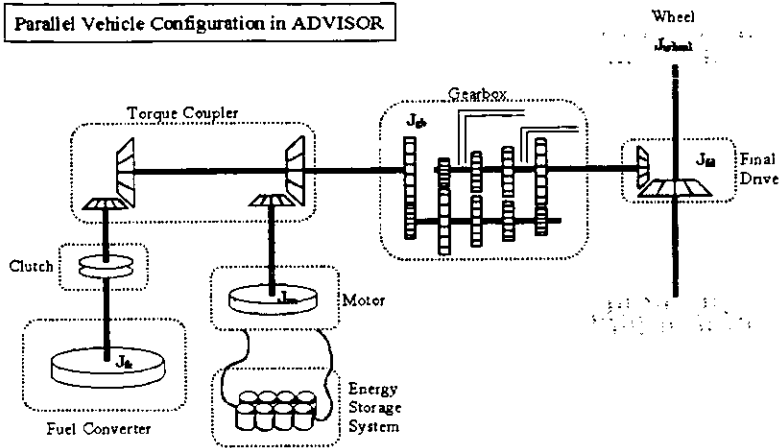


Figura 3.3 Configuración de un Vehículo en Paralelo en ADVISOR

### 3.3.4 Arrancador/Alternador en Paralelo

El vehículo de este arreglo incluye el motor térmico, las baterías y el motor eléctrico. Este arreglo recibe este nombre ya que el motor eléctrico hace las veces de arrancador (starter) y de alternador (alternator). Esto permite paros continuos y arranques continuos del motor térmico. La diferencia básica con el anterior es la localización del embrague. El embrague se coloca entre la caja de cambios y el acoplador de torca en éste, mientras que en el paralelo típico el embrague se ubica entre el acoplador de torca y el motor eléctrico.

Esto significa que si el vehículo se mueve y el embrague está activado, las flechas de los dos motores están girando. La estrategia de control considera movimiento por el motor eléctrico. Se proporciona una caja de cambios de 5 velocidades. Como accesorios se tiene una carga eléctrica constante. (Figura 3.4)

Las flechas superiores, que alimentan de izquierda a derecha representan los requerimientos de PT y velocidad. El ciclo de manejo específico requiere una cierta velocidad. Cada bloque entre el ciclo de manejo y el proveedor de par, en este caso el ICE, realiza esta función, evalúa la entrada necesaria dada la salida solicitada. Se realiza todo esto considerando las pérdidas, las reducciones y multiplicaciones de velocidad y sus límites de eficiencia.

Al final de la línea, el ICE o convertidor de combustible usa su par de torsión y velocidad de salida requeridos para determinar cuánto par de torsión puede producir y su máxima velocidad. Después cada componente produce retroalimentación hacia la izquierda determina la salida necesaria conociendo la entrada proporcionada y las pérdidas mencionadas anteriormente. Finalmente el bloque del vehículo evalúa la velocidad actual necesaria dada la fuerza tractiva y la velocidad límite que él recibe y a su vez utiliza esta velocidad para calcular la aceleración para el siguiente intervalo de tiempo.

Y así el ciclo continúa a lo largo del desarrollo del ciclo de manejo seleccionado. A continuación se describe el par de torsión, la velocidad y la transformación de potencia desarrollada por los componentes de los diferentes modelos de tren motriz.

### **3.4.1 Convertidor de Combustible ( motor térmico) y el Escape**

#### **3.4.1.1 Motor Térmico de Combustión Interna**

*Papel que desempeña el subsistema en el vehículo.*

El modelo del Convertidor de Combustible simula una fuente de potencia para el vehículo. En el caso de un ICE, éste es un dispositivo que convierte el combustible en energía utilizable ( trabajo mecánico en una flecha ) para el tren de impulsión. Este puede ser incorporado en varias configuraciones de vehículos como el serie, paralelo y el convencional.

*Descripción de la forma del modelado.*

Dada una velocidad y PT solicitados que han sido calculados por otros submodelos, el modelo de convertidor de combustible determina el punto óptimo de operación del motor ICE para alcanzar los requerimientos tomando en cuenta las pérdidas por inercia y cargas accesorias. El módulo controlador del ICE no le permite funcionar fuera de los rangos normales de velocidad PT. El controlador también determinada velocidad permitida del motor si éste está embragado. Una vez que la velocidad y PT han sido determinados, estos valores se pasan a los demás modelos del vehículo. Estos valores también se utilizan para determinar el consumo de combustible y la producción de emisiones para cada intervalo de tiempo. Los valores del consumo de combustible y las emisiones producidas se almacenan en tablas relacionadas con la velocidad y el PT del convertidor de combustible.

Se han incorporado también factores de corrección por temperatura para escalar los valores de consumo de combustible y emisiones producidas.

### 3.4.1.2 Convertidor de Combustible con Celdas de Combustible.

Diagrama de bloques del convertidor de energía con FC

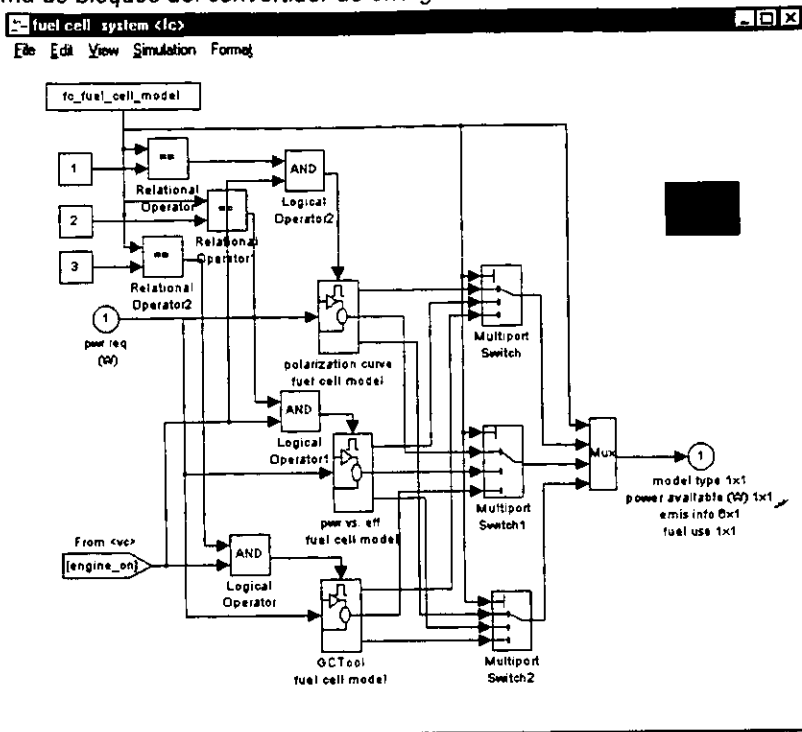


Diagrama 3.1

#### Papel que desempeña el subsistema en el vehículo.

El convertidor de combustible simula una fuente de energía para un vehículo. En el caso de las FC, éste es el dispositivo que convierte el combustible en energía usable (energía eléctrica) para el tren motriz. Así como se modeló es propio para ser usado en un vehículo en serie (Diagrama 3.1)

#### Descripción de la forma del modelado.

Dado un requerimiento de energía calculado por otros submodelos, el modelo del convertidor de combustible determina el punto de operación requerido por la FC para satisfacer los requerimientos tomando en cuenta las cargas accesorias

Una vez que se ha determinado la energía alcanzable, estos valores se retroalimentan al resto del modelo del vehículo. Estos valores también se utilizan para determinar el consumo de combustible para cada instante de tiempo. Luego estos valores se almacenan en tablas que relacionan estas variables con la potencia del convertidor de combustible. También se incorporan efectos de temperatura.

*Papel que desempeña el sistema en el vehículo*

El control del MT determina si éste debe estar encendido o apagado y a qué velocidad debe estar trabajando. Las señales que el control genera son usadas por el MT para determinar el gasto de combustible, el PT producido y la velocidad del cigüeñal necesaria (Diagrama 3.2).

*Descripción de la forma del control*

Existen dos aspectos manejados por el control del MT: El estado del MT prendido o apagado y la velocidad.

- El MT está encendido si la llave está puesta y el embrague está activado o si el embrague está desactivado y la máquina está en relanti.
- El MT está apagado si el switch está desconectado
- El commando de velocidad es idéntico al de la velocidad requerida a la entrada del embrague a menos que el vehículo esté a punto de iniciar la marcha. Si el embrague está desactivado y el vehículo no se está moviendo y si va a empezar el movimiento un instante después, el MT se revolucionará hasta determinadas rpm, según la variable `vc_launch_spd`. Pero no se revolucionará a más del valor indicado por la variable `vc_idle_spd`

**3.4.1.4 Estrategia de control con asistencia eléctrica en paralelo.**

*Papel que desempeña el subsistema en el vehículo.*

La estrategia del control para un vehículo en paralelo asistido eléctricamente usa el motor eléctrico para proporcionar energía adicional cuando es necesario para el vehículo y *mantener la carga de las baterías.*

*Descripción de la forma del modelado.*

La estrategia de asistencia en paralelo puede utilizar el motor eléctrico de diferentes formas:

1. El motor puede ser usado para todos los pares de torsión de conducción por debajo de cierta velocidad mínima del vehículo.
2. El motor es usado para proporcionar un par de torsión adicional si el PT requerido es mayor que el que puede producir el motor térmico a su velocidad de operación permitida.
3. El motor sirve para cargar las baterías por medio del frenado regenerativo.
4. Cuando el motor térmico pudiera trabajar ineficientemente para desarrollar el PT adicional a determinada velocidad, el motor térmico se apaga y el motor eléctrico produce el PT requerido.
5. Cuando el SOC de las baterías es bajo, el MT proporcionará un PT en adicional el cual puede ser usado por el ME para cargar las baterías.

### 3.4.1.4 Sistema de Escape

#### Diagrama de bloques del sistema de emisiones

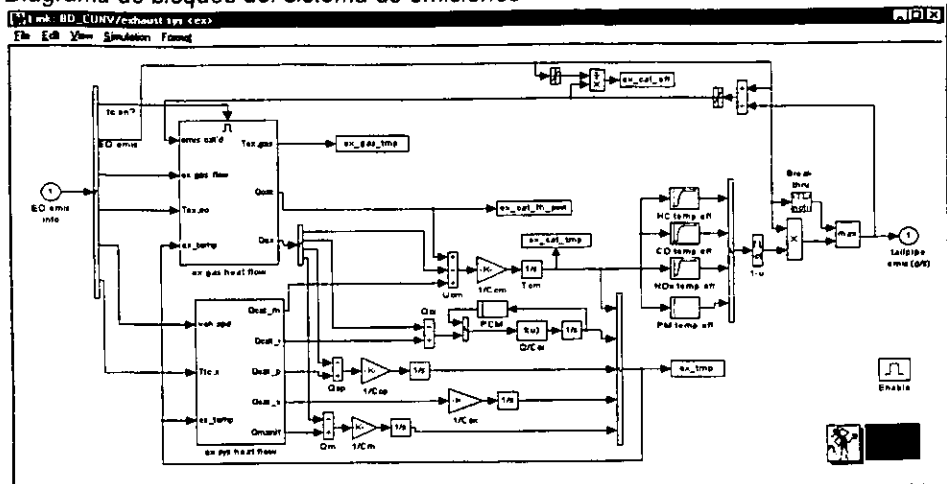


Diagrama 3.3

#### Papel que desempeña el subsistema en el vehículo

El modelo del sistema de emisiones simula la salida de emisiones después de haber sido tratadas por el convertidor de combustible. En el caso de ICE, éste se compone del múltiple de escape, el tubo de escape, convertidor catalítico y el silenciador (Diagrama 3.3).

Este se puede incorporar a varias configuraciones de vehículos como el serie, paralelo y los convencionales. La primera salida del modelo del sistema de emisiones son los gases del tubo de escape ( HC, CO, Nox, PM) en g/s como una función del tiempo. Otras salidas incluyen la temperatura de los diferentes componentes del sistema y la temperatura de los gases dentro y fuera de cada componente del sistema.

#### Descripción del procedimiento de modelado.

Las eficiencias de conversión catalítica como una función de la temperatura son almacenadas en forma de vectores. Adicionalmente se tiene un ajuste (decremento) de la eficiencia catalítica hecho a grandes velocidades de flujo (velocidades de cara) y un límite superior de descomposición en g/s de cada componente. Las emisiones de escape son un producto de las emisiones del convertidor de combustible y la eficiencia total del catalizador. La temperatura del catalizador se calcula utilizando un método de capacitancia. La capacidad másica y de flujo de calor se asignan no sólo considerando los principales componentes del convertidor ( monolito y carcasa exterior) sino también al múltiple de escape y al tubo de salida

Las correlaciones de la transferencia de calor se utilizan para estimar los coeficientes de transferencia por convección entre el gas caliente de salida y los componentes y de cada componente al medio ambiente. Las pérdidas por radiación al

ambiente también se consideran. Dentro del convertidor se estima el calor de la catalización basado en los g/s de cada componente de emisión (HC, CO, NOx, y PM) que es catalizado.

### **3.4.2 Componentes eléctricos.**

#### **3.4.2.1 Generador/controlador**

*Papel que desempeña el subsistema en el vehículo*

El bloque generador/controlador transforma la velocidad y el PT aportada, usualmente por el MT , a energía eléctrica aplicada normalmente al tren de potencia.

*Descripción del método de modelado.*

El modelo de generador/controlador incluye los efectos de las pérdidas en el generador y el controlador, inercia del generador, capacidad de PT del generador y PT dependiente de la velocidad del generador, y la corriente límite del generador. Las pérdidas de potencia se manejan como una tabla en 2D relacionadas con la velocidad y el PT del rotor. El PT máximo del generador se determina por medio de una tabla que lo relaciona con la velocidad del rotor. Esto limita la producción de energía eléctrica pero no lo retroalimenta con el proveedor del PT.

#### **3.4.2.2 Sistema de Almacenamiento de Energía.**

*Introducción.*

De todos los componentes de un vehículo híbrido, las baterías son el modelo más difícil de entender. Aunque las baterías parecen ser un simple dispositivo almacenador de energía, cuando éstas liberan o reciben energía, éstas desarrollan un proceso electro-químico dependiente de la temperatura que las hace difícil de modelar. Por lo cual, el comportamiento eléctrico de una batería es una función no lineal de una variedad de parámetros que varían constantemente.

Un comportamiento del modelo dinámico de una batería electroquímica es un compromiso que hay que cumplir cuando se trata de incluir todos los efectos relevantes para crear un modelo que se desempeñe adecuadamente en un tiempo razonable. El modelo de las baterías usado por ADVISOR está relacionado con el trabajo desarrollado originalmente por Idaho National Engineering Laboratory

*Papel que desempeña el Subsistema en el Vehículo*

El bloque del Sistema de Almacenamiento de Energía representa el paquete de baterías que almacena la energía. Este bloque acepta requerimientos de energía, usualmente del bus de energía, y responde con la potencia de salida disponible de las baterías, el voltaje y corriente de las baterías y el SOC. Por convención potencia positiva significa descarga.

*Descripción del procedimiento de modelado.*

El bloque del Sistema de Almacenamiento de Energía ESS modela el paquete de baterías como un reservorio de carga y un circuito equivalente cuyos parámetros



son función de la carga remanente en el reservorio. El circuito equivalente considera los parámetros de circuito del paquete de baterías como si fuera una fuente de voltaje de circuito perfectamente abierto en serie con una resistencia interna. La cantidad de carga que el ESS puede contener se toma como una constante y la batería es sometida a un límite de voltaje mínimo. La cantidad de energía que se requiere para recargar la batería después de una descarga es afectada por la eficiencia coulombica. La carga de la batería se ve limitada por el voltaje máximo de la propia batería. Mientras que la batería es tratada como una fuente de voltaje perfecta, con una resistencia conocida, los componentes a los cuales se podría conectar, tales como el ME y el generador son tratados como fuentes de potencia o sumideros. La potencia liberada por la batería se ve limitada por el máximo que el circuito equivalente puede liberar o el máximo que el motor o el controlador puede aceptar, dado su requerimiento mínimo de voltaje.

### **3.4.2.3 Motor / Controlador**

*Papel que desempeña el Subsistema en el Vehículo.*

El bloque del Motor/Controlador transforma los requerimientos de PT y velocidad en requerimientos de potencia eléctrica y convierte la entrada de potencia real en PT y velocidad de salida.

*Descripción del Procedimiento de modelado.*

El modelo del Motor/Controlador incluye los efectos de las pérdidas en el ME y el controlador, la inercia del rotor y la capacidad de torque del ME y el torque dependiente de la velocidad del ME

Las pérdidas se manejan en tablas de tipo 2D indexadas por la velocidad del rotor y el PT de salida. El PT máximo del ME es mostrado por medio de una tabla como función de la velocidad del rotor. Los bloques del control del ME fuera del motor/controlador asegura que la corriente máxima del controlador no es excedida y que el ME se desconecta cuando no es necesario. El PT disponible se evalúa a partir de la potencia disponible suponiendo que la razón del PT del rotor a la potencia de entrada (eléctrica) es la misma para la situación real/disponible así como fue evaluado por el requerimiento.

Esto es matemáticamente equivalente a suponer la eficiencia del motor/controlador.

### 3.4.3 La Transmisión

#### 3.4.3.1 Acoplador de PT

##### Diagrama de Bloques del acoplador del PT

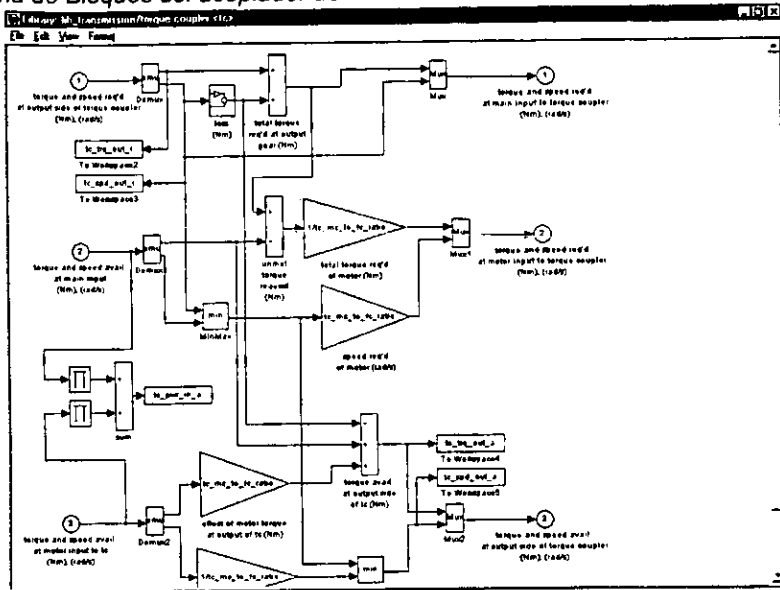


Diagrama 3.5

##### Papel que juega este submodelo en el vehículo

Físicamente un Acoplador de PT es un dispositivo constituido por una banda o cadena con tres poleas por medio del cual dos fuentes de PT combinan sus PT para proporcionar a algún componente del tren como la caja de cambios o algún dispositivo final la suma de los mismos. El diagrama de bloques de este dispositivo procesa un requerimiento de PT y velocidad desde un componente aguas abajo del tren motriz y lo informa a las dos fuentes de PT (Diagrama 3.5).

##### Descripción de la forma del modelado

Los efectos de pérdida de PT y la relación de engranajes del segundo de los dispositivos de PT de entrada y la salida se modelan aquí. La pérdida de PT es una constante siempre que el acoplador de PT esté girando.

El acoplador de PT primeramente solicita o requiere la suma del PT de salida y las pérdidas del primer generador de PT. Utilizando el PT real /disponible de la primera fuente, éste solicita el balance de la segunda fuente de PT. Las velocidades de los dos generadores de PT se igualan a la velocidad solicitada en la fecha de salida y la velocidad de la segunda fuente es mayor por un factor dado por la variable  $tc\_mc\_to\_fc\_ratio$ .

### 3.4.3.2 El Embrague

#### Diagrama de bloques del Embrague.

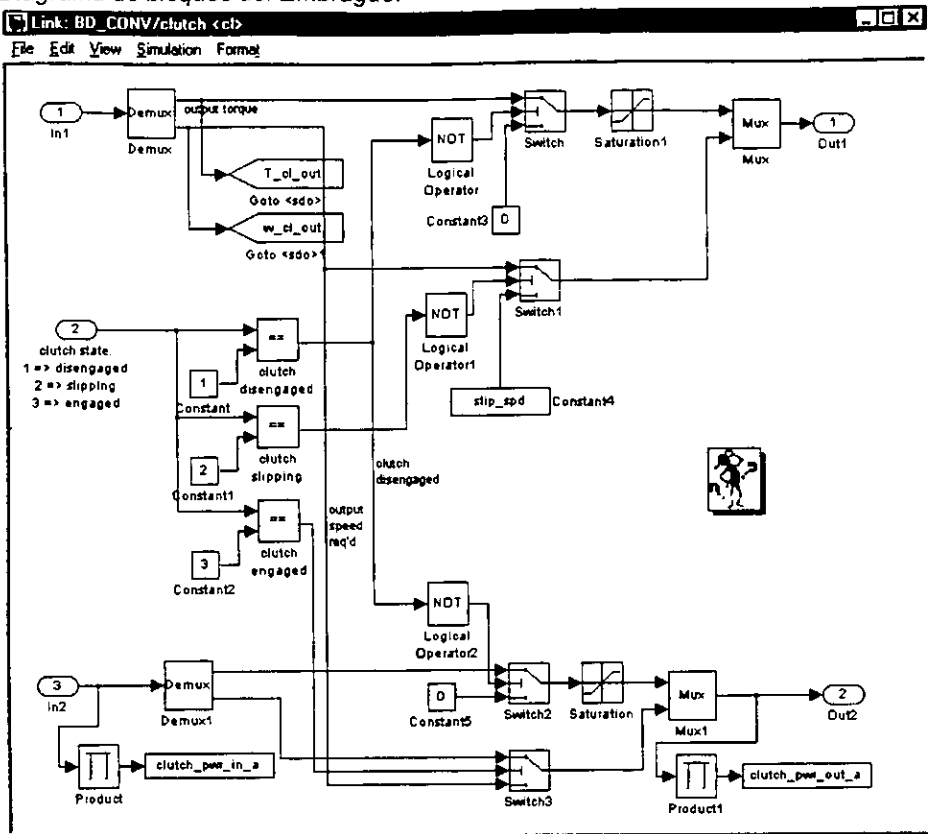


Diagrama 3.6

#### Papel que juega este subsistema en el vehículo.

El bloque del embrague generalmente transmite requerimientos de PT y velocidad desde la caja de engranes o en el caso de los híbridos en paralelo, con pre-transmisión, del convertidor de par hacia el convertidor de combustible o ICE. Este también transmite el par y la velocidad real desde el convertidor de combustible ICE en sentido contrario hacia la caja de cambios o el convertidor de PT. Este bloque es útil siempre que el control del vehículo necesita interrumpir la transmisión del PT de un componente a otro (Diagrama 3.6).

#### Descripción de la metodología del modelo.

El embrague tiene tres estados: desembragado, resbalamiento y totalmente embragado. Cuando está desembragado, el embrague no solicita ni transmite PT. Este solicita que la velocidad de entrada sea la misma que la velocidad de la salida

(requerida), y pasa la velocidad de salida solicitada como la velocidad de salida límite (real).

Cuando está en etapa de resbalamiento, se requiere que el PT de salida sea el mismo que el de entrada y pasa el PT de entrada real como el PT de salida real. Se requiere que la velocidad de entrada se predefina, velocidad de resbalamiento real, y pasa la velocidad de salida requerida como velocidad límite.

Cuando está embragado, se pasan el PT y la velocidad sin cambio tanto en los valores requerido y real.

### 3.4.3.3 Control de Embrague

Diagrama de Bloques del Control de Embrague.

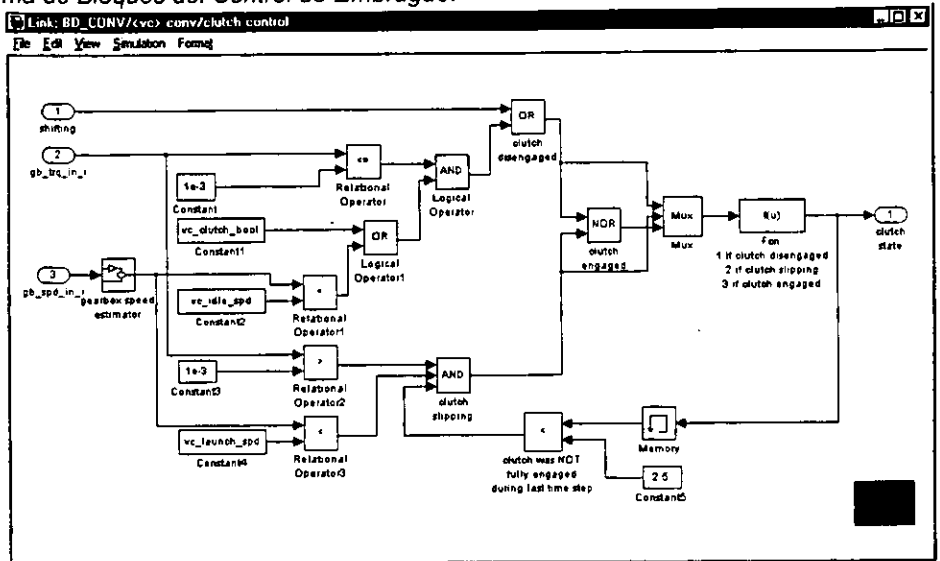


Diagrama 3.7

*Papel que juega este subsistema en el vehículo.*

El control del embrague determina si el embrague debe estar totalmente aplicado, desembragado o transmitiendo PT con resbalamiento mientras que los dos lados del mismo giran a diferentes velocidades (Diagrama 3.7).

*Descripción del Modelo.*

El estado del embrague depende de los requerimientos del tren motriz. De si:

1. Se está haciendo un cambio de velocidad hacia arriba o hacia abajo o
2. No se solicita PT del MT (positivo) y ( el conductor desembraga durante esa situación o la velocidad requerida del MT es menor que su velocidad en ralenti) entonces el embrague está desactivado.

Si:

1. Se tiene un requerimiento de PT del MT y
  2. La velocidad requerida del MT es menor que la de inicio de marcha y
  3. El embrague no se aplico totalmente en un instante anterior
- Entonces el embrague está resbalando (lo que significa que se le solicita al MT que opere a su velocidad de inicio de marcha).
- Si el embrague no está desactivado ni en etapa de resbalamiento, significa que está completamente activado.
- Si el embrague está siendo utilizado por un híbrido en paralelo y el MT está apagado, el embrague se desactiva sin importar las condiciones señaladas arriba.

### 3.4.3.4 La caja de Cambios

#### Diagrama de la Caja de Cambios

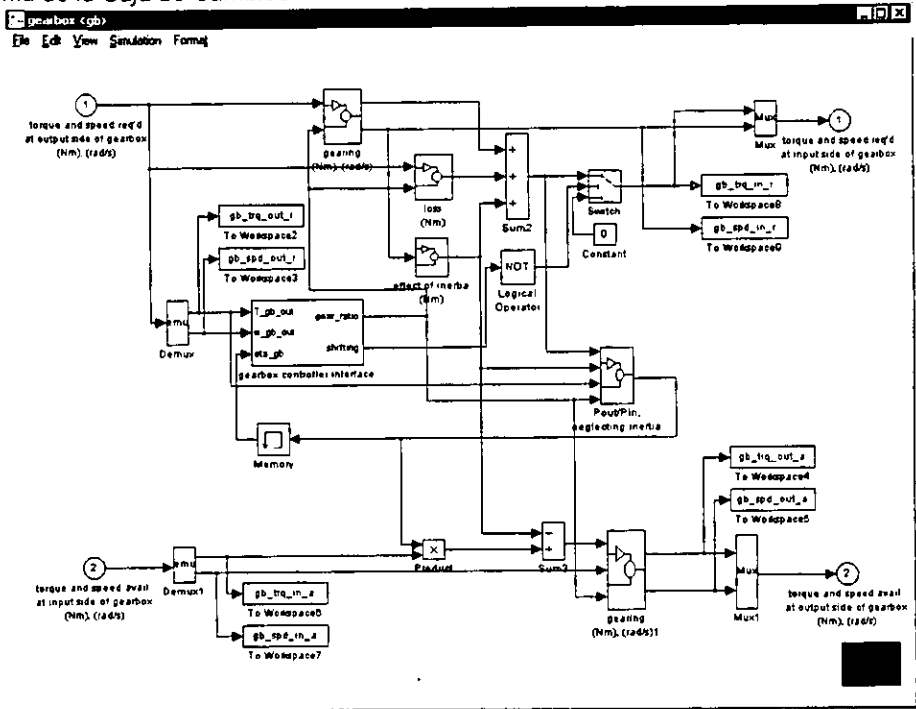


Diagrama 3.8

#### Papel que Desempeña en el Vehículo

La caja de Cambios de una transmisión de varias velocidades contiene los engranes para las diferentes relaciones que se utilizan para transmitir PT del MT o motor de tracción al actuador final y de ahí a las ruedas. Por medio de ella se pueden obtener diferentes reducciones de velocidad y multiplicaciones de PT en forma discreta. Su inclusión en el tren motriz es trascendental en los vehículos

convencionales y en los híbridos en paralelo y menos importante en los híbridos en serie (Diagrama 3.8).

*Descripción de la metodología del Modelo.*

El modelo de la Caja en ADVISOR usualmente comunica información física (PT, velocidad y potencia) hacia y desde el modelo del actuador final y el MT, convertidor de par y/o el modelo del ME. La información del control puede ser sensada o modificada por un CPU en el vehículo, tal como los engranes activos, y transmitida hacia y desde el submodelo de control de la transmisión.

*Los efectos sobre el PT y la velocidad en la Caja de Cambios incluye:*

- Multiplicación del PT y reducción de la velocidad por medio de la razón de engranajes.
- Pérdidas de PT debido a la aceleración de la inercia rotacional y
- Pérdidas de PT debidas a la fricción en los engranes.
- Estos efectos se modelan empíricamente. Los archivos de datos como el GB de Volsk Wagen requieren una alimentación de parámetros físicos.

*Papel de este subsistema en el Vehículo*

El diagrama de bloques del control genera un comando de razón de engranaje y lo transmite a la caja de cambios modelando un sistema que selecciona un engranaje basado en la carga del MT y la velocidad y provoca el cambio en los engranes de manera apropiada (hacia arriba, hacia abajo o lo deja en esa posición) sobre el engranaje actual.

**3.4.3.5 Convertidor de Par de Torsión Hidráulico CPTH**

*Papel de este subsistema en el vehículo*

El CPTH es un arreglo de turbina y bomba que transmite PT por medio del fluido que maneja.

En vehículos convencionales con transmisiones automáticas, el CPTH está localizado entre el MT y la caja de engranes. Su función es incrementar el PT de salida del MT y disminuir la velocidad de salida y también amortiguar las vibraciones. En el modelo de ADVISOR el CPTH acepta los requerimientos de PT y velocidad de la caja de engranes, hace solicitudes a su vez al MT, acepta el PT y la velocidad reales de MT ( los transforma ) y finalmente a la caja de engranes.

*Descripción de la metodología del modelo.*

El Backward Facing Torque Converter Model. En la figura 3.9 se observa una vista en corte y esquemática de un CPTH

**3.4.3.5 Transmisión Continuumemente Variable CVT**  
*Diagrama de Bloques del CVT*

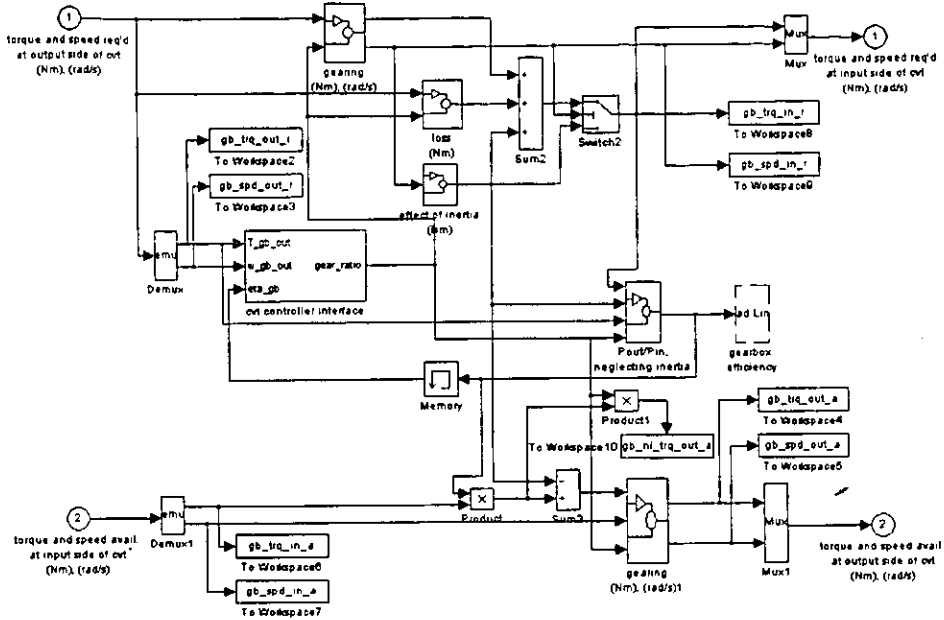


Diagrama 3.9

*Papel que juega el subsistema en el vehículo*

El CVT acepta PT del embrague u otro dispositivo colocado "pendiente arriba" y lo transmite al dispositivo conductor final después de sobrepasar sus propias pérdidas e incrementar el PT por medio de la relación de poleas (Diagrama 3.9).

*Descripción de la metodología del modelo*

El bloque del CVT interactúa con el controlador del propio CVT, el cual determina la relación de poleas real. Después el CVT utiliza esta relación de poleas para estimar el PT y la velocidad de entrada y en su momento utiliza éstos conjuntamente con la tabla de búsqueda para evaluar la eficiencia del CVT. Esta eficiencia es utilizada para evaluar las pérdidas de PT como se evaluaron en el lado de la entrada y el PT requerido para sobrepasar la inercia se toma también del lado de la entrada. Este orden de cálculos se aplica a la línea de datos de requerimientos. Para el brazo o rama de datos reales/disponibles, la razón de poleas y la eficiencia calculadas en la rama de datos de requerimientos se utiliza para desarrollar la multiplicación de PT y reducción de velocidad.

aportando la fuerza requerida para el frenado a través de cada línea de accionamiento, frenos delanteros y traseros.

### 3.4.4.2 El Vehículo

#### Diagrama de Bloques del Vehículo

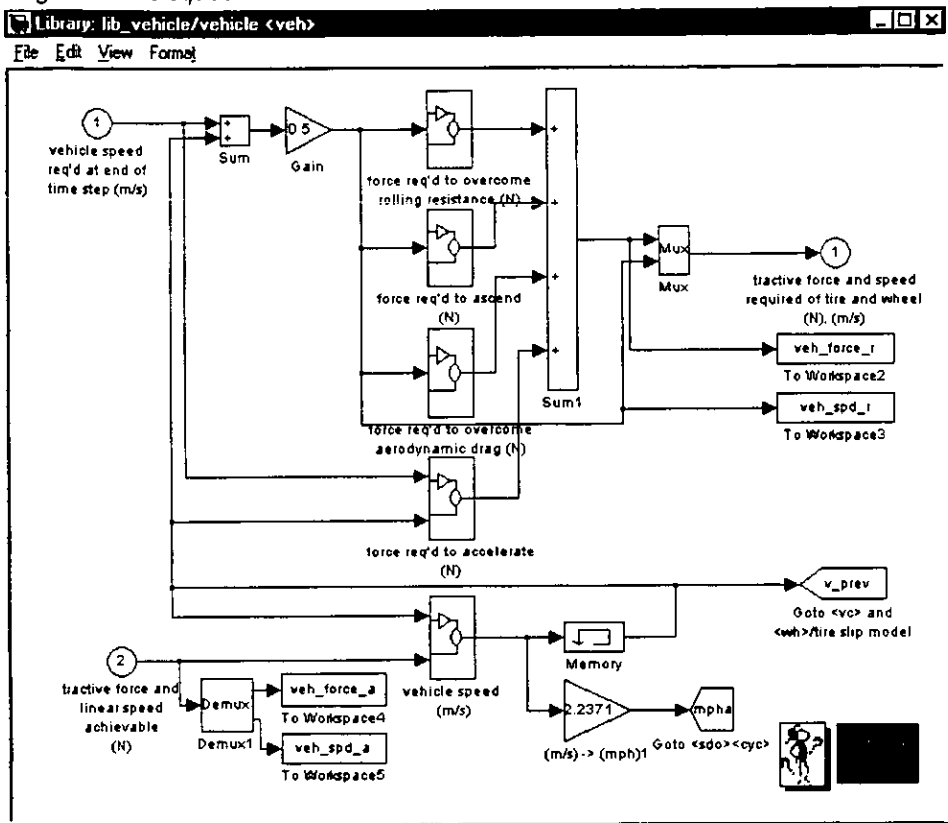


Diagrama 3.12

#### Papel que desempeña este subsistema en el vehículo

Los cálculos en el bloque del vehículo son representativos del balance de fuerzas en el área de las llantas. Dada una velocidad requerida al final del intervalo de tiempo, se requieren de la rueda la fuerza tractiva y la velocidad promedio solicitada en el intervalo de tiempo (Diagrama 3.12).

Y dada una fuerza tractiva y un límite de velocidad, se evalúa la velocidad real alcanzada.



3.4.4.4 Control de Freno alcanzable.

Diagrama de bloque del CF

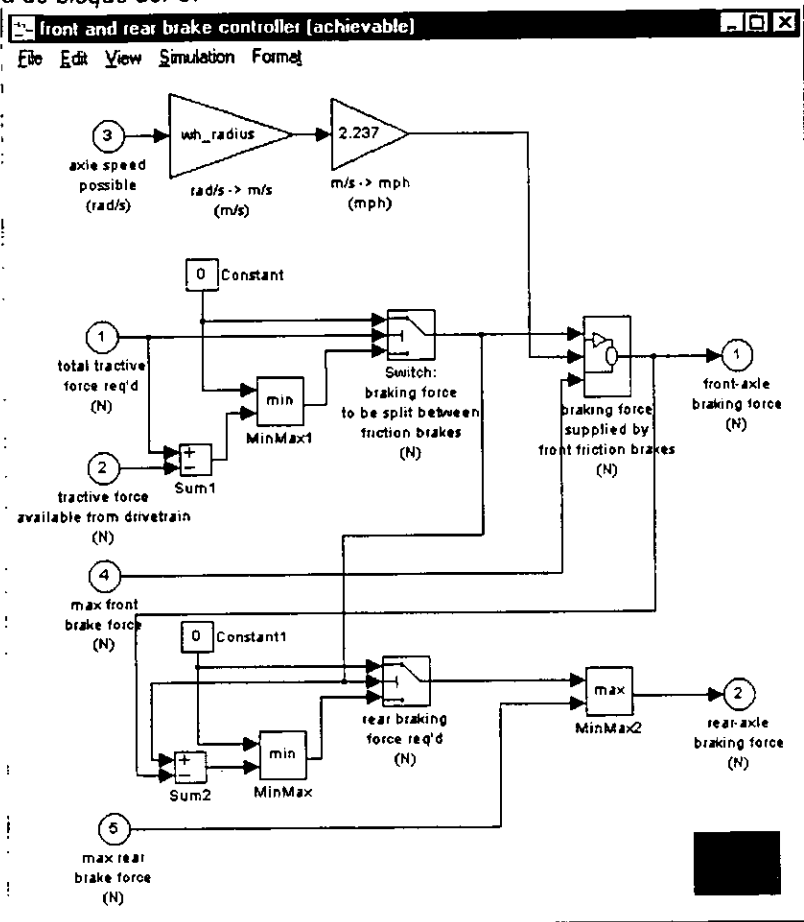


Diagrama 3.13

El bloque del CF alcanzable delantero y trasero determina cuánta fuerza de frenado será proporcionada por los frenos delanteros y traseros tomando en cuenta cuánta fuerza de frenado total se requiere y cuánta fuerza de frenado total es capaz de aplicar el tren motriz (Diagrama 3.13).

Descripción de la metodología del modelado.

La fracción de frenado realizada por los frenos delanteros se selecciona de tal manera que esa misma se considera como la total (la de todos los frenos de fricción y la línea de conducción) que se especifica y está sujeta a sus límites máximos de la fuerza de frenado. Los frenos de la parte trasera realizan el frenado restante requerido, hasta sus límites. Considerese el siguiente ejemplo hipotético: La estrategia dice que a

60 mph (96.5 km/hr), el 40 % debe ser realizado por el tren motriz, el 30% por los frenos delanteros y el otro 30% por los traseros. En un momento dado el tren motriz sólo es capaz de proporcionar el 20% del frenado total requerido, dejando el restante 80% a los frenos de fricción. Los frenos delanteros tratan de realizar la mitad del frenado restante, 40%, ya que se supone que ambos lados deben realizar la misma cantidad del frenado restante, pero éstos son capaces de realizar sólo el 25% dada la temperatura excesiva a la que operan, dejando entonces un 55% del frenado a los frenos traseros los cuales deberán proporcionar ese restante si tienen la capacidad. Todas las fuerzas son negativas por convención.

#### 3.4.4.5 Control de Frenado Requerido

##### *Papel de este subsistema en el vehículo*

El bloque de estrategia del frenado determina cuánta cantidad de fuerza de frenado se requiere tanto de los frenos delanteros como los traseros. El balance de la fuerza de tracción requerida se realizará por el tren motriz de la mejor manera de acuerdo a su habilidad para ello (Si la línea del actuador está limitada en su capacidad de frenado, lo harán los frenos trasero y delantero para compensar este déficit de acuerdo a su capacidad )

##### *Descripción de la metodología del modelado.*

La fuerza de frenado requerido es una función de la velocidad del vehículo y de la fuerza de frenado total requerida . La tabla A1D se usa para determinar la fuerza de frenado proporcionada por los frenos delanteros y traeros.

#### 3.4.4.6 Frenado Regenerativo.

El frenado regenerativo es el proceso mediante el cual parte de la energía cinética almacenada en la masa del vehículo que se traslada es almacenada en algún dispositivo durante las desaceleraciones. En la mayoría de los vehículos eléctricos e híbridos actuales esto se lleva a cabo haciendo que el ME trabaje como un generador, proporcionando un PT de frenado a las ruedas recargando al mismo tiempo las baterías. La energía proporcionada por el frenado regenerativo se puede usar posteriormente para la propulsión o para activar los accesorios del vehículo.

##### *Visión General*

Del total del PT de frenado requerido, X% será desarrollado por la línea de operación (ME, MT, transmisión) y el 100-X% se proporciona por los frenos de fricción. X se define como una función de la velocidad del vehículo por medio de las variables  $wh\_fa\_dl\_brake\_frac$  y  $wh\_fa\_dl\_brake\_mph$ . Por omisión, la línea de operación del frenado se utiliza menos a bajas velocidades que a altas. Entonces, del X% desarrollado por la línea de operación, la energía del freno regenerativo disponible menos las pérdidas de eficiencia de los componentes a través de los cuales la energía debe fluir ( esto es, la caja de engranes, el sistema ME/Controlador, sistema de almacenamiento de energía) es capturada por el sistema de almacenamiento de energía del vehículo (Figura 3.10).

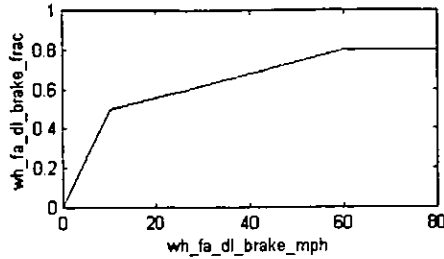


Figura 3.10

*Ejemplo*

Este ejemplo muestra cómo el bloque de control del freno de ADVISOR coopera con los modelos de los componentes de la "línea de operación " para modelar el evento del frenado regenerativo. En este ejemplo, un vehículo eléctrico desacelera desde 17.3 m/s (38.8 mph) hasta cero en 10s. La figura 3.11 muestra la velocidad y la fuerza tractiva requeridas

Para lograr la desaceleración requerida, la fuerza tractiva requerida es negativa. Esto indica la posibilidad de tener un frenado regenerativo.

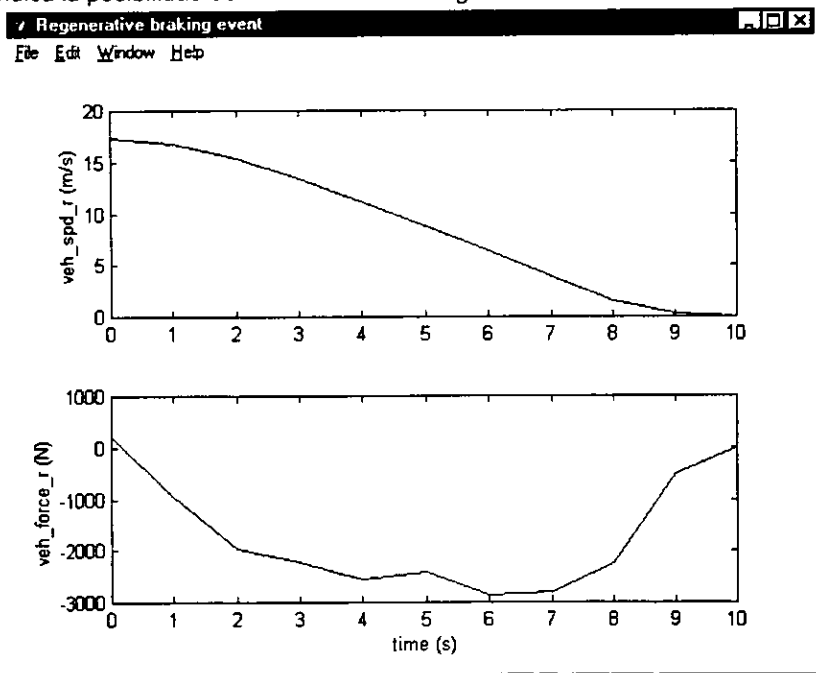


Figura 3.11

Los datos de la figura 3.11 fueron transferidos desde el bloque <veh al bloque de ruedas y eje <wh> cual en su momento intercambia datos con el bloque del control del freno. Este bloque usa la velocidad y la fuerza requeridas para determinar cuánta cantidad de frenado va a ser desarrollada por los frenos de fricción delanteros y traseros y la "línea de operación ". El frenado proporcionado por la línea de operación es un frenado regenerativo. Sin embargo, es necesario reconocer que no todo el frenado proporcionado por la línea de operación puede ser almacenado, es decir, aquel que va desde las ruedas y ejes, a través del tren motriz hasta el ME y finalmente hasta el sistema de almacenamiento de energía (usualmente baterías electroquímicas), esta energía de frenado constituye una pérdida.

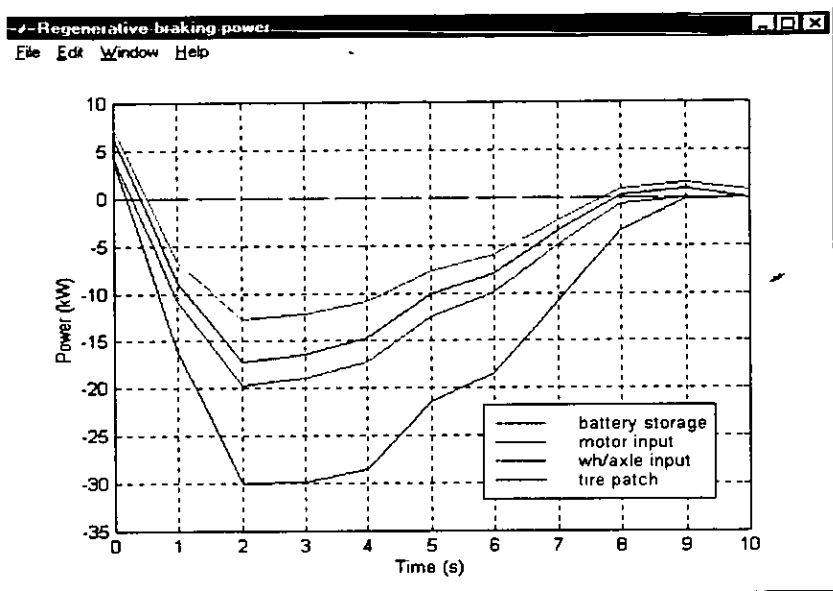


Figura 3.12

La figura 3.12 muestra que la energía del freno regenerativo requerida para el ensamble de rueda/eje, se ve reducida por las pérdidas en los componentes cuando se sigue el camino de regreso hacia arriba en la "línea de operación". A los 2s, la potencia de frenado requerida en el área de contacto de la llanta ( evaluada como  $veh\_spd\_r * veh\_force\_r$ ) es de 30 KW, mientras que la potencia de frenado donde el subsistema rueda/eje se interconecta con el operador final ( evaluado como la variable  $wh\_trq\_r * wh\_spd\_r$ ) es de 20 KW. 10 KW se consumen entre las pérdidas del eje y los frenos de fricción. En la transmisión y el SE, ME pierden otros 3 KW, tomando en cuenta la diferencia entre las curvas roja y negra en 2s. Otros 5 KW se pierden en el sistema de almacenamiento, dejando sólo alrededor de 12.5 KW para el almacena real.

**Medición del Efecto del Freno regenerativo.**

Spongamos que queremos ver cuánto mejora el rango de un VE en un esquema regenerativo en particular.

Primero se define el vehículo con el esquema regenerativo de frenado activado. (los datos relevantes son los datos del archivo de entrada VH\*.m) visto en la figura 3.13.

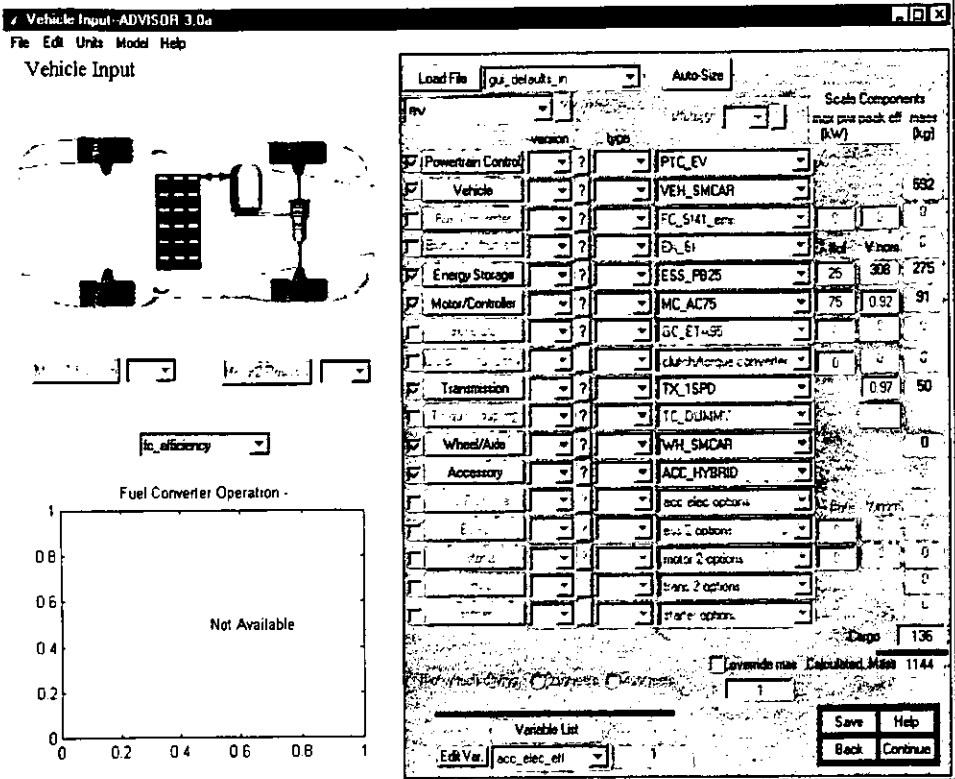


Figura 3.13

Posteriormente se corre el programa del vehículo en el ciclo CYC\_UDS., usando el establecimiento de parámetros de omisión, excepto para No de ciclos (# of cycles), el cual se establece en 5. Esto resulta en una distancia de 30.3 millas (48.7 km), como puede verse en la figura 3.14.

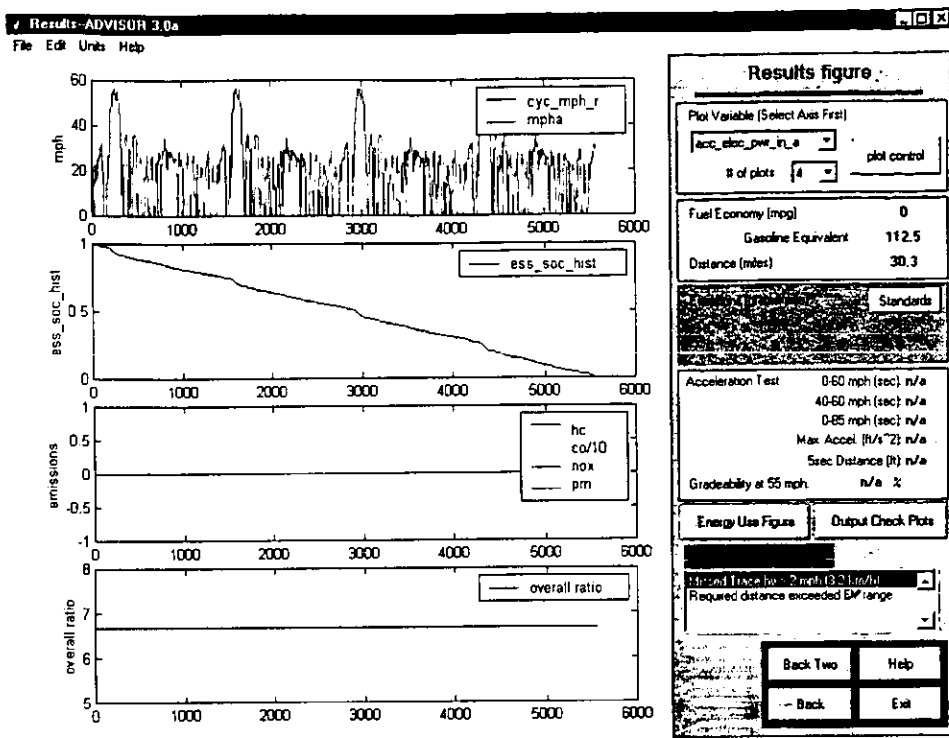


Figura 3.14

Ahora se pulsa el botón "Back Two" para ver nuevamente la pantalla de Definición del Vehículo. En el prompt de MATLAB se introduce la variable 'wh\_fa\_dl\_brake\_frac,'y MATLAB responde con la variable wh\_fa\_dl\_brake\_frac = 0 0 0.5000 0.8000 0.8000

Para remover todo el frenado regenerativo, se introduce wh\_fa\_dl\_brake\_frac=[0 0 0 0]; Se vuelve a correr el análisis usando la variable de ciclo using 5 x CYC\_UDDS, y se encuentra el nuevo rango que es de 26.8 millas (43 km).

### 3.4.5 Estrategias de Control Híbridas

#### 3.4.5.1 Estrategia de Control Tipo Termostato para el Híbrido en Serie

##### *Papel que juega el Subsistema en el Vehículo*

La estrategia del control tipo termostato del híbrido en serie usa al generador y al MT para generar energía eléctrica para el uso del vehículo.

- La potencia de salida del MT debe mantenerse por arriba de un valor mínimo preestablecido.
- La potencia de salida del MT debe mantenerse por debajo de un valor máximo. ( El cual es obligatorio a menos que el SOC llegue a ser muy bajo)
- La potencia de salida del MT no debe variar más rápidamente que un valor o tasa preestablecida.

### **3.4.5.3 Estrategia de Control para el vehículo Híbrido Paralelo Eléctricamente Asistido**

*Papel que desempeña este subsistema en el vehículo.*

La estrategia de control para el vehículo híbrido paralelo eléctricamente asistido usa el ME para tener potencia adicional cuando ésta sea requerida por el vehículo y para mantener la carga de las baterías.

*Descripción de la Metodología del Modelo.*

La estrategia del paralelo asistido puede usar un ME en gran variedad de formas:

1. El ME puede usarse para todos los PT de operación por debajo de cierta velocidad mínima del vehículo.
2. El SE ME usa para recibir asistencia de PT si el PT solicitado es mayor que el máximo que puede producir el MT a su velocidad de operación.
3. El ME carga las baterías por el frenado regenerativo
4. Cuando el MT pudiera trabajar de manera ineficiente, a un PT requerido a determinada velocidad, el MT podría apagarse y el ME produciría el PT requerido.
5. Cuando el SOC de las baterías es bajo, el MT proporciona el PT adicional que será usado por el ME para cargar las baterías.

## **3.5 RUTINAS DE ADVISOR**

### **3.5.1 Correcciones de SOC ( Estado de la carga)**

### **3.5.2 Autodimensionado**

El propósito de la función de autodimensionado es el de ayudar al usuario a generar un modelo de vehículo que alcance ciertos criterios de rendimiento. Esto se lleva a cabo ajustando el tamaño de los componentes y reevaluando los criterios de rendimiento hasta que se alcanzan todas las especificaciones. En ADVISOR se tienen presentes dos formas de esta función. La primera está basada en Matlab y usa el método de bisección y algo de lógica interior para determinar si el tamaño de los componentes es aceptable. El segundo usa el software VisualDOC de optimización para determinar el tamaño necesario de los componentes. La rutina de autodimensionado sólo proporciona una solución al problema de la optimización

Ninguna rutina de autodimensionado provee una solución simple al problema de optimización, por lo cual los resultados sólo se deben usar como una guía y no como un óptimo para todos los objetivos.

### Ventana de Configuración del Autodimensionado

Esta ventana se muestra en la figura 3.15. Esta interfaz permite ajustar una gran variedad de parámetros y define la manera de cómo se va a resolver el problema del autodimensionado

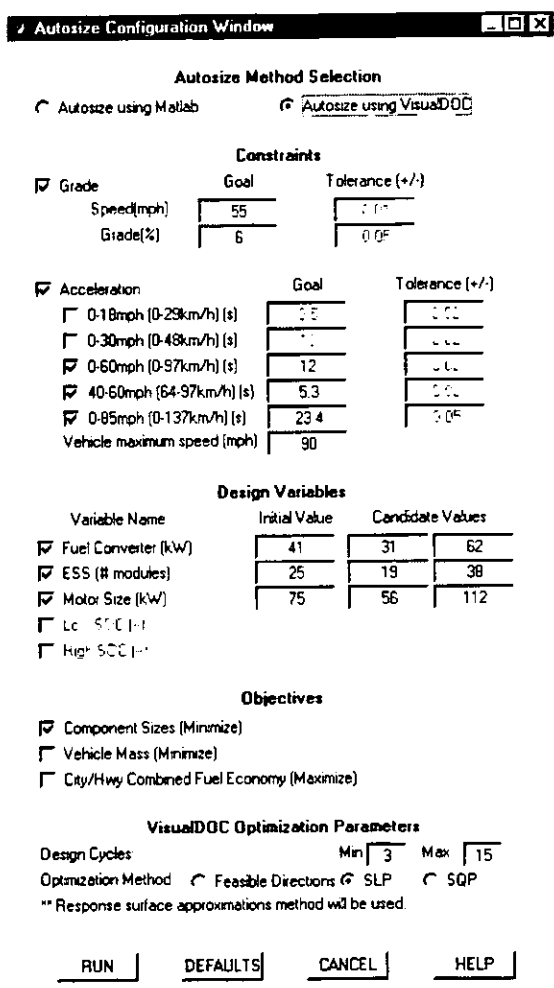


Figure 3.15: Ventana de Configuración de Autodimensionado

### Método de Selección de Autodimensionado

Por ausencia siempre se usa el Matlab como el operador. El uso de VisualDOC está restringido a la disposición de la licencia. En ADVISOR, el software proporcionado está limitado a 5 variables de diseño y 20 restricciones.



### *Restricciones*

Esta sección define las restricciones de rendimiento que pueden aplicarse al establecer el autodimensionado del vehículo. Estas incluyen el rendimiento a una pendiente constante, criterios de aceleración y la velocidad máxima del vehículo. La meta de una velocidad con determinada pendiente define la velocidad a la que el vehículo se espera que se mantenga indefinidamente sobre una pendiente predefinida. Las metas de aceleración definen los tiempos de aceleración que el vehículo debe alcanzar. Note que cualesquiera de estas restricciones puede desactivarse cuando se desea dimensionar el vehículo basándose en una sola restricción. La velocidad máxima del vehículo se usa para asegurar que se está seleccionando la relación de engranajes apropiada en el vehículo.

En la versión de autodimensionado de Matlab se le permite al usuario especificar la tolerancia de convergencia en las restricciones de pendiente y aceleración. Básicamente una tolerancia entre más pequeña forzará a esta rutina a continuar iterando en el problema por un intervalo de tiempo grande. Los valores dados por ausencia por lo general proporcionan una precisión en un tiempo aceptable. Cuando se usa el VisualDOC no es necesario dar la tolerancia. Los objetivos o metas en aceleración y pendiente son los dados por los criterios de omisión.

### *Variables de Diseño*

Las VD son variables que se van a ajustar por la rutina de autodimensionado. Dependiendo del tipo de vehículo y el método utilizado, se permite al usuario seleccionar el convertidor de combustible, el sistema de almacenamiento de energía, el controlador del motor eléctrico, el nivel alto y/o bajo del SOC

### **3.5.3 Prueba de Aceleración**

La rutina de Prueba de Aceleración en ADVISOR va a determinar el rendimiento de aceleración del vehículo bajo prueba. La rutina de prueba puede ser accesada desde la ventana del comando de Matlab o desde la de GUI.

### *Desde GUI*

La prueba de aceleración puede desarrollarse por medio de la ventana de establecimiento de la simulación. Aparece una ventana como la mostrada en la figura 3.16

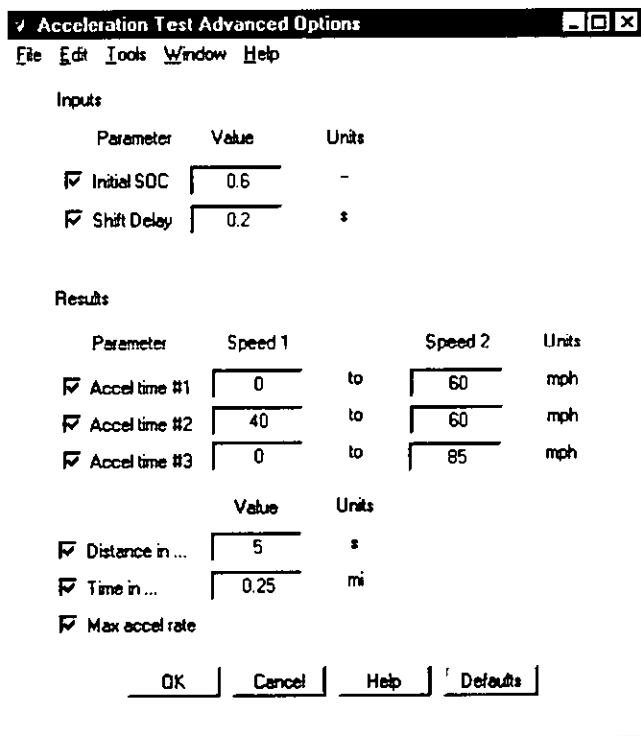


Figura 3.16

El estado inicial del SOC y el periodo de retraso son entrada que se usan para calcular el rendimiento de la aceleración. Los resultados se presentan en la forma de cambio en el tiempo para un cambio especificado de velocidad, distancia recorrida en un tiempo dado, tiempo para una distancia especificada y la tasa máxima de aceleración

Al seleccionar la caja de comprobación se corre la prueba de aceleración durante un ciclo de manejo. Los resultados aparecen en la ventana de resultados de Matlab command window. Los tiempos evaluados corresponden al tiempo necesario para alcanzar determinada velocidad 0-60, 40-60 y 0-85 mph

### Cómo Funciona

Primeramente la prueba de aceleración almacena un conjunto de variables del espacio de trabajo. Los valores reales de esas variables se seleccionan preferentemente para proporcionar un escenario de máximo esfuerzo para el vehículo. Por ejemplo, el parámetro `cs_charge_trq` se establece en 0 para los híbridos en paralelo con el objeto de desactivar alguna forma de recarga del sistema de almacenamiento de energía. Primero, la prueba de aceleración almacena variables del programa. Después se establece un requerimiento de la función de velocidad de

200mph al vehículo. El vehículo a su vez hace el requerimiento de tanta potencia y energía como se haya disponible esforzando a los componentes hasta su límite. Al final del ciclo, los tiempos de aceleración y otros parámetros se calculan a partir del trazo de la velocidad alcanzada por el vehículo y almacenados en el espacio de trabajo o en el GUI. Las variables almacenadas se restablecen a sus valores originales en el espacio de trabajo.

### 3.5.4 Prueba de Pendiente

La rutina de la prueba de pendiente en ADVISOR va a determinar la pendiente máxima en la cual el vehículo puede sostener una velocidad constante especificada. Esta rutina puede ser accesada desde Matlab o desde el GUI

*Desde el GUI*

La prueba de pendiente puede llevarse a cabo desde la ventana de establecimiento de la configuración. El usuario puede especificar los parámetros para la prueba en la ventana de pruebas avanzadas que se abre al seleccionar las opciones de pendiente. La prueba se puede correr con un ciclo de manejo (Figura 3.17).

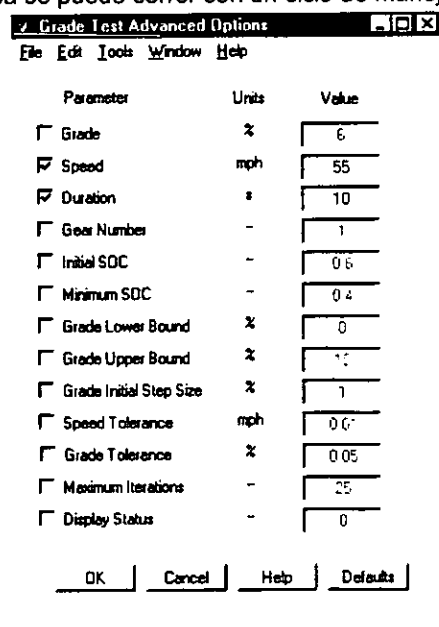


Figura 3.17

Los resultados se reportan en la ventana de resultados. Desde la ventana de Matlab se pueden introducir los datos de las variables con el siguiente formato:  
maximum grade = grade\_test(speed, grade, grade lower bound, grade upper bound)  
donde:

- speed – goal vehicle speed in mph (optional – default = 55)
- grade – goal grade in % (optional – default = 6)
- grade lower bound – lower bound of the test region (optional – default = 0)
- grade upper bound – upper bound of the test region (optional – default = 10)

Cuando el usuario especifica la pendiente y la velocidad, la de la prueba de pendiente sólo evalúa ese punto. Si el vehículo es capaz de mantener la velocidad indicada a la pendiente dada, sólo se indicará la pendiente, de lo contrario se tendrá una respuesta en blanco. Si sólo se especifica la velocidad por el usuario al realizar la prueba de pendiente, aparecerá como resultado la pendiente máxima e informará ese dato. Si no se proporciona ninguna entrada se tomará una velocidad por omisión de 55 mph y se procederá como si éste fuera el único dato proporcionado por el usuario.

#### *Funcionamiento*

Primeramente la prueba de pendiente almacena un conjunto de variables desde el espacio de trabajo. Los valores reales de esas variables se preseleccionan para proporcionar el escenario del peor caso para el vehículo. Por ejemplo, la variable `ess_init_soc` se pone en cero para vehículos híbridos con el objeto de desactivar el sistema de almacenamiento de energía. Luego se determina la relación mínima de engranaje que puede proporcionar la velocidad deseada. La relación usada por el vehículo para esta prueba se iguala a ese valor mínimo pero un valor arriba de él a menos que ésa sea la relación más alta en la caja de cambios. Esto asegura que el motor térmico no esté trabajando a su máxima velocidad con un PT bajo, sino a una velocidad moderada conjuntamente con un PT de valor alto. Este vehículo se simula durante 10 s a una velocidad constante. Inicialmente se supone que el vehículo viaja a la velocidad preestablecida como meta. Si al final del ciclo el vehículo está dentro del rango de tolerancia de la velocidad predeterminada, se dice que éste es capaz de sostener dicha velocidad indefinidamente manteniendo esa pendiente. Luego la pendiente se va ajustando hasta que se alcanza el valor máximo posible, a menos que el usuario haya especificado tanto la velocidad como la pendiente. Posteriormente esos valores se regresan a los que se tenían originalmente.

### 3.5.5 Objetivos Tecnológicos.

La base de datos de los componentes basados en objetivos tecnológicos en ADVISOR proporcionan al usuario la capacidad de crear y usar componentes en las simulaciones que están basados en especificaciones de esos componentes. En general un archivo de datos básico se puede seleccionar y los parámetros que definen a ese componente se dimensionan y ajustan para alcanzar las especificaciones definidas por el usuario. Los nuevos parámetros no se salvan en el archivo de la base de datos general, pero quedan grabados en otro archivo para su posible uso posterior.

#### 3.5.5.1 El convertidor de Combustible

El usuario puede definir las siguientes especificaciones.

Parámetro	Unidades	Valores típicos
Eficiencia Pico (IC engines only)	(%)	SI ~ 35, CI ~ 42
Eficiencia al 25% de la potencia ( sólo para celdas de combustible)	(%)	hydrogen ~ 50, reformed ~ 40
Potencia Especifica	(W/kg)	SI ~ 315, CI ~ 240

El valor de la eficiencia pico se usa para escalar el mapa de uso de combustible para producir la citada eficiencia pico, mientras que el valor de la potencia específica se usará para definir la masa del convertidor de combustible basada en su valor máximo de potencia actual.

### 3.5.5,2 Motor/controlador

El usuario puede definir las siguientes especificaciones.

Parámetro	Unidades	Valores Típicos
Eficiencia del 2 al 20 % del rango de potencia	(%)	85-90
Potencia Específica	(W/kg)	750

A todos los puntos en el rango de 2 al 20% de potencia del mapa de eficiencia del motor eléctrico se les asignará este valor de eficiencia. Este rango de valores de potencia ha sido escogido debido a su rango de operación típico de un motor/controlador apropiadamente dimensionado (por las especificaciones de rendimiento de pendiente y aceleración de la PNGV) en la operación de un vehículo sobre el programa de la UDS y la Federal Highway Drive Schedule. El valor específico de potencia será utilizado para definir la masa del motor/controlador basándose en su máximo valor de potencia actual.

### 3.5.5.3 Sistema de Almacenamiento de Energía.

El usuario puede definir las siguientes especificaciones

Parámetro	Unidades	Valores Típicos
Voltaje Nominal del Módulo	(V)	6-15
Voltaje mínimo de operación de Módulo	(V)	~ 75% de voltaje nominal
Estado de carga bajo	(--)	0.3-0.5
Estado de Carga Alto	(--)	0.6-0.9
Energía Específica	(Wh/kg)	9(potencia asistida), 60(modos dual)
Potencia para la Razón de Energía	(W/Wh)	20(modos dual), 100(potencia asistida)
Duración de la Descarga para el Cálculo de la Potencia	(s)	10-18
C/10 Capacidad de Energía	(Ah)	150(potencia asistida), 26 (modos dual)
12C Capacidad de Energía	(Ah)	50(potencia asistida), 12(modos dual)

El vector `ess_voc` se escala de tal manera que el voltaje principal sea igual al nominal definido por el usuario. Los valores de los parámetros de la capacidad de energía C/10 y la C/12 se usan entonces para generar el coeficiente y el exponente de la ecuación peukert usada en ADVISOR. La rutina entonces determina los valores de resistencia de descarga que satisfarán el resto de las especificaciones. La potencia en la razón de potencia a energía se calcula como  $P = V \cdot I$ , donde V e I son el voltaje y la

En cada prueba se corren los 4 ciclos. Estos son:

- 1.- Programa de Manejo Urbano con Dinamómetro UDDS
- 2.- Prueba de Economía de Combustible en autopista HWFET
- 3.- Ciclo de manejo US06( operación de alta velocidad, demandando aceleraciones)
- 4.- Ciclo de Manejo SC03 ( Carga de aire acondicionado adicional, si existe se usa aquí )

**J1711 Test Procedure Setup**

File Edit Help

### J1711 Test Procedure Setup

**Additional Vehicle Options (optional input)**

Off Vehicle Charge (OVC)

Air Conditioning Equipped Load (W)

Electric Vehicle mode-user selected (EV)

Conventional Engine Only mode-user selected (CV)

**Specify Initial State of Charge for Partial Charge Test (required input)**

FUDS	<input type="text" value="0.5"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Iterate to find initial SOC
HWFET	<input type="text" value="0.5"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Iterate to find initial SOC
US06	<input type="text" value="0.5"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Iterate to find initial SOC
SC03	<input type="text" value="0.5"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Iterate to find initial SOC

Help Back Run

Figura 3.18

Si se revisó la casilla para encontrar el valor inicial del SOC, entonces su valor inicial se ajustará hasta que el SOC final esté dentro de la tolerancia de  $\pm 0.5\%$

ciclo de preparación. Si no se revisa esta opción, la FTP correrá sin ciclo de preparación o ambientación si bajo condiciones de arranque en frío. Adicionalmente a la evaluación del consumo de combustible, emisiones y recorrido en millas durante el establecimiento de los ciclos, el usuario tiene la opción de graficar las variables en el tiempo. Estas se añaden por el usuario a la sección "Variables a Graficar" en la pantalla de configuración.

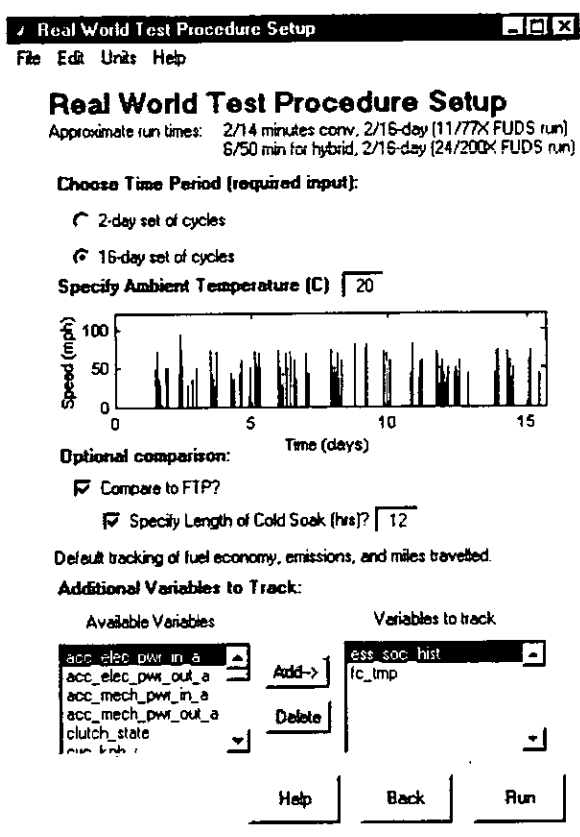


Figura 3.20

Las condiciones iniciales del vehículo se establecen en caliente, indicando que el vehículo ha terminado el recorrido. La primera ambientación es de 36 hs. La continuación promedio de los viajes es de entre 5 y 75 mph. En el ciclo de 2 días se corren 13 recorridos de ambientación/manejo. El ciclo total se muestra en la figura 3.21:



Figura 3.21

En el ciclo de 16 días se simulan 107 recorridos de ambientación/manejo (Figura 3.22).



Figura 3.22



### 3.5.7.2 Resultados

La pantalla de resultados de la Prueba de La Vida Real se muestra en la figura 3.23:

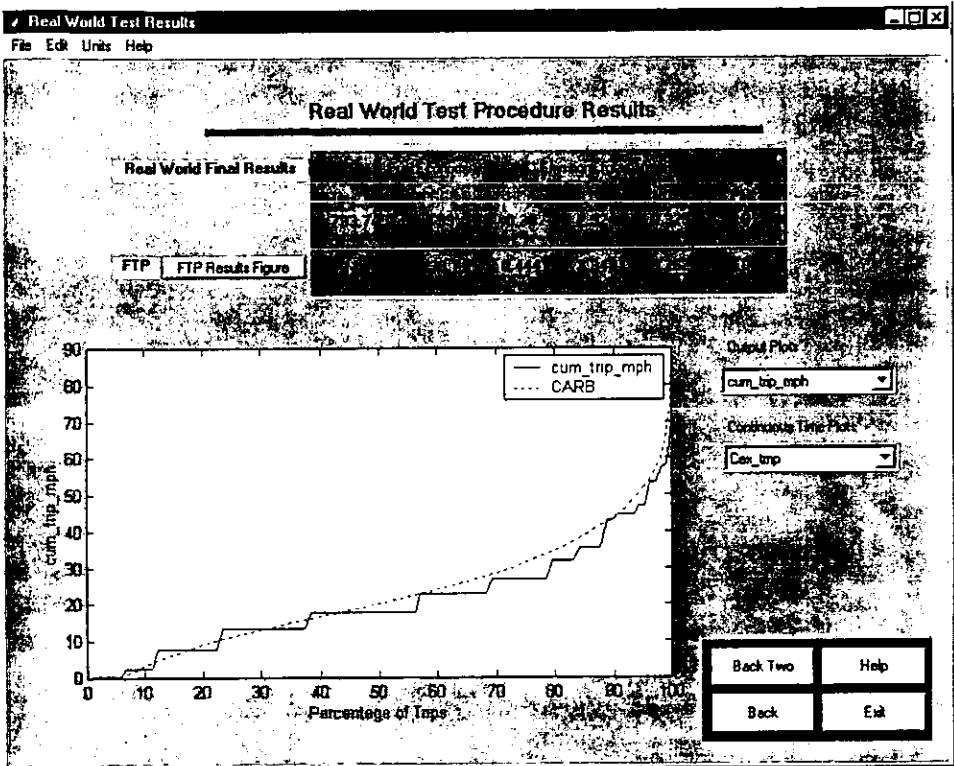


Figura 3.23

#### Resultados Finales de la Prueba de la Vida Real

Estos resultados finales son la distancia original, combustible equivalente para la razón economía de combustible/consumo y emisiones. Al activarse el botón de arranque de los resultados del FTP, aparece la pantalla de resultados de ADVISOR las gráficas en el tiempo del FTP.

### 3.5.7.3 Gráficas de Salida

Se dispone de 8 gráficas genéricas de salida:

1. cum\_soak\_dur: Duración de acondicionamiento Acumulativo, dado en horas. Una gráfica de comparación se puede construir con los datos a partir del CARB.  
cum\_trip\_mi/km: Millaje acumulativo de recorrido; en la figura 3.23, el 80% de los

- viajes fueron de aproximadamente 9 millas (14 km) o menos. Una gráfica de comparación se puede construir con los datos a partir del CARB.
2. cum\_trip\_mph/kph: Velocidad de Viaje Acumulativa con una comparación con el estudio de CARB
  3. cum\_starts\_perday: Arranques por día acumulativos, comparación con el estudio de CARB
  4. trip\_tot\_emis\_\*: Valores acumulativos de las cuatro emisiones dadas por viaje.

**Gráficas Continuas del Tiempo.**

Son las seleccionadas por el usuario en la pantalla de entrada. El nombre de la variable tiene una "C" agregada al inicio del nombre para indicar que es continua a lo largo de todo el ciclo de 2 o de 16 días. Nota para los vehículos híbridos: es usual acomodar el SOC para observar el valor final y compararlo con el valor estandard

**3.5.8 Procedimiento de prueba en Ciudad y en Autopista.**

**3.5.8.1 Descripción del Procedimiento de Prueba.**

El Procedimiento de prueba en Ciudad y en Autopista aplica un ciclo de arranque en frío FTP-75 y un ciclo de arranque en caliente HWFET. Con esto la ventana de resultados muestra los resultados del ciclo individual conjuntamente con la economía de combustible como se calcula con la siguiente ecuación:

$$1/((.55/MPG_{city})+(.45/MPG_{Hwy}))$$

**3.5.8.2 Resultados**

La pantalla de resultados de ciudad y autopista se pueden apreciar en una pantalla como la figura 3.24:

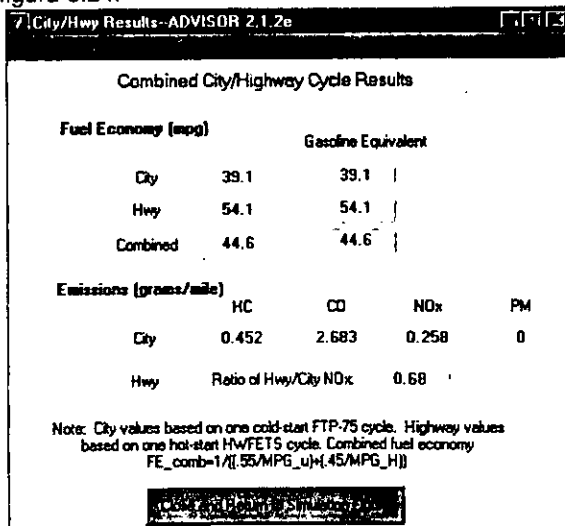


Figura 3.24

valor de entrada se restringe de tal manera que que no existan variables normalizadas negativas.

Las 12 mediciones y sus objetivos por omisión son como sigue:

1. Economía de combustible/consumo, objetivo: 80mpg (2.94 lp100km)
2. Economía de combustible equivalente en gasolina/consumo, objetivo: 80 mpg (2.94 lp100km)
3. Emisiones de HC, objetivo: : 0.125 gpm (0.078 gpkm)
4. Emisiones de CO, objetivo: 1.7 gpm (1.056 gpkm)
5. Emisiones de NOx, meta: 0.07 gpm (0.043 gpkm)
6. Emisiones PM, objetivo: 0.08 gpm (0.05 gpkm)
7. Tiempo para acelerar 0-60 mph (0-97 kph), objetivo: 12 sec
8. Tiempo para acelerar 0-85 mph (0-137 kph), objetivo: 23.4 sec
9. Tiempo para acelerar 40-60 mph (64-97 kph), objetivo: 5.3 sec
10. Aceleración máxima , objetivo : 16 ft/s<sup>2</sup> (4.9 m/s<sup>2</sup>)
11. Distancia recorrida en 5 seg., objetivo: 135 ft (41 m)
12. Pendiente, objetivo: 6%

Estos objetivos, o valores de entradas y salidas, pueden ser modificados por el usuario por medio de las ventanas de edición. Las gráficas de tipo araña despliegan los valores de la salida con la ventana de edición Max Disp (valores desplegados máximos). Esta puede ser ajustada en incrementos de 0.5.

## 3.6 FLUJO DE DATOS EN ADVISOR, DIAGRAMA DE BLOQUES

### 3.6.1 Panorama General

ADVISOR es un programa de simulación híbrido en el sentido de que hace la simulación avanzado hacia atrás componente por componente y también hacia delante.

El procedimiento "hacia atrás" responde a las preguntas " Asumiendo que el vehículo alcanza el trazo solicitado, ¿ Cómo se desempeña cada componente ?" Los programas de simulación como éste por lo general no incluyen un modelo del comportamiento humano del conductor y pueden predecir el máximo rendimiento sólo por iteraciones. En la simulación " hacia adelante" se incluye un modelo del conductor que trata de modular los comandos del acelerador y el freno para seguir el trazo programado. La señal del acelerador es convertida en PT el cual se transfiere a la línea de flujo hacia abajo la cual es finalmente convertida en fuerza la cual a su vez se divide entre la masa M y luego integrada para calcular la velocidad. Los programas de simulación de este tipo son excelentes para calcular el máximo rendimiento, aunque por otro lado son muy lentos en la realización de los cálculos del comportamiento del vehículo de alrededor de 10 minutos para el cálculo de un trazo completo.

ADVISOR usa este procedimiento híbrido que está muy relacionado con el procedimiento de "hacia atrás", donde cada componente proporciona tanto PT (o fuerza) como requiere el componente que le sigue inmediatamente hacia adelante

### 3.6.3 Detalles del Motor y su Controlador

#### Diagrama de bloques de Motor y su Controlador en ADVISOR.

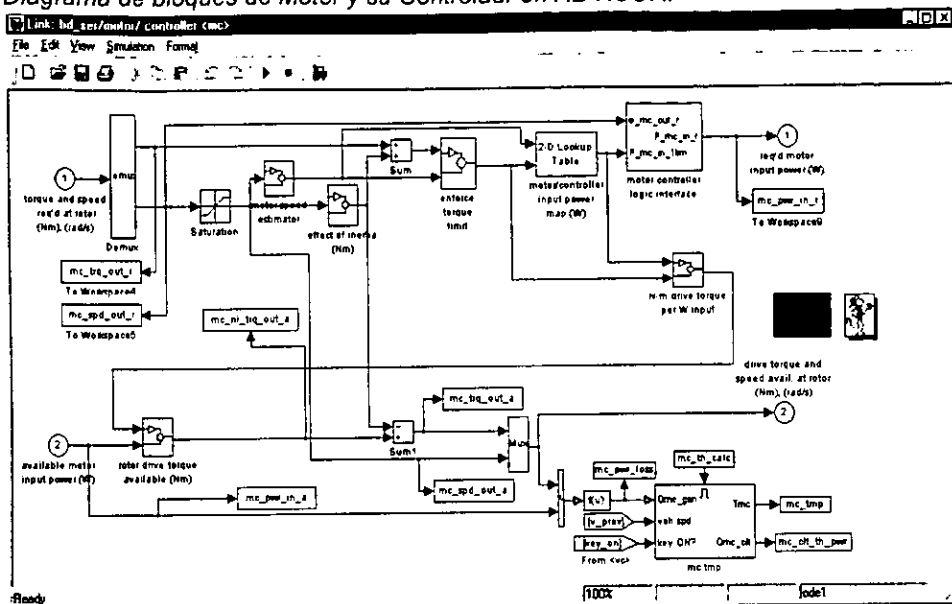


Diagrama 3.15

La mitad superior del modelo de ADVISOR para el motor y su controlador mostrado en el diagrama 3.15 está orientado a la simulación de la parte "hacia atrás". El PT y la velocidad de salida requeridos son la entrada en la esquina superior izquierda del diagrama 3.15 y la potencia requerida de entrada es la salida en la esquina superior derecha

Tres límites diferentes de rendimiento se impulsan en la parte "hacia atrás" del bloque "motor/controlador". La velocidad requerida se limita a la velocidad máxima del motor. El PT requerido se limita a la diferencia entre el PT máximo del motor a la velocidad límite y el PT requerido para compensar la inercia del rotor. El PT y la velocidad límite se usan entonces para interpolar en el mapa de entrada de potencia del motor y su controlador. Finalmente ese valor de la interpolación de la potencia de entrada se ve limitado por la máxima corriente que es capaz de manejar el controlador de motor. Este comportamiento se describe en las siguientes ecuaciones:

$$P_{motor,req} = \min(P_{motor,map}, I_{con,max} V_{bus,pre}) \quad (E'c 6)$$

$$P_{motor,map} = f(\tau_{motor,req}, \omega_{motor,req}) \quad (E'c 7)$$

donde

f es la relación funcional descrita por el mapa del motor,

$$\omega_{motor,req} = \min(\omega_{motor,req}, \omega_{motor,max}) \quad (E'c 8)$$

$$\tau_{mot,lim,req} = \min \left( f_1(\omega_{mot,lim,req}), \tau_{mot,req} + J_{mot} \left( \frac{\Delta \omega_{mot,lim,req}}{\Delta t} \right) \right) \quad (E'c 9)$$

donde  $f_1$  es la relación funcional descrita por el PT envolvente del motor. En los casos donde se pierde el trazo de la velocidad del vehículo por más de 1 mph, en el intervalo de tiempo previo, la variable  $\omega_{mot,lim,req}$  se remplaza en las ecuaciones 7 y 8 y en la evaluación de  $f_1$  en la ecuación 9 por el valor real la velocidad del paso anterior dado por la ecuación

$$\omega_{mot,act,prev} = \left( v_{act} \left( \frac{\omega_{mot,lim,req}}{v_{avaiil}} \right) \right)_{prev} \quad (E'c 10)$$

La ecuación 10 da la estimación de la velocidad del motor en el paso anterior usando solo la velocidad que se calcula verdaderamente en ADVISOR, o sea la velocidad real alcanzada por el vehículo dada por la variable 'mph' y representada en la ecuación 10 como  $v_{act}$ .  $v_{avaiil}$  que es la velocidad del vehículo asociada con las velocidades de la línea de flujo dadas por las variables de MATLAB tales como  $mc\_spd\_out\_a$  que es equivalente a la variable  $\omega_{mot,lim,req}$  de la ecuación 10. (Vea la ecuación 12 para mayor información sobre la variable  $v_{avaiil}$ ) que incluye los efectos de la razón de engranaje, radio de rodamiento y el deslizamiento en las ruedas.

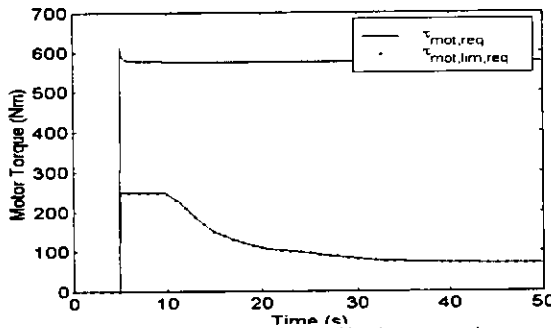


Figura 3.30. PT requerido por el motor::  $\tau_{mot,req}$ , reducción de engranaje requerido:  $\tau_{mot,lim,req}$ , sujeto al PT límite del motor.

La figura 3.30 ilustra el efecto de la ecuación 9. En el ejemplo del máximo esfuerzo de aceleración, al motor se le requiere que produzca un PT mayor que su PT máximo. En instantes, después de 5 segundos. La capacidad de máximo PT representada por la variable  $\tau_{mot,lim,req}$  es usada para formular la potencia requerida por el motor y su controlador..

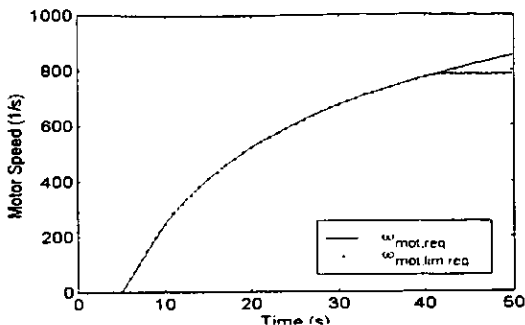


Figura 3.31. Velocidad requerida por el motor:  $\omega_{mot,req}$ , reducción de engranaje requerida a la entrada,  $\omega_{mot,lim,req}$ , sujeta a la velocidad límite del motor.

La figura 3.31 ilustra el efecto de la ecuación 8. Después de 42 seg aproximadamente, al motor se le requiere exceder su máxima velocidad para proporcionar a las rueda y el eje la velocidad máxima que pueden manejar (a través del tren de reducción), la variable  $\omega_{mot,lim,req}$ , la cual coincide con la curva de  $\omega_{mot,req}$  para el mayor intervalo de aceleración es usada para formular el requerimiento de potencia de entrada del motor

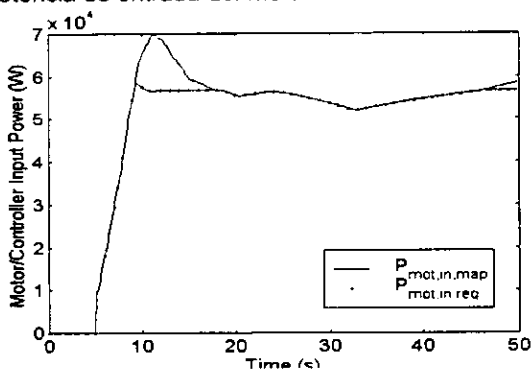


Figura 3.32. Potencia de entrada requerida por el motor y el controlador:  $P_{mot,in,map}$ , evaluada por la variable map;  $P_{mot,in,req}$ , sujeta a la corriente límite del controlador.

La figura 3.32 ilustra el efecto de la ecuación 6.  $P_{mot,in,map}$  representa la potencia de entrada requerida para impulsar al motor a PT y velocidad límite-máximos.  $P_{mot,in,req}$  es la potencia que el motor y el controlador requieren del bus de potencia, el cual en su momento debe ser proporcionado por las baterías y/o el generador. Para el ejemplo del máximo esfuerzo de aceleración, la figura 3.32 indica que entre los 9 y los 18 s el motor requiere más potencia de la que es capaz de manejar, de acuerdo con su corriente límite, para alcanzar los requerimientos de PT y velocidad

La parte inferior de la figura 3.32, no abarcada por la línea punteada, es la parte del flujo "hacia adelante" del modelo del motor y el controlador. Esta acepta como la

potencia de entrada disponible , en la parte inferior izquierda de la figura, y produce como salidas el PT y la velocidad del rotor.

Para evaluar el PT que puede ser producido por el motor y su controlador dada una potencia de entrada disponible, se usa la eficiencia calculada del motor y su controlador durante el procedimiento "hacia adelante", modelado con la variable  $t_{mot,lim,req}/P_{mot,in,mapin}$  en la ecuación 11.:

$$r_{mot,avai} = r_{mot,lim,req} \left( \frac{P_{mot,avai}}{P_{mot,in,map}} \right) - J_{mot} \left( \frac{\Delta \omega_{mot,lim,req}}{\Delta t} \right) \quad (E'c 11)$$

Note que el modelo toma en cuenta el PT requerido para acelerar el rotor del motor a la aceleración requerida de la flecha del motor. Para simular el máximo esfuerzo de aceleración, la aceleración requerida se limita sólo por el posible patinamiento de las ruedas, esta aceleración es por lo general mayor de la que es posible alcanzar dados los límites del tren motriz. Por lo tanto, los efectos de la inercia del motor son sobrestimados para simular el esfuerzo de aceleración máximo.

La velocidad del motor como salida del bloque del motor y su controlador, que es llamada la velocidad disponible es la velocidad real del motor sólo si no existen PT o potencia límite activos durante el intervalo de tiempo actual. La figura 3.32 indica que la velocidad de salida disponible del modelo del motor es igual a la variable  $w_{mot,lim,req}$  como se calculó en la ecuación 8. Esto significa que la velocidad disponible del motor es la velocidad requerida del motor sujeta a la velocidad límite del motor. Si el PT disponible del motor es menor que el PT requerido, éste es insuficiente para que el motor se acelere a su velocidad requerida. Esto podría causar que la velocidad disponible del motor proporcionada por el bloque del motor y su controlador fuera mayor que la velocidad real del motor.

#### 5.6.4 Calculo de la ruta "hacia adelante" (Flujo hacia adelante del motor)

El PT disponible se transforma por las eficiencias de la caja de engranes y del accionador final (las cuales son calculadas en la ruta "hacia atrás"), Esto resulta en un PT y velocidad disponibles del tren motriz que son la entrada a las ruedas y el eje. El patinamiento de las ruedas juega el rol de transformador de la velocidad disponible sólo si ésta es diferente de la velocidad requerida, como es el caso de que se tenga una velocidad límite de alguno de los componentes del tren motriz. Esto se describe en la ecuación

$$v_{avai} = a_{wh,avai} r_{wh} f(1 + slip) \quad (E'c 12)$$

donde el deslizamiento es recalculado aquí usando la fuerza tractiva disponible y la variable es la velocidad límite del componente que limita la velocidad del vehículo. El deslizamiento en las ruedas no se considera para el cálculo de la fuerza tractiva más allá del límite requerido en los cálculos de la ruta "hacia atrás" ya que ningún cálculo en los componentes hacia arriba actúa para incrementar la fuerza tractiva. El límite

determinado por el modelo de deslizamiento permanece como aquel calculado por el método "hacia delante" en el bloque ruedas/eje.

Después de considerar las pérdidas en el eje y dividir las entre el radio de rodamiento de las ruedas, ADVISOR llega a la fuerza de tracción disponible. Resolviendo la ecuación 3 para la velocidad al final del intervalo de tiempo, ADVISOR llega a un estimado de la velocidad real del vehículo, luego compara esta velocidad estimada del vehículo, en base a la fuerza, con la obtenida por la ecuación 12 y selecciona la menor de las dos para darla como la velocidad real con la variable *vact*, la cual se grafica en la figura 3.31 De esta forma, la velocidad calculada del vehículo nunca excede a la velocidad posible dados el PT y la fuerza disponibles del tren motriz o la velocidad que corresponde a la velocidad límite de cada componente del mismo que pudiera estar activo.

### 3.7 RELACION DE LA LISTA DE PARÁMETROS MENCIONADOS.

<i>Freq</i>	tractive force required to meet trace, ADVISOR variable='veh_force_r'
<i>I<sub>con,max</sub></i>	maximum motor controller current, ADVISOR variable='mc_max_crnt'
<i>J<sub>mot</sub></i>	motor rotational inertia, ADVISOR variable='mc_inertia'
<i>J<sub>wh</sub></i>	wheel/axle assembly rotational inertia, ADVISOR variable='wh_inertia'
<i>P<sub>mot,avail</sub></i>	(electrical) input power available to the motor/controller, ADVISOR variable='mc_pwr_in_a'
<i>P<sub>mot,in,req</sub></i>	(electrical) input power required by the motor/controller, ADVISOR variable='mc_pwr_in_r'
<i>r<sub>wh</sub></i>	tire rolling radius, ADVISOR variable='wh_radius'
<i>slip</i>	tire slip fraction, ADVISOR variable='wh_slip_r' for required slip
<i>V<sub>bus</sub></i>	bus voltage (equal to battery pack voltage), ADVISOR variable = 'pb_voltage'
<i>V<sub>act</sub></i>	actual vehicle speed at end of time step, ADVISOR variable='mph_a'
<i>v<sub>req</sub></i>	required vehicle speed (average over the time step), ADVISOR variable='veh_spd_r'
<i>v<sub>trace</sub></i>	required vehicle speed (at end of time step), ADVISOR variable='cyc_mph_r'
<i>t<sub>mot,avail</sub></i>	available motor torque, ADVISOR variable='mc_trq_out_a'
<i>t<sub>mot,lim,req</sub></i>	required motor torque, subject to motor torque limit
<i>t<sub>mot,req</sub></i>	required motor torque, ADVISOR variable='mc_trq_out_r'
<i>t<sub>wh,req</sub></i>	torque required to wheel/axle from driveline, ADVISOR variable = 'wh_trq_r'
<i>w<sub>mot,act,prev</sub></i>	motor's rotor speed during previous time step, ADVISOR variable = 'mc_spd_est'
<i>w<sub>mot,max</sub></i>	maximum motor speed
<i>w<sub>mot,req</sub></i>	required motor speed, ADVISOR variable='mc_spd_out_r'
<i>w<sub>mot,lim,req</sub></i>	motor speed required, subject to motor speed limit, ADVISOR variable = 'mc_spd_out_a'
<i>w<sub>wh,avail</sub></i>	available wheel speed, ADVISOR variable='wh_spd_a'
<i>w<sub>wh,req</sub></i>	required wheel speed, ADVISOR variable='wh_spd_r'



## CAPITULO 4 LA SIMULACIÓN EN ADVISOR

La simulación en computadora de sistemas mecánicos complejos como análisis por elementos finitos, ensambles y procesos ha tenido gran auge en la actualidad debido a su fácil manejo, rapidez en la obtención de resultados y bajo costo.

ADVISOR permite realizar la simulación del comportamiento de un arreglo particular de un auto híbrido.

En este capítulo se simula el comportamiento de un auto comercial híbrido, el Toyota prius que es un auto de origen japonés del cual se han hecho pruebas en laboratorio de su desempeño en el Argonne National Laboratory de E.E.U.U.

Se pretende validar el software al comparar los resultados que proporciona con los obtenidos en el laboratorio mencionado.

### 4.1 PASOS PARA REALIZAR LA SIMULACION

#### 4.1.1 INICIO DE LA SIMULACIÓN

Primer pantalla, Figura 4.1, donde se especifican las unidades.

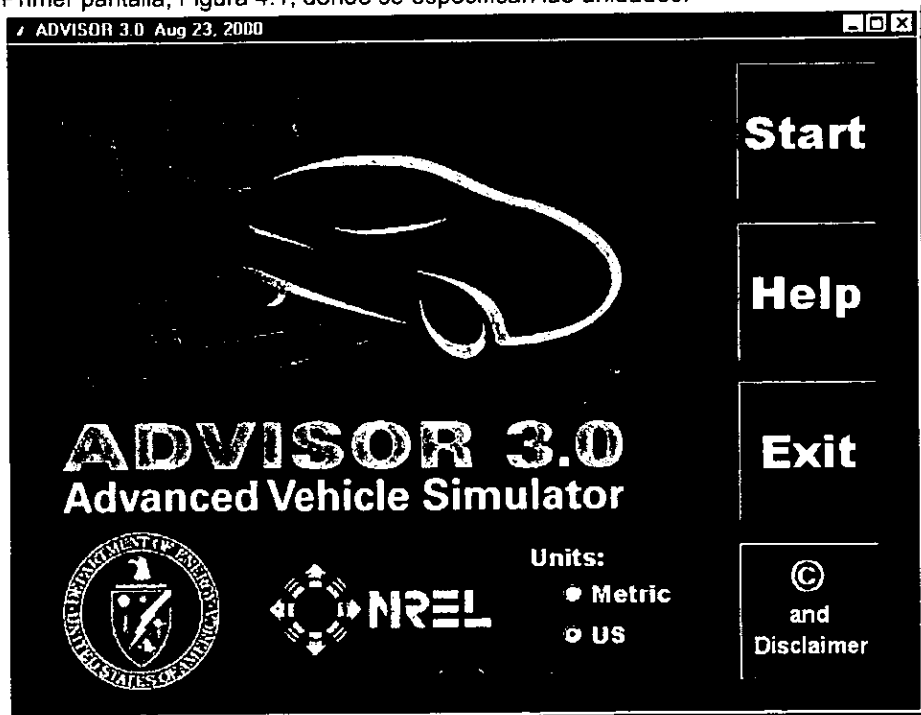


Figura 4.1

4.1.2 Introducción de las características del Vehículo.

Se define el tipo de vehículo, generador, motor eléctrico, motor térmico, baterías estrategia del control y algunas cosas más, figura 3.2.

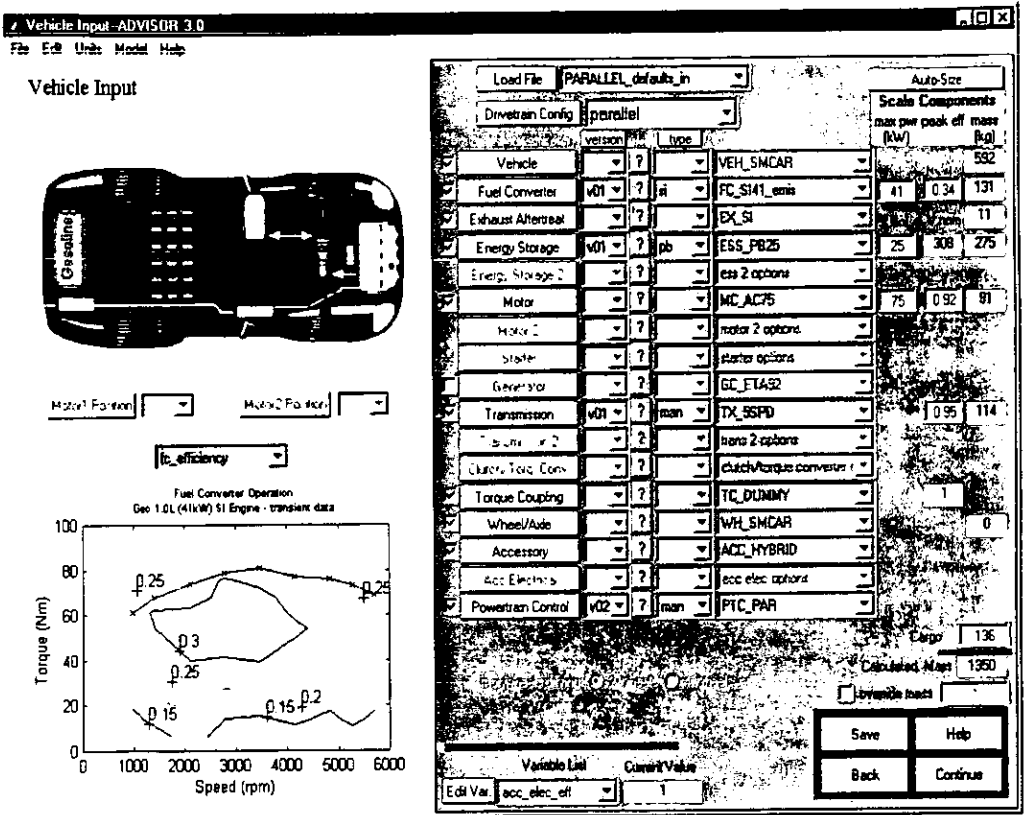


Figura 4.2

### 4.1.3 Selección de los MT disponibles de Compresión Ignición.

Con potencia de salida de hasta 67 KW. La masa total se establece de 500 kg hasta 1600 Kg, figura 4.3.

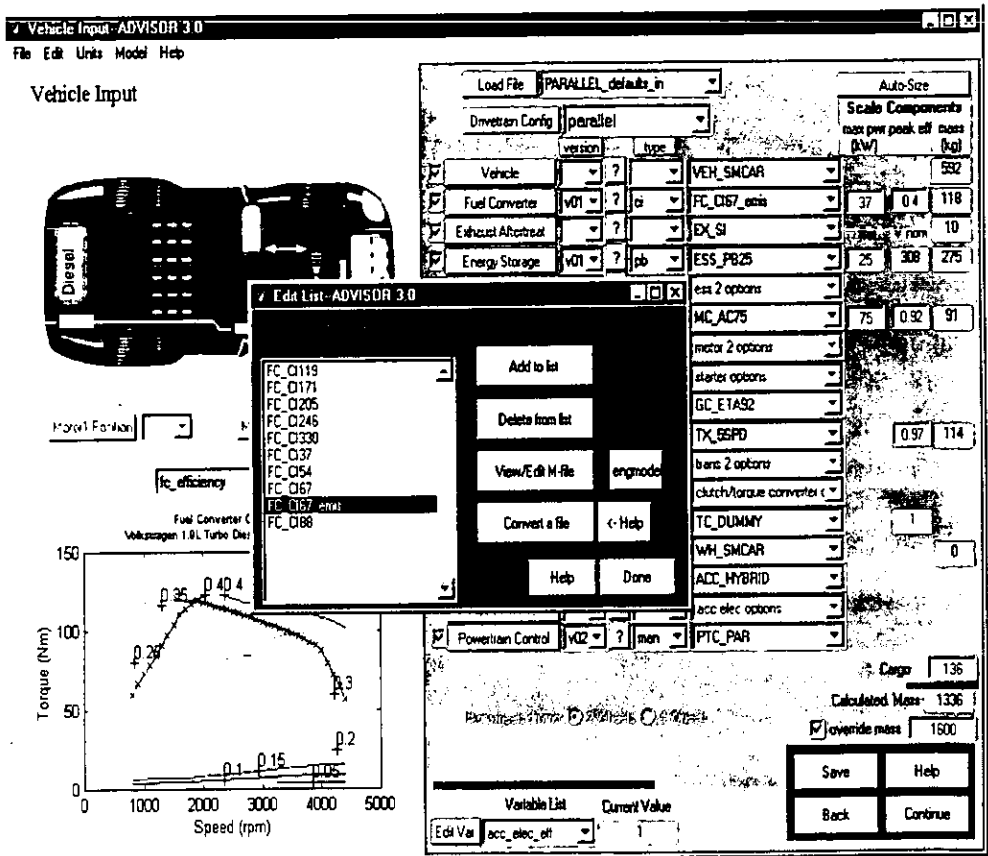


Figura 4.3

4.1.7 Configuración del ciclo de manejo y pruebas

Se puede simular el vehículo configurado en un ciclo seleccionado, decidir el procedimiento de prueba o realizar el estudio paramétrico. Aquí, por ejemplo se ha seleccionado un ciclo de manejo en autopista de NREL a VAIL. La elevación del ciclo de manejo se puede introducir como entrada siendo una función de la distancia. O se puede introducir simplemente como una constante.

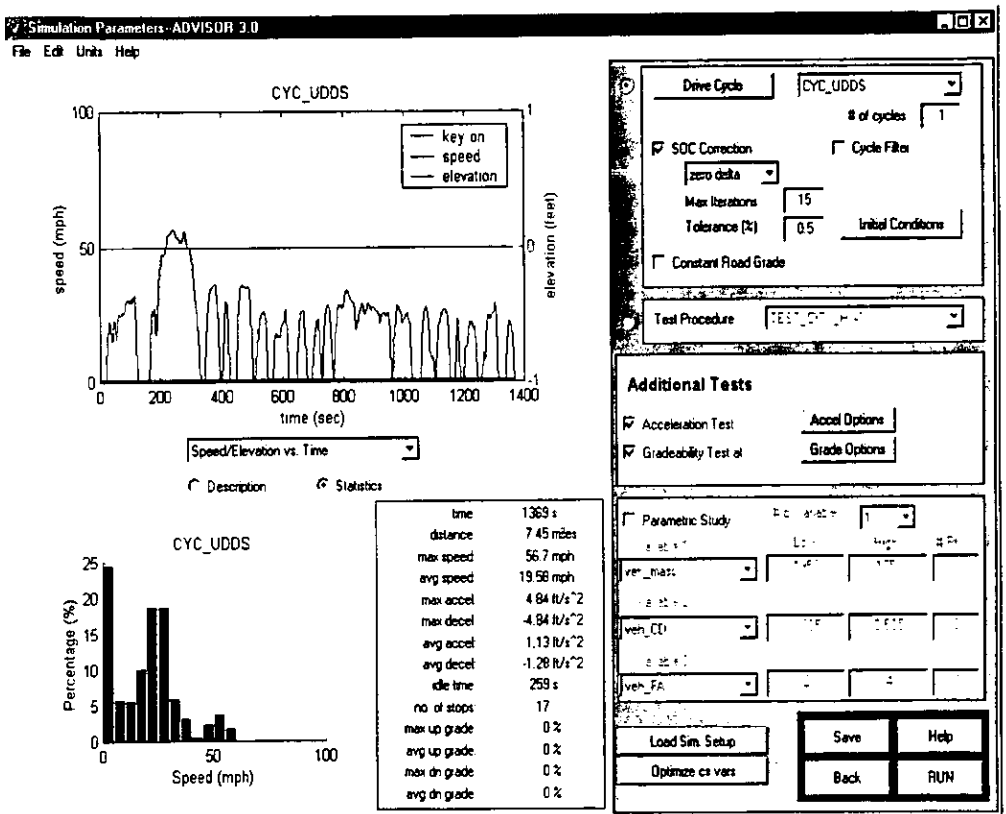


Figura 4.7

### 4.1.8 Establecimiento del ciclo de manejo y pruebas II

Se pueden establecer algunas de las condiciones iniciales, por ejemplo el SOC o la temperatura inicial del catalizador

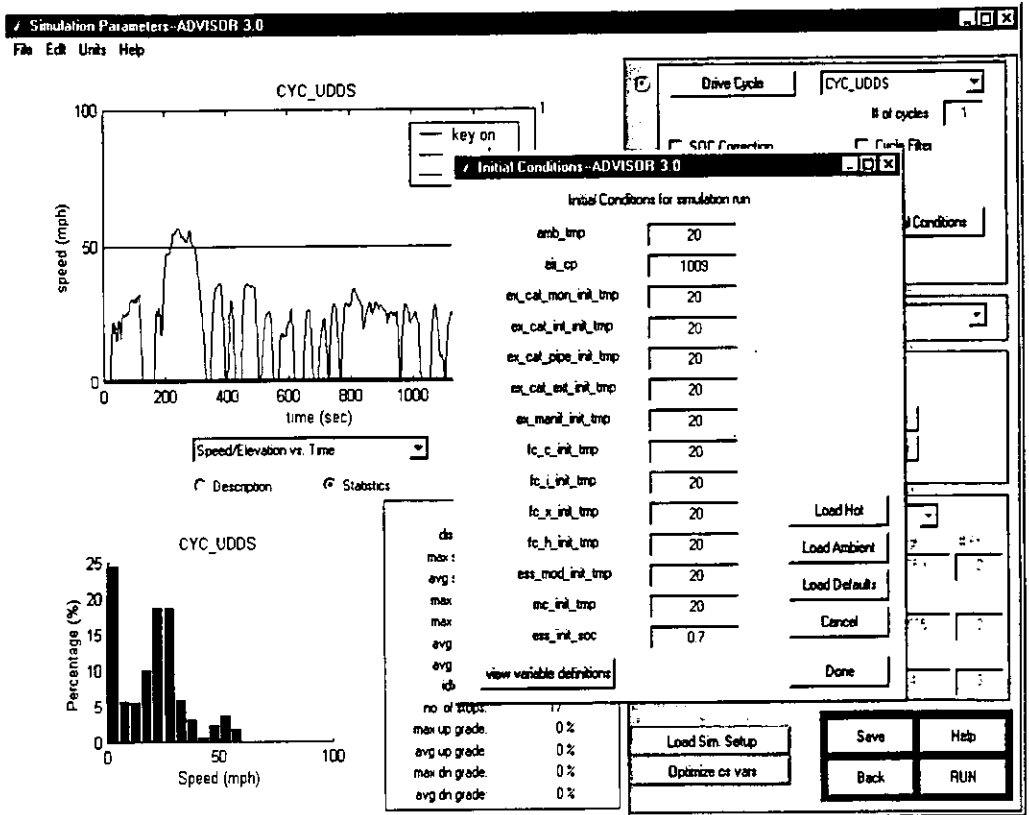


Figura 4.8

4.1.9 Presentación de los resultados del ciclo de manejo

Las mediciones del desempeño del vehículo se muestran y se puede graficar cualquier variable del ciclo.

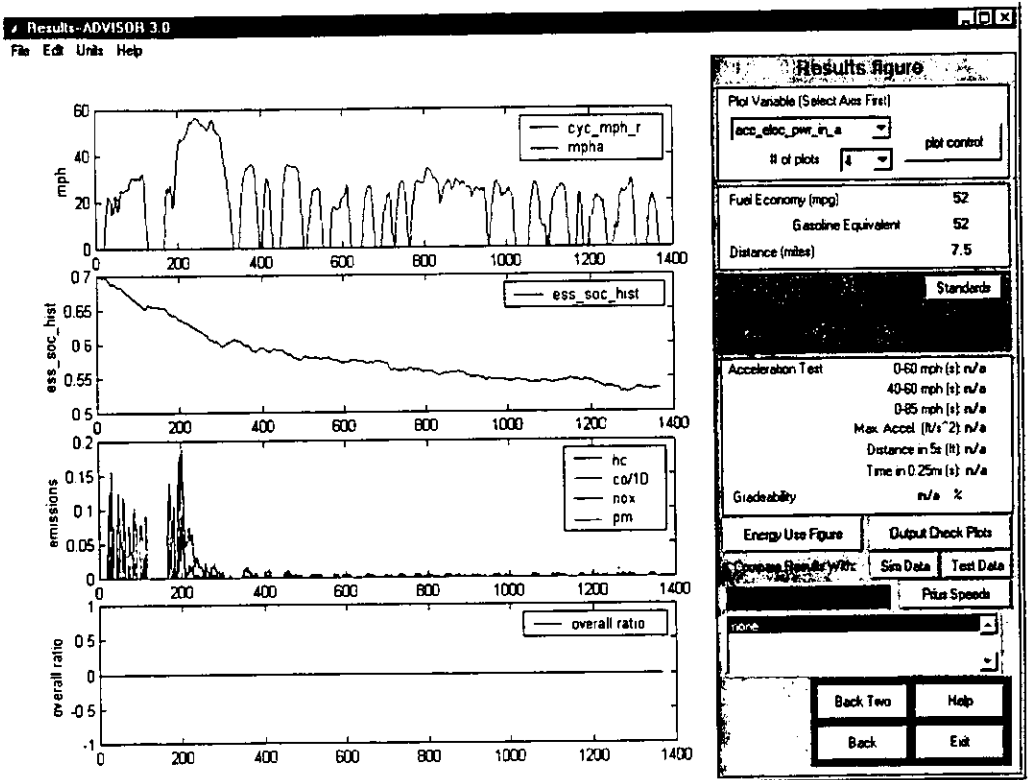


Figura 4.9

4.1.10 Presentación de los resultados del ciclo de manejo – Uso de la Energía.

La figura 4.10 muestra cómo se usa la energía durante el ciclo, el modo de potencia y el modo regenerativo.

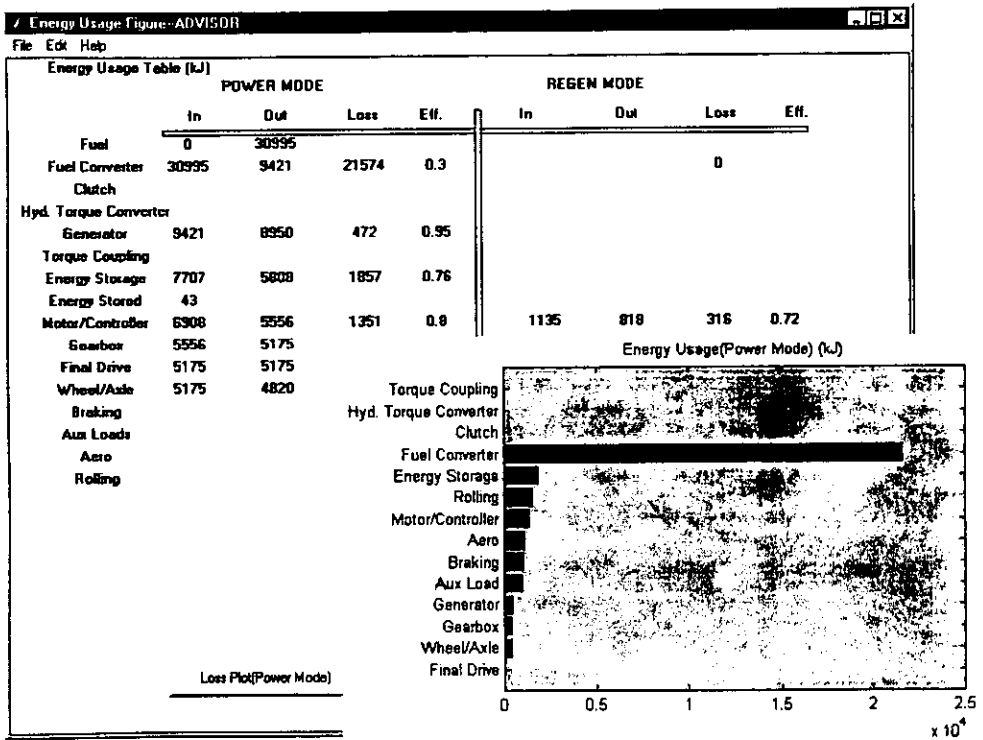


Figura 4.10

### 4.1.12 Despliegado de los resultados paramétricos – 3 variables.

Se puede desplegar la economía del combustible, los tiempos de Aceleración, las emisiones o la pendiente alcanzada como una función de las variables que se han seleccionado previamente.

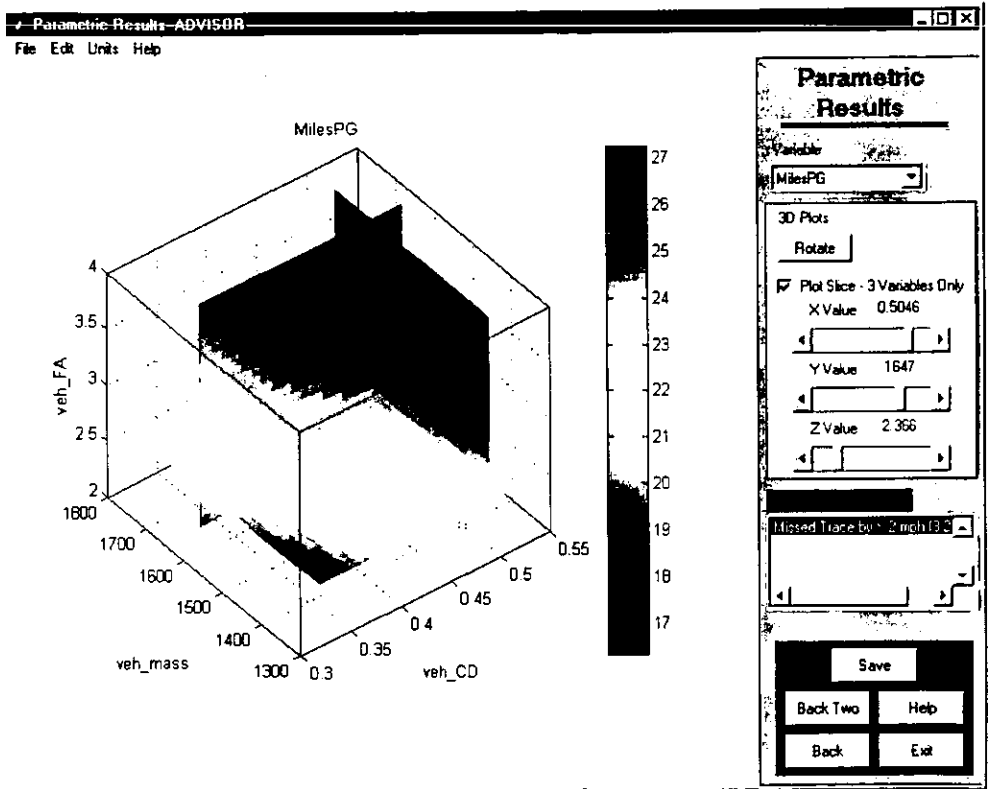


Figura 4.12



#### 4.1.14 Optimización de la variable de la estrategia de control

Las variables de la estrategia de control para vehículos tipo serie a base de CC y vehículos tipo paralelo pueden optimizarse para cualquier ciclo de manejo o para un procedimiento de prueba. Esta opción está disponible en la pantalla de configuración de simulación

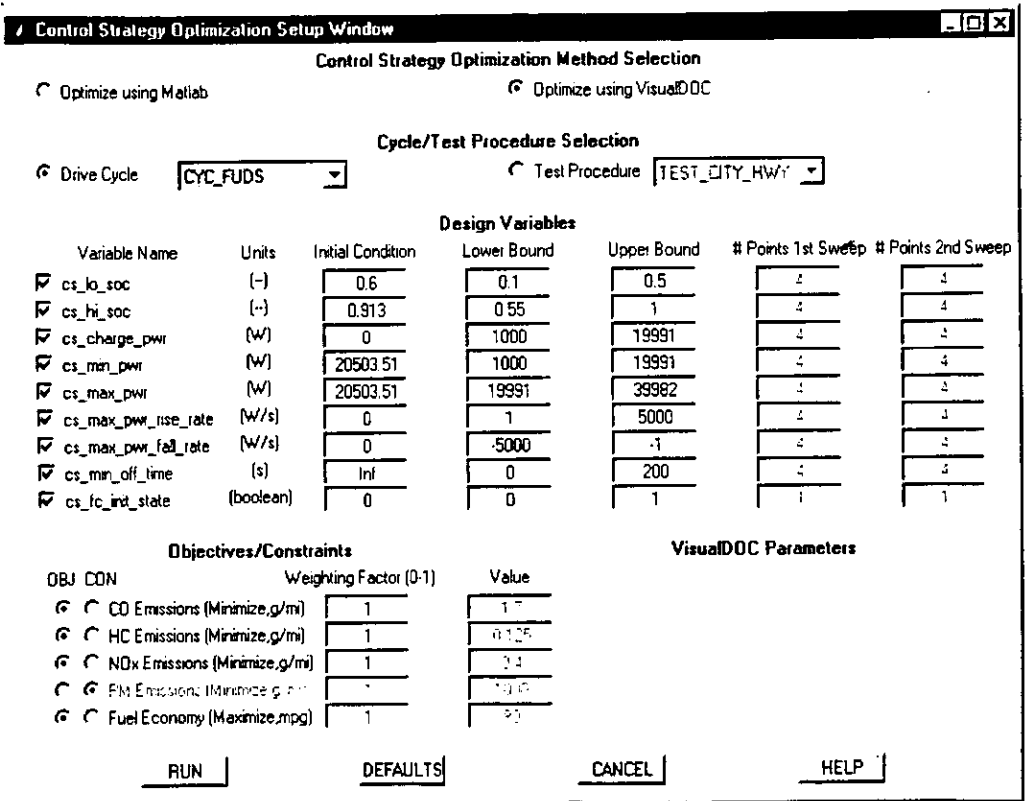


Figura 4.14

Desde la pantalla de configuración de la simulación se corren varios procedimientos de prueba.

#### 4.1.15 Procedimiento de prueba J1711

Se corre este procedimiento de prueba para obtener resultados de economía de combustible y de las emisiones

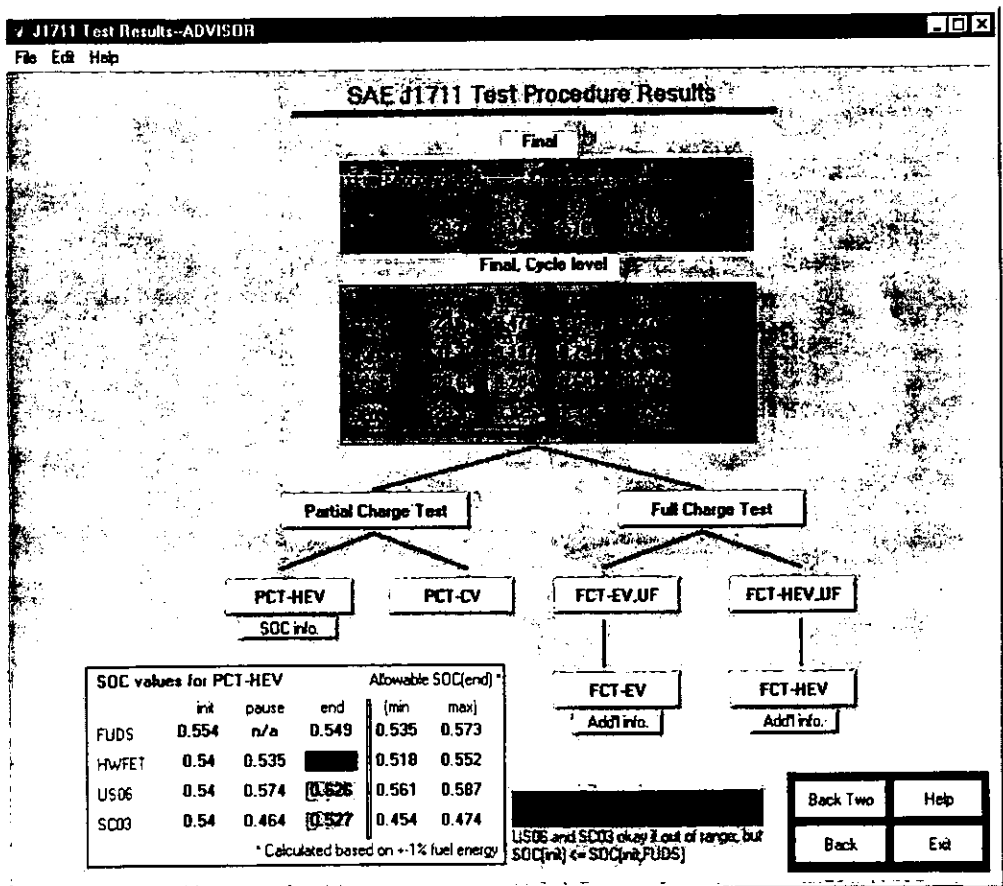


Figura 4.15

#### 4.1.16 Procedimiento de prueba de comportamiento de vida real

Este procedimiento de prueba se hace para capturar los patrones de manejo de la vida diaria por medio de simulaciones y ambientaciones durante periodos de duración de varios días. Esto se basa en datos disponibles de la CARB sobre patrones de manejo de la vida diaria. El usuario puede seleccionar ciclos de 2 o 16 días.

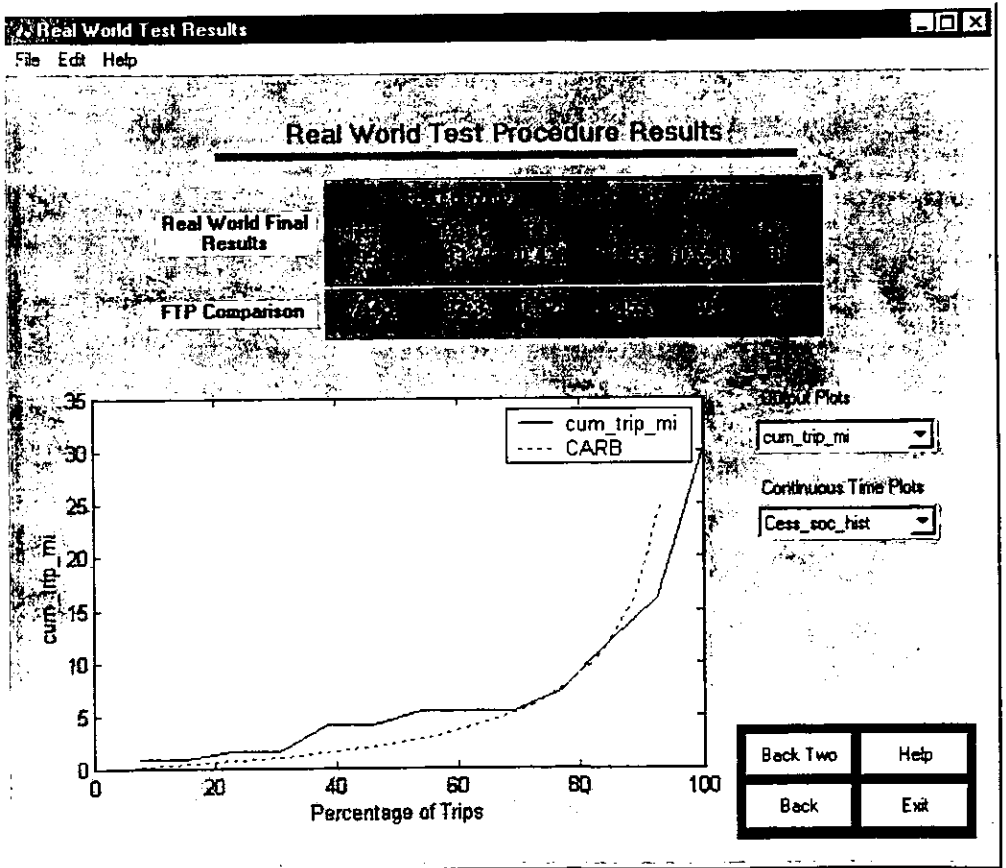


Figura 4.16

### 4.1.17 Comparación de simulaciones

El usuario puede comparar varias simulaciones. Las mediciones se grafican en un arreglo en forma de araña, las cuales muestran a primera vista si éstas exceden los objetivos deseados.

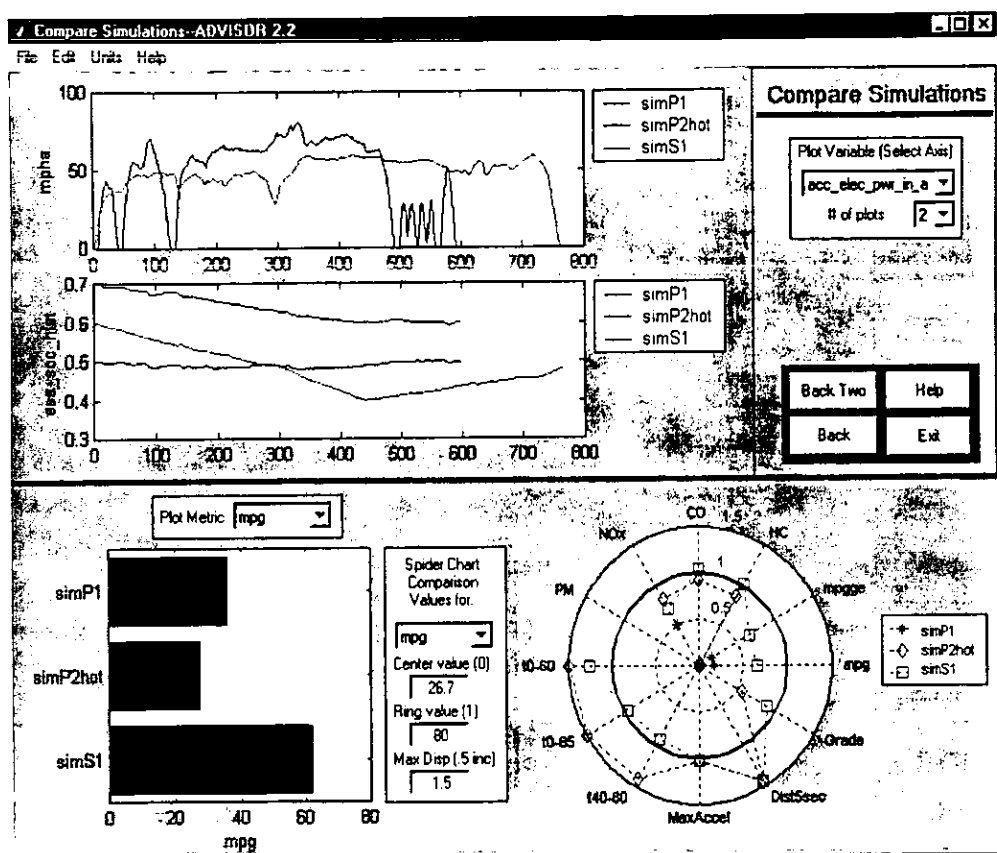


Figura 4.17

## 4.2 TOYOTA PRIUS

Antes de realizar la simulación del vehículo, se muestran las características del comportamiento y desempeño del vehículo Toyota Prius realizadas por Michael Duoba en el Argon National Laboratory

En los vehículos híbridos las eficiencias totales del TTP son más altas cuando se utilizan tres características específicas de los vehículos híbridos:

- Disminución del tamaño del MCI compensado con la asistencia del motor eléctrico.
- Utilización de un motor eléctrico de baja carga.
- Sistema de frenos regenerativos.

El paro del MCI en momentos de paradas momentáneos y el funcionamiento del mismo a velocidades de máxima eficiencia son técnicas usadas en los HEV, pero también de uso incipiente en los vehículos convencionales. De hecho un vehículo convencional equipado con un sistema de transmisión CVT puede hacer que el MCI trabaje en rangos de alta eficiencia. El vehículo Toyota Prius cumple con estos tres principios.

### 4.2.1 Descripción de la Tecnología del Prius.

- El MCI es un motor de 1.5-L en línea de 4 cilindros, DOHC, con 4 válvulas.
- Su potencia pico es de 43kW a 4000 rpm, que es a su vez la velocidad límite.
- El control del motor y el PT son completamente computarizados.

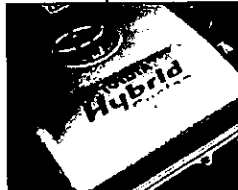


Figura 4.18

- La velocidad es por medio de bobina y bujía.
- El suministro de combustible es por inyección secuencial en cada puerto.
- Las velocidades servoasistida.
- Los requerimientos de carga pico del MCI es compartida con el sistema de tracción eléctrica. Así, el MCI puede operar a bajas cargas y velocidades por debajo de las 4000 rpm.
- Se usan partes muy ligeras y de bajo coeficiente de fricción.
- Todo lo anterior propicia un buen desempeño del MCI y su eficiencia llega hasta el 37 %

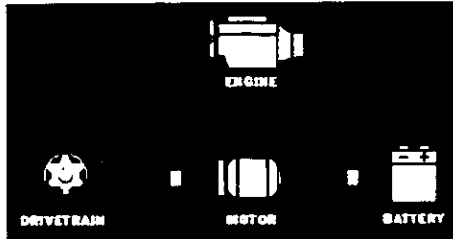


Figura 4.19

#### 4.2.2 Ficha de Especificaciones.

##### Vehículo:



Figura 4.20

- Sedán para 5 pasajeros
- 4 puertas
- 2700 lb de peso
- Carga de camino a 50 mph 5.4 kW

##### Motor de Combustión Interna MCI

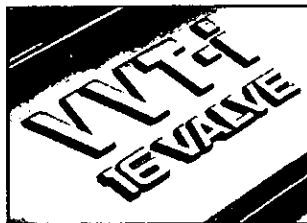


Figura 4.21

El vehículo Toyota Prius, es un sedán para 5 pasajeros. Tiene casi el mismo espacio para carga que el de un auto convencional de su tipo. El chasis es de tipo convencional de acero soldado de construcción integral.

El arreglo del TTP de este vehículo es un punto de inicio significativo partiendo de la base más simple de clasificación que indica que puede ser del tipo serie o paralelo. Este se describe mejor diciendo que es una combinación de ambos tipos. En efecto, su TTP es 28% del tipo serie y 72% del tipo paralelo si se consideran las trayectorias del PT desde MCI hasta las ruedas. Tiene una característica única que es un dispositivo derivador de potencia llamado "torque-split gears", figura 4.24. Conocida también como "torque-split configuration". La cantidad de potencia real transmitida al eje de las ruedas desde el MCI es una función de la velocidad del generador.

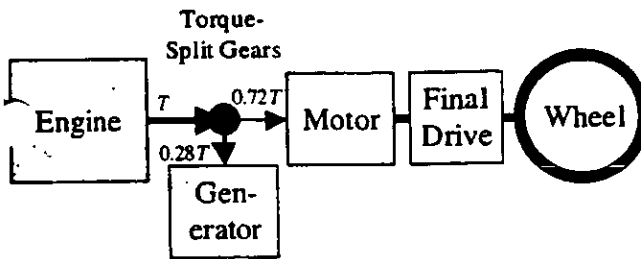


Figura 4.24

Este dispositivo "derivador de potencia" consiste en un tren planetario de engranes al cual se le proporcionan dos entradas y se obtiene una salida.

- El generador está conectado al engrane sol ( entrada)
- El MCI está conectado al brazo portaplanetas (entrada)
- El engrane corona está conectado al ME (salida)

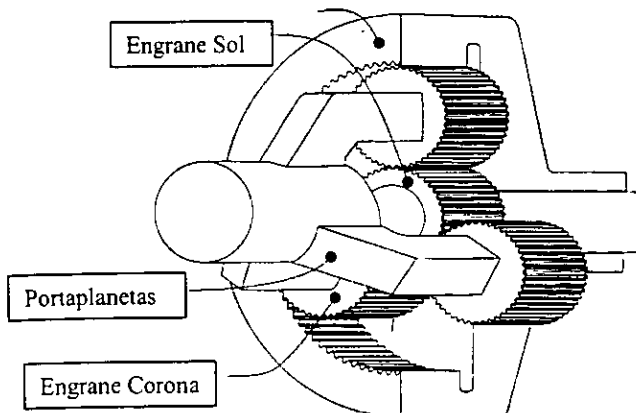


Figura 4.25

inducido a girar en sentido positivo nuevamente. En H el pedal del acelerador es liberado y se aplican los frenos. El MCI se detiene produciendo potencia, pero el generador no gira conjuntamente con el motor ya que éste lo haría girar muy rápido. El sistema de control mantiene al MCI girando de acuerdo a la velocidad del vehículo hasta llegar a aproximadamente 25 mph durante las desaceleraciones (para asegurar que el generador tendrá la suficiente PT para arrancar el MCI nuevamente si se requiere). En J, el MCI se apaga para rápidamente hacer girar al generador en reversa. Nuevamente los tres componentes tiene la misma velocidad angular durante el apagado del MCI. Entonces el vehículo llega al reposo.

### 4.2.3 Análisis de los Modos de Operación del TTP.

#### 4.2.3.1 Aceleración.

Este vehículo se diseñó con un MCI de baja potencia. En la figura 4.28 se muestran la aceleración durante un *ciclo del tipo US06*.

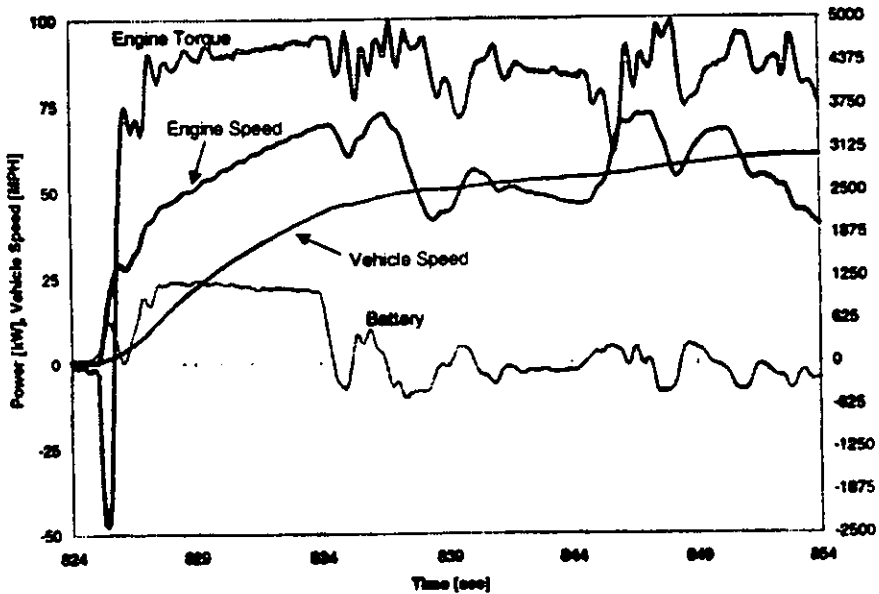


Figura 4.28

Se ve claramente en la gráfica el pico de aceleración durante la desactivación del embrague y la desaceleración del MCI cuando el embrague es nuevamente conectado. La primera elevación en RPM se da cuando el embrague se desconecta para aplicar la primera reducción y así sucesivamente hasta la quinta velocidad. El pico de PT coincide con la reconexión del embrague asociada con la rápida desaceleración del MCI. Hay que notar que el ME proporciona entre



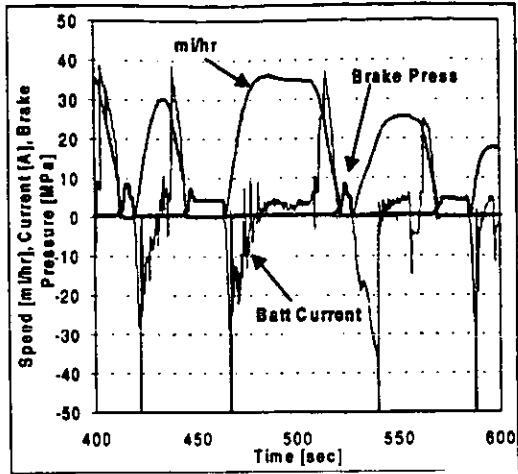


Figura 4.31

La figura 4.31 muestra un evento de frenado durante un ciclo UDDS (urban driving dynamometer schedule). La presión del freno y la corriente de las baterías se miden para mostrar cómo la fuerza del freno de fricción se complementa con el frenado regenerativo. En el Prius se recupera la corriente durante todo el evento del frenado. La estrategia de complementación de frenado cambia cuando la cantidad de fuerza de frenado requerida es mayor que la que el frenado regenerativo puede producir.

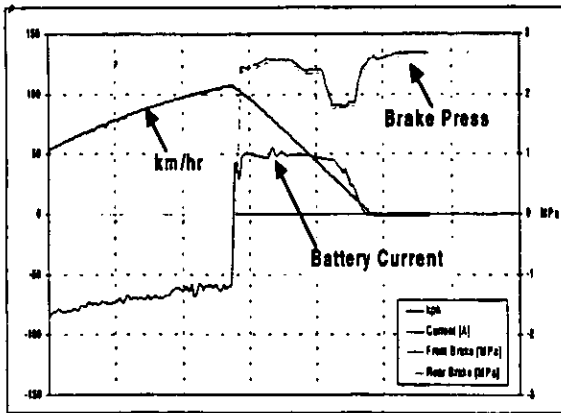


Figura 4.32

En la figura 4.32 se ve un evento de frenado agresivo en el cual la fuerza del pedal se mantuvo constante todo el tiempo. Se muestra la velocidad del vehículo,

la corriente de las baterías, la presión hidráulica de los frenos delanteros y traseros. La estrategia es limitar la corriente regenerativa a 50 A y proporcionar el resto del requerimiento del frenado con frenado de fricción.

#### 4.2.3.4 Análisis de Eficiencia.

Para investigar la eficiencia el vehículo se prueba bajo varios ciclos de manejo y se examina la eficiencia de estado estable y la eficiencia de los ciclos.

##### ➤ Análisis de eficiencia de estado estable.

El análisis de eficiencia de estado estable muestra el uso del MCI sin transitorios.

El vehículo se prueba en un dinamómetro para analizar el rendimiento del uso del combustible.

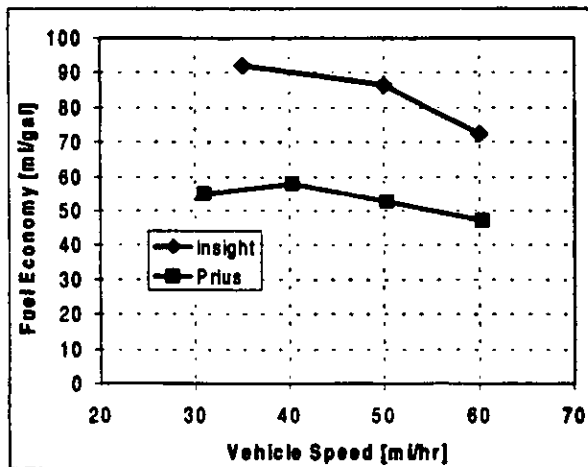


Figura 4.33

El resultado se aprecia en la figura 4.33. Se observa en primer lugar una curva casi plana que tiende a bajar a partir de las 40 mph. La figura 4.33 muestra los rangos de uso de combustible, la carga del dinamómetro y la eficiencia calculada del TTP. Se ve que la eficiencia en camino del Prius es bastante alta.

Load File				Auto Size		
Drivetrain Confg				Scale Components		
prius_jpn				max pwr (kW)	peak eff	mass (kg)
Vehicle	version	?	type			
Vehicle		?	VEH_PRIUS_JPN			918
Fuel Converter	ic	?	si	43	0.39	137
Exhaust Aftertreat		?	EX_SI			11
Energy Storage	nimh	?	nimh	40	309	40
Energy Storage 2		?	est 2 options			
Motor		?	MC_PRIUS_JPN	31	0.91	57
Motor 2		?	motor 2 options			
Starter		?	starter options			
Generator		?	GC_PRIUS_JPN	15	0.84	33
Transmission	pgcvt	?	pgcvt		0	0
Transmission 2		?	trana 2 options			
Clutch/Torq Conv		?	clutch/torque converter optio			
Torque Coupling		?	TC_DUMMY			
Wheel/Axle		?	WH_PRIUS_JPN			0
Accessory		?	ACC_PRIUS_JPN			
Acc Electric		?	acc elec options			
Powertrain Control	prius_j	?	pp			
						136
						1332
View Block Diagram						1366

Save	Help
Back	Continue

fuel_converter	Edt Var
ic_acc_mass	34.1709

Figura 4.35 Componentes de Toyota Prius

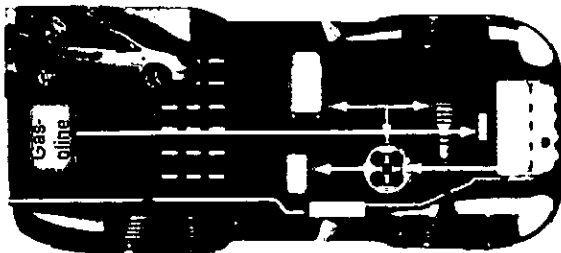


Figura 4.36 Layout del TP

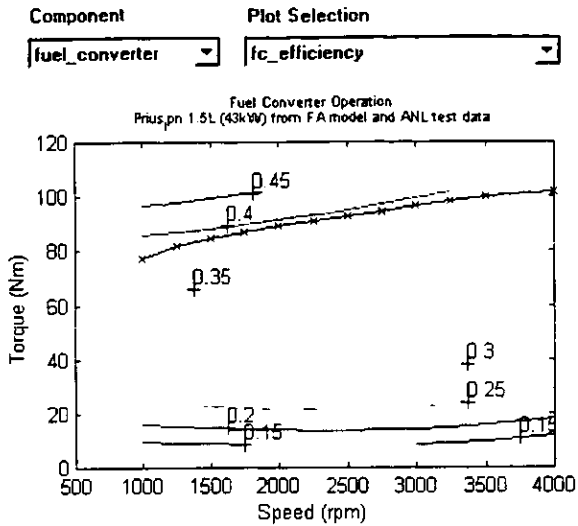


Figura 4.37 Mapa de eficiencias del MCI en función de la velocidad y PT

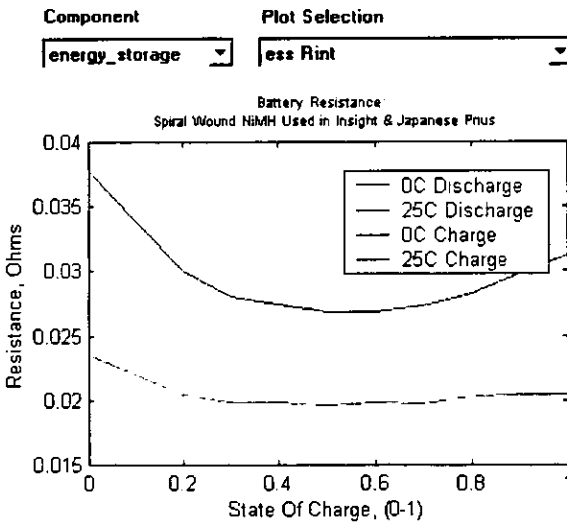


Figura 4.38 Gráfica de carga y descarga de las baterías en función de la resistencia

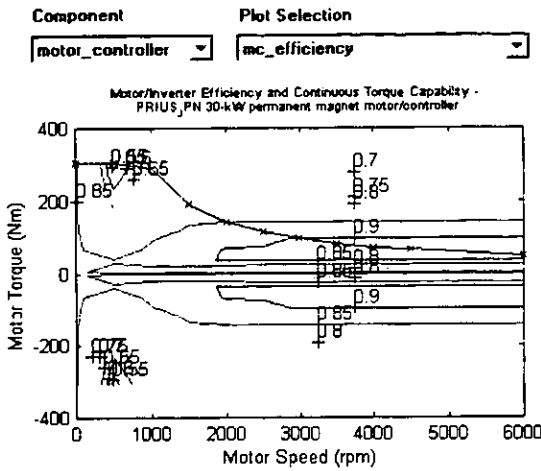


Figura 4.39 mapa de eficiencias del Controlador del motor en función de la velocidad y PT

### 4.3.3 Autodimensionamiento

Estos dos pasos aunque se mencionan, no se pueden seleccionar ya que los datos del Toyota se dan todos por omisión, de acuerdo a una base de datos predeterminada en su totalidad.

- Metas a lograr
- Resultados del Autodimensionamiento

#### 4.3.3.1 Primera Prueba y selección del ciclo de manejo

A continuación se muestra el diagrama de bloques de la lógica de la secuencia de alimentación y retroalimentación de variables.

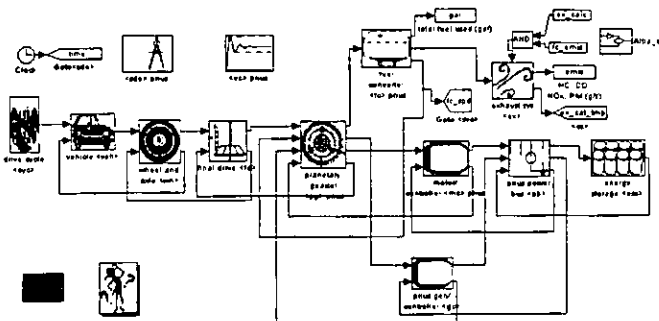


Figura 4.40 diagrama de bloques de la lógica de la secuencia de alimentación y retroalimentación de variables.

En este caso se seleccionó un ciclo de manejo UDS, corrección para la simulación "zero delta" y una pendiente de ruta constante.

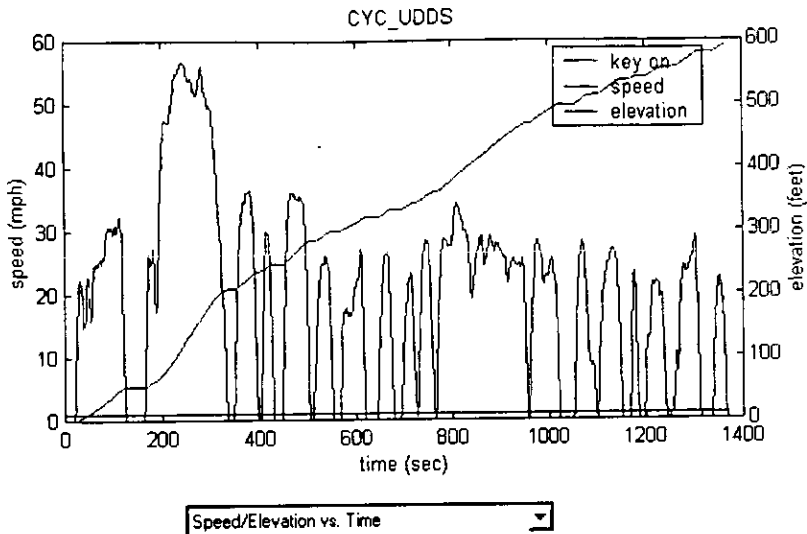


Figura 4.43 Gráfica del ciclo UDDS con las variables indicadas.

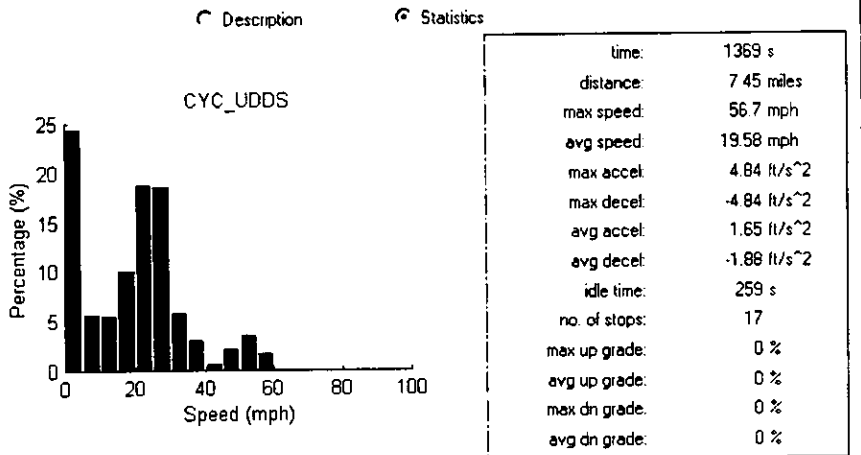


Figura 4.44 Forma estadística los datos indicados del ciclo de manejo

Los datos de pendiente no aparecen por que se seleccionó de comportamiento constante.

Los resultados de esta primera prueba se observan en la figura 4.45

Si se considera un ciclo del tipo US06, se tienen los siguientes resultados, figura 4.48

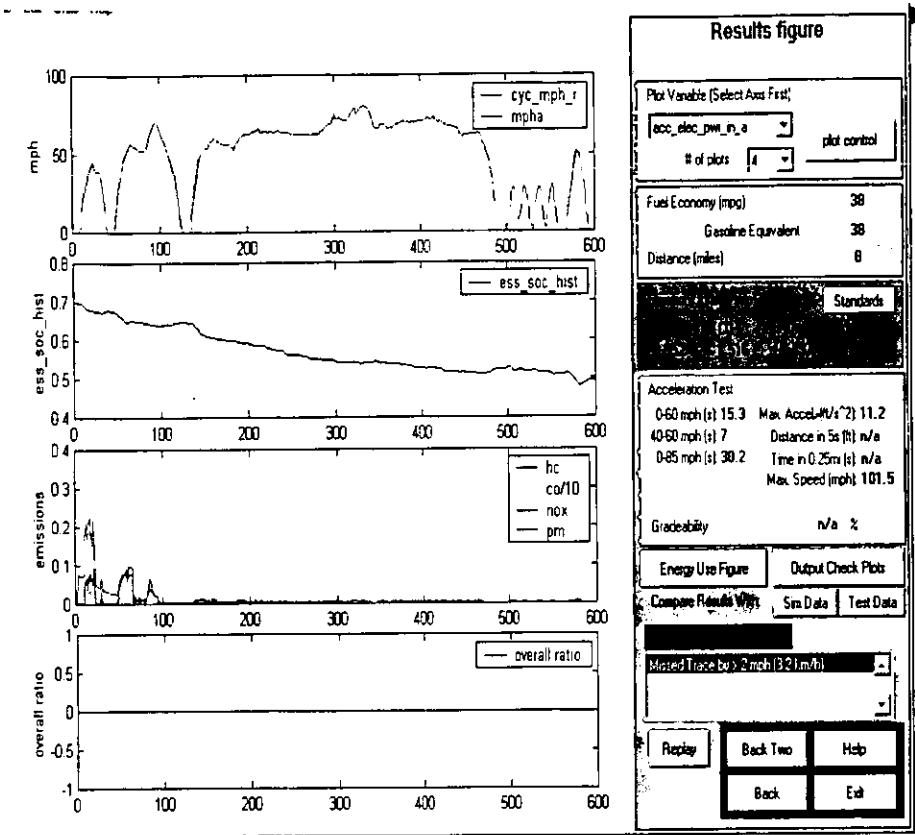


Figura 4.48

Fuel Economy (mpg)	42.2
Gasoline Equivalent	42.2
Distance (miles)	7.5
<b>Standards</b>	

Figura 4.52 resultados de las emisiones y la economía de combustible la prueba de pendiente de 6%.

➤ Resultados del Estudio Paramétrico con 3 variables

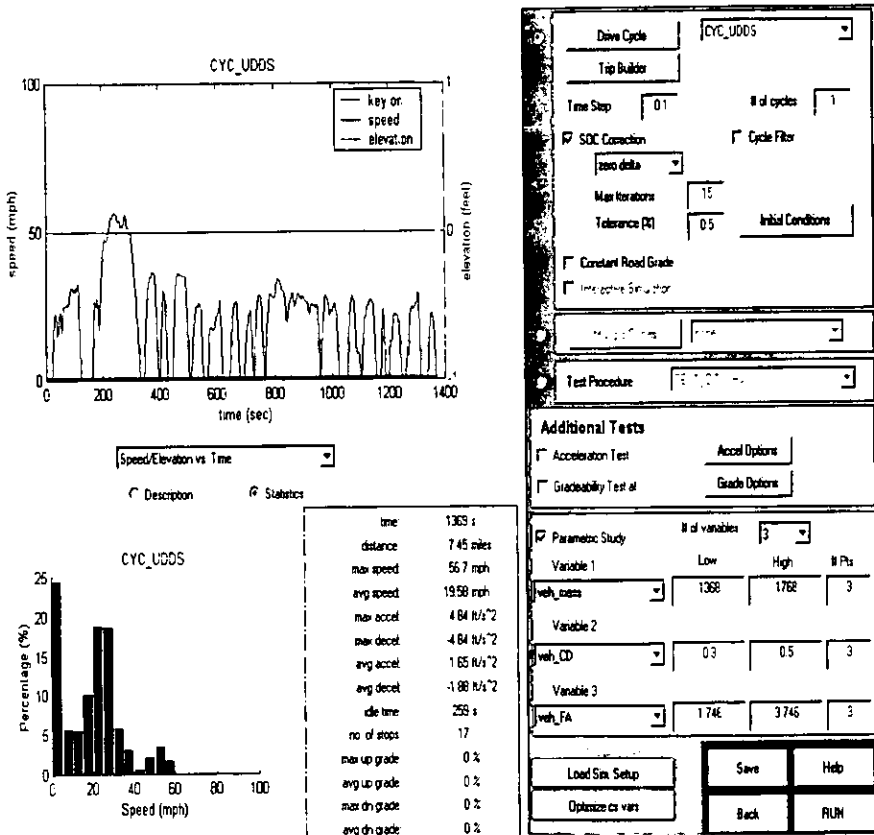


Figura 4.53 pantalla de selección de variable a interrelacionar: masa vehicular, coeficiente de arrastre y área proyectada.



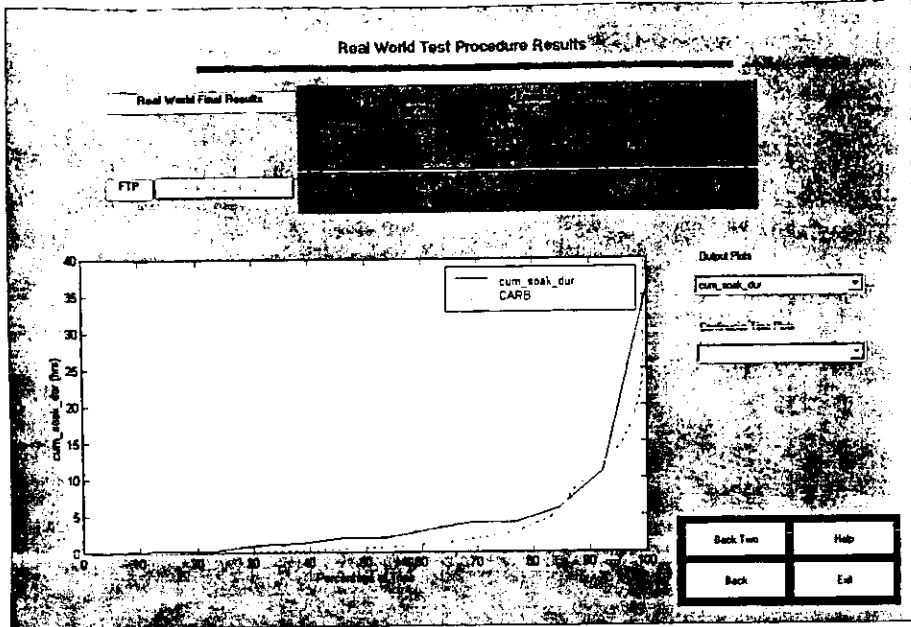


Figura 4.55 Resultados de la prueba.

La figura 4.55 muestra los resultados de la prueba de comportamiento en el majo real. Se simula el recorrido de 95 millas (153 km) con un rendimiento de 44.2 mpg.

➤ Ciclo combinado de Manejo en ciudad y autopista.

Combined City/Highway Cycle Results

Fuel Economy (mpg)		Gasoline Equivalent
City	40.5	40.5
Hwy	60.2	60.2
Combined	47.5	47.5

Window Sticker

Emissions (grams/mile)				
	HC	CO	NO <sub>x</sub>	PM
City	0.718	0.736	0.182	0
Hwy	Ratio of Hwy/City NO <sub>x</sub>		0.56	

Note: City values based on one cold-start FTP-75 cycle. Highway values based on one hot-start HWFETS cycle. Combined fuel economy FE<sub>comb</sub>=1/[(.55/MPG<sub>u</sub>)+(0.45/MPG<sub>H</sub>)]

Figura 4.56 Resultados de la prueba

## CAPITULO 5

# PROPUESTA DE MODIFICACION DEL TREN PROPULSOR DE UN VEHÍCULO HÍBRIDO EN PARALELO.

### 5.1 CONFIGURACIONES

La comisión Internacional Electromecánica IEC define al VEH como: Uno en el cual la energía de propulsión, durante operaciones específicas, está disponible a partir de dos o más tipos de almacenadores, fuentes o convertidores de energía. Existe al menos un almacenador o convertidor. Un VEH es un VH en el que al menos uno de los almacenadores, convertidores o fuentes de energía puede producir energía eléctrica. Un *VEH en serie* es aquel en el que sólo un convertidor de energía puede proporcionar la potencia de propulsión. Un *VH en paralelo* es aquel en el que más de un convertidor de energía puede proporcionar la potencia de propulsión.

#### 5.1.1 Sistema de potencia dual o modo dual

El cual no es un tren de potencia híbrido, de acuerdo con las definiciones anteriores, es la configuración más simple debido a que los componentes individuales de manejo son completamente independientes y proporcionan la potencia mecánica separadamente. Este sistema usualmente consiste de un conjunto de baterías que trabajan en recorridos en áreas urbanas y el MCI funciona en áreas no urbanas. Se excluyen combinaciones de trabajo conjunto entre los dos sistemas.

#### 5.1.2 Arreglo en serie

En este los componentes de conducción individuales se conectan en serie sin ningún acoplamiento mecánico entre el motor y las ruedas. El convertidor de combustible es usualmente un pequeño MCI cuya función principal es extender el rango de funcionamiento del vehículo. Cuando el estado de la carga SOC del dispositivo de almacenamiento llega a un límite mínimo especificado, el convertidor de combustible se arranca y mueve un generador que proporciona electricidad al ME y al dispositivo de almacenamiento de energía (usualmente un paquete de baterías).

De igual modo que el MCI en el arreglo en serie está mecánicamente desacoplado del impulsor del vehículo, a éste se le permite trabajar con un comportamiento dinámico suave generando la potencia promedio requerida por el recorrido, siguiendo una línea alrededor de los puntos de máxima eficiencia de operación. El MCI puede trabaja además en su punto óptimo de operación en

investigación en detalle de la conducción dinámica del tren en corta duración (Figura 5.1).

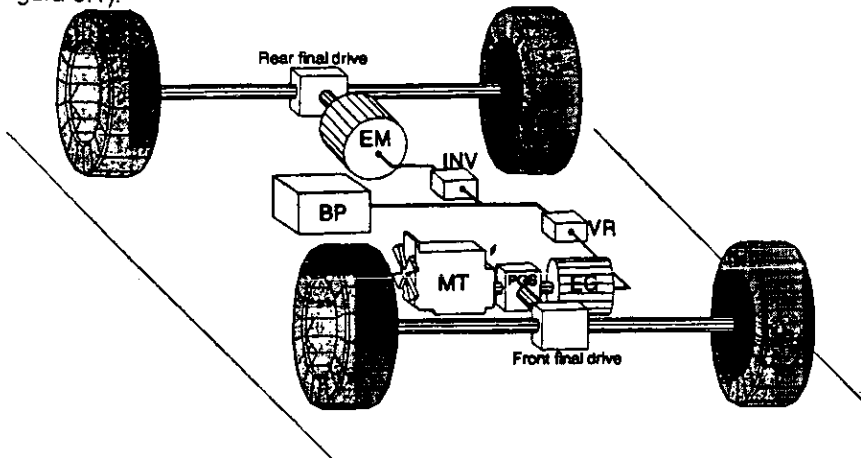


Figura 5.1

Las principales ventajas de este tren son:

- Comportamiento mecánico suave del MCI como en el tren de propulsión en serie.
- PT de tracción proporcionado directamente por el MCI y por el ME al mismo tiempo como en el tren de propulsión en paralelo.
- Mando en las 4 ruedas.

Los principales inconvenientes:

- Ligero incremento en el peso del sistema debido a la presencia del tren planetario de engranes TPE.
- El vehículo puede operar solamente con tracción eléctrica pero no con tracción térmica solamente.

Aunque este TTP fue propuesto hace algunos años, Toyota lo lanzó exitosamente en su VEH Prius al mercado japonés en 1998 y construyó 3000 autos mensuales en ese periodo. El vehículo que aquí se propone, tiene los mismos componentes pero en otro arreglo.

El TTP es el corazón del sistema propuesto y su configuración influencia la operación del generador eléctrico y la eficiencia de todo el sistema de tracción. Debido al TPE es posible compartir el PT de impulsión del MCI entre el generador eléctrico y el eje delantero; ésta es la principal característica que distingue al sistema propuesto del tradicional TTP en serie. En efecto, tal comportamiento, garantizado por la presencia del TPE permite a la transmisión mecánica que una parte del PT proporcionado por el MCI sea aplicado a las ruedas delanteras para

contribuir a la tracción del vehículo en conjunción con la potencia total entregada al eje trasero por el motor eléctrico.

### 5.3 ANÁLISIS CINEMÁTICO

#### 5.3.1 Trenes de engranes epicíclicos

La figura 5.2 muestra un tren de engranes epicíclico en su forma más elemental. El tren consiste de un engrane central (2) y un engrane epicíclico (4) el cual produce el movimiento epicíclico girando alrededor de la periferia del engrane central. Un brazo-manivela central (3) mantiene el ensamble de las ruedas que engranan entre sí y es concéntrico con el engrane central.

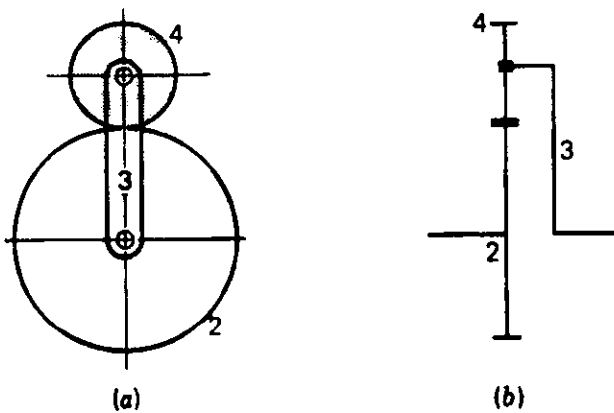


Figura 5.2

Estos trenes reciben también el nombre de planetarios dada su analogía con el sistema solar. En este caso el engrane (2) es el engrane sol, el engrane (4) es el planeta y al elemento (3) se le llama el portaplanetas.

En la figura 5.3 se observa un tren planetario con 2 planetas más los cuales son redundantes desde el punto de vista cinemático, pero dinámicamente hablando éste puede transmitir más fuerza de manera balanceada.

Por esta razón los arreglos planetarios se fabrican con tres o más engranes planetarios.

El tren epicíclico simple como el de la figura 4 muestra cómo el movimiento del planeta puede transmitirse a otro engrane central, en este caso el engrane 5 de dentado interno el cual recibe el nombre de corona.

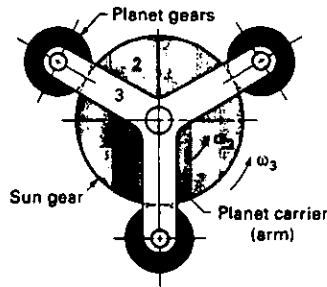


Figura 5.3

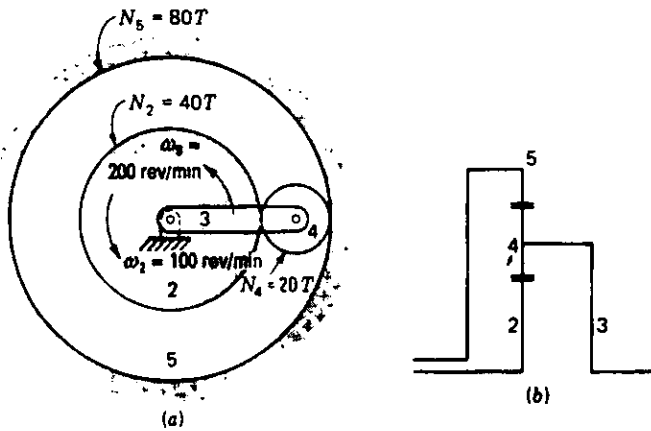


Figura 5.4

En la figura 5.5 se ve un arreglo análogo de adición de un engrane central impulsado por el engrane planeta, sólo que ahora éste último es de dentado externo.

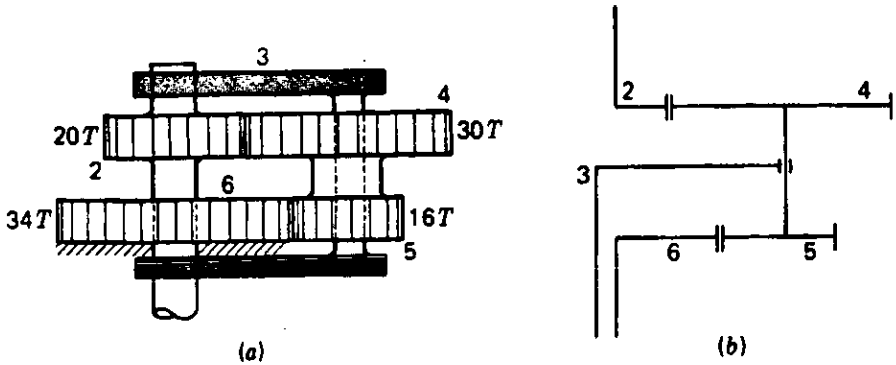


Figura 5.5

Independientemente de si el tren planetario es simple o compuesto, sólo se tiene un brazo portaplanetas.

**5.3.2 Cinemática del tren planetario.**

En la figura 5.6 se muestra un tren planetario de engranes compuesto por un engrane sol (2), un brazo (3) y los planetas (4 y 5). Usando la velocidad de velocidades aparentes o relativas se puede escribir la velocidad del engrane 2 relativa al brazo como:

$$\omega_{23} = \omega_2 - \omega_3 \tag{Ec 5.1}$$

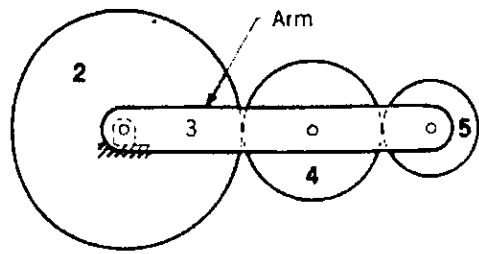


Figura 5.6

También la velocidad del engrane 5 relativa al brazo es:

$$\omega_{53} = \omega_5 - \omega_3 \tag{Ec 5.2}$$

Dividiendo la ecuación 5.2 entre la ecuación 5.1 se tiene:

$$\omega_{53}/\omega_{23} = \omega_5 - \omega_3 / \omega_2 - \omega_3 \tag{Ec 5.3}$$

Esta expresión denota la razón de la velocidad relativa del engrane 5 con respecto a la del engrane 2, ambas velocidades se toman relativas al brazo. Esta razón es la misma y es proporcional a los números de dientes ya sea que el brazo gire o no. A esta razón se le conoce como valor del tren.

Se puede reescribir en términos del valor del tren como

$$e = \omega_5 - \omega_3 / (\omega_2 - \omega_3) \tag{Ec 5.4}$$

También se puede escribir de la forma:

$$e = (\omega_L - \omega_A) / (\omega_F - \omega_A) \tag{Ec 5.5}$$

- Donde
- $\omega_F$  = la velocidad angular de la primera rueda del tren en rpm
  - $\omega_L$  = la velocidad angular de última rueda del tren en rpm
  - $\omega_A$  = la velocidad angular del brazo en rpm.

### 5.4 TRENES DIFERENCIALES

Los diferenciales son mecanismos de dos grados de libertad al igual que los planetarios comentados anteriormente ya que se requieren dos coordenadas (entrada), o se deben definir dos posiciones para que la posición de los elementos restantes quede totalmente definida.

Estos se usaban ya en la antigua China. Un ejemplo es este dispositivo el cual gracias a la acción diferencial mantenía a la figura 5.7 apuntando en la misma dirección durante el recorrido en línea recta y curvas.

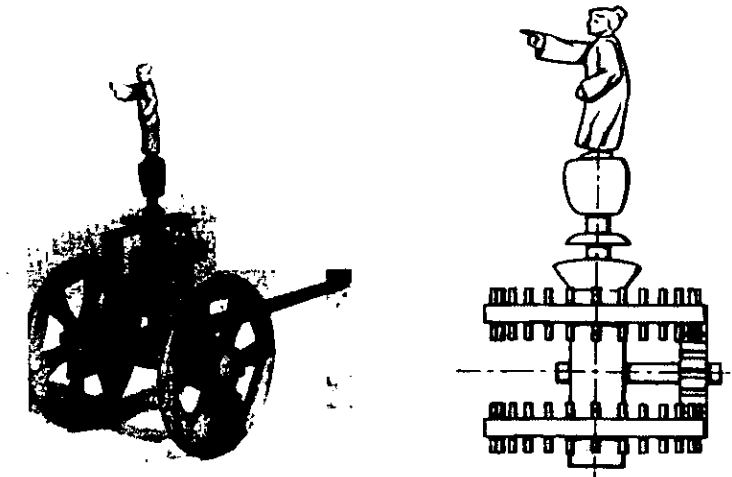


Figura 5.7

El problema dinámico queda completamente definido cuando se establece uno de los tres torques de los ejes. Para la unidad de potencia automotriz la condición más importante puede ser el PT impulsor  $M$  necesario para la tracción, así los torques  $m$  y  $m_o$  deben de coincidir con lo expresado en las ecuaciones 5 y la selección del valor de la relación  $\tau$  afecta el comportamiento cinemático y dinámico de este sistema de tracción híbrido.

Es importante notar que el comportamiento dinámico es controlado por medio de los pedales de freno y aceleración, los cuales actúan solamente sobre el equipo eléctrico de tracción conectado al eje trasero. Desde este punto de vista este vehículo se controla como un vehículo totalmente eléctrico. Esto es posible si se considera que el equipo híbrido que actúa sobre el eje delantero, el cual proporciona un par de tracción adicional cooperando así con la tracción del eje trasero, es caracterizado por una operación totalmente automática sin necesidad de un control externo. Más aún, el MCI no necesita tener un arrancador ya que el generador puede actuar como tal. A causa de que no hay modo de reversa, para impulsar el vehículo en reversa esto se hace sólo con el motor eléctrico.

## 5.6 FLUJO DE POTENCIA

De las ecuaciones anteriores de cinemática y dinámica es fácil calcular expresiones para la distribución de potencia en los ejes del TEP:

$$PDS = k \cdot M \cdot N = k \cdot m_o \cdot n_o \cdot M / m_o \cdot N / n_o = P_o \left[ \frac{\tau}{\tau - 1} \right] \left[ \left( \frac{1}{\tau} \right) \cdot \left( \frac{n}{n_o} \right) + (\tau - 1) / \tau \right]$$

$$PEG = k \cdot m \cdot n = k \cdot m_o \cdot n_o \cdot m / m_o \cdot n / n_o = P_o \left[ - \frac{1}{1 - \tau} \right] \cdot \left[ \tau \cdot \frac{N}{n_o} + (1 - \tau) \right] \quad (\text{Ec 5.11})$$

Donde PDS es la potencia que adquiere la flecha conductora (negativa),  $P_o$  es la potencia suministrada por el MCI (positiva) y PEG es la potencia absorbida por el generador eléctrico (negativa);  $k$  es una constante necesaria para expresar la potencia en watts si el PT es medido en Nm y la velocidad en rpm.

Las ventajas de la operación del TEP gobernada por la ecuación anterior, se manifiestan cuando se analiza la razón entre la potencia transmitida mecánicamente a las ruedas delanteras y la potencia proporcionada por el MCI; de hecho, este parámetro muestra la cantidad exacta de potencia de tracción puramente mecánica disponible con la cual el eje delantero coopera con el eje trasero impulsado por el motor eléctrico. En otras palabras, gracias a la presencia del TEP, el motor eléctrico tiene que proporcionar menor potencia que la de un híbrido convencional en serie. Más aún, la carga del generador eléctrico es también menor, con los evidentes beneficios sobre el costo de todo el equipo.

Un parámetro de razón de potencia puede ser expresado matemáticamente como una función de la razón de conversión del TEP  $\tau$ :

$$\rho = PDS / P_o = \left[ \frac{\tau}{\tau - 1} \right] \cdot \left[ \frac{N}{n_o} \right] \quad (\text{Ec 5.12})$$



Suponiendo la velocidad *no* del MCI fija, la potencia transmitida del MCI directamente a la flecha impulsora se incrementa linealmente con la velocidad del vehículo, relacionada con *N*. A baja velocidad la potencia de tracción es principalmente proporcionada por el impulsor eléctrico.

El efecto de esta forma de controlar la potencia de salida del MCI afecta la parte eléctrica del TTP del Prospecto y como se verá más abajo, se alcanza una serie de beneficios interesantes:

- Se tiene una carga reducida en el motor eléctrico.
- Se tiene una menor cantidad de flujo de energía a través del generador eléctrico.
- Se requiere un paquete de baterías menor debido al menor flujo de energía eléctrica.
- Se tiene una mejora en la eficiencia:
- La energía del MCI que fluye hacia el eje delantero a través del TEP está sujeta sólo a la eficiencia del TEP, la cual es por lo general alta. Esta es una gran ventaja contra la ciertamente baja eficiencia de la ruta a través del generador, el cargador de las baterías y el motor eléctrico ( sin considerar el posible paso a través del paquete de baterías ). Esta es una ventaja manifiesta en comparación a la ruta de flujo de energía de un sistema serie

## 5.7 SIMULACION APROXIMADA EN ADVISOR DEL MODELO PROPUESTO

Los datos para la simulación son los del Toyota Prius 1998 con configuración en paralelo. En el caso del Prius éste tiene una configuración que varía de serie a paralelo ya que el Prospecto es una variante de la configuración de éste.

➤ Area Frontal	2.0 m <sup>2</sup>
➤ Coeficiente de Arrastre	0.30
➤ Masa de Trabajo	600 Kg
➤ Distancia entre Ejes	2.55 m
➤ Radio de las Ruedas	0.20 m

La Estrategia de Control del TTP determina a qué PT y velocidad debe operar el MCI, para generar energía eléctrica a través del generador y la potencia mecánica transmitida directamente a las ruedas delanteras, dadas las condiciones de la demanda de potencia hecha por el conductor (posición del acelerador), el paquete de baterías y/o el MCI mismo. La Estrategia de Control, entonces define una correlación entre las condiciones de manejo y las condiciones de carga SOC del acumulador de energía eléctrica, por un lado y el punto de operación del MCI por otro lado.

5.7.1 Selección del Vehículo y Componentes

Para hacer la simulación completa del modelo habría que haber introducido el código del modelo con las modificaciones propuestas.

- El Convertidor de energía. Se seleccionó un MCI de ignición por chispa, es decir de gasolina el cual desarrolla una potencia máxima de 41 KW, es decir un poco más grande que el del Prius, ya que se espera que sea de mayor masa.
- El Paquete de baterías: Está formado por 25 módulos de baterías de plomo-ácido.
- El Motor Eléctrico. Se eligió de las mismas características del Prius con 31 Kw de potencia, trifásico sincrónico de CA de imán permanente representado por su mapa de eficiencia.
- La Transmisión. Es del tipo cvt con tren planetario para la opción de 4X4 al activar el MCI al eje delantero.

Vehicle Input - ADVISOR 3.1

File Edit Units Help

Vehicle Input

Motor Position post transmission

Component Plot Selection

fuel\_converter tc\_efficiency

Fuel Converter Operation  
Gear 1st (41kW) SI Engine - transient data

Torque (Nm) vs Speed (rpm) graph showing efficiency curves for different gear ratios (0.15, 0.25).

Component	version	type	mass [kg]	peak eff	off peak eff
Vehicle		VEH_SMCAR	632		
Fuel Converter	ic	FC_SMI_4000	41	0.34	1.31
Exhaust Aftertreat		EX_SI	11		
Energy Storage	bat	BES_PBS25	25	3.28	2.25
Energy Storage 2		bat 2 options			
Motor		MC_PRLS_JPN	31	0.91	5.7
Motor 2		motor 2 options			
Stator		stator options			
Generator		GC_EASC			
Transmission	cvt	TC_CV150_SUBARU	10.95		1.07
Transmission 2		trans 2 options			
Clutch/Torque Coupling		clutch/torque converter opto			
Torque Coupling		TC_PTH	1		
Wheel/Axle		WH_SMCAR	0		
Accessory		ACC_PRIUS_JPN			
Electric System		sec elec system			
Powertrain Control	par	PTC_PAR_CVT			

View Block Diagram BD\_PTH

Variable List

Components fuel\_converter Edit Val

Variables tc\_acc\_mass 21.0056

Save Help Back Continue

Figura 5.12 Configuración en Paralelo con características lo más cercano al modelo propuesto.

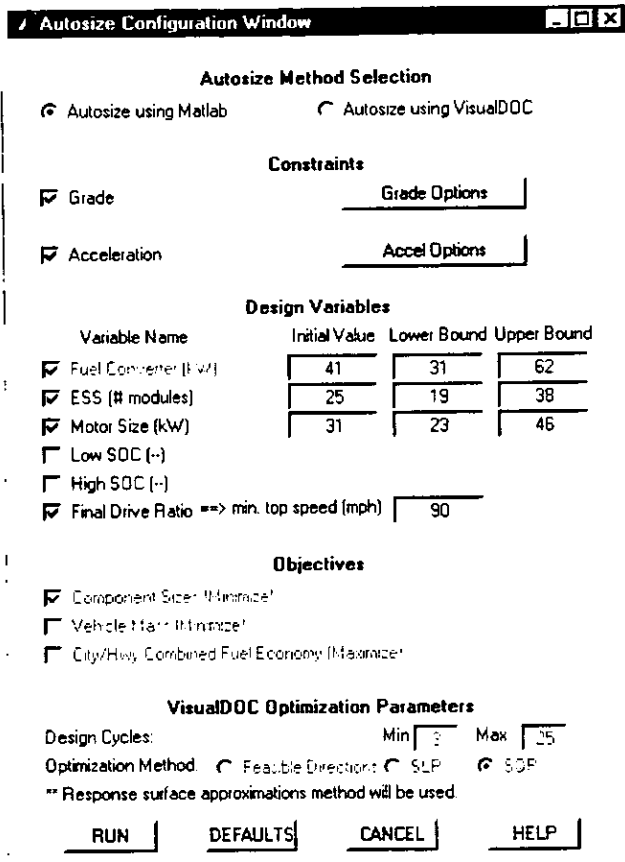


Figura 5.13 Autodimensionado

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN  
 CAPITULO 5 PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DEL TREN PROPULSOR DE UN VEHÍCULO EN  
 PARALELO

- El MCI seleccionado tendrá una potencia de 32 KW.
- El Motor Eléctrico y su controlador tendrán una potencia de 56 KW.
- El número de módulos para el sistema de almacenamiento de energía será de 20
- La velocidad máxima alcanzada será de 96 mph
- Masa máxima del vehículo 1242 Kg.

**Test Results**

Parameter	Initial Speed	Final Speed	Units	Constraint	Tolerance	Units
<input checked="" type="checkbox"/> Accel time #1	0	to 60	mph	<= 12	0.04	s
<input checked="" type="checkbox"/> Accel time #2	40	to 60	mph	<= 5.3	0.04	s
<input checked="" type="checkbox"/> Accel time #3	0	to 85	mph	<= 23.4	0.04	s

Figura 5.17 Resultados

Antes de proceder a la simulación, se define el ciclo de conducción bajo el cual se va a correr la simulación.

Ciclo: Consiste en un procedimiento de manejo de la velocidad del vehículo contra el tiempo que se usa para probar las características del vehículo y las baterías. El procedimiento de prueba de ciudad: Esta prueba corre las condiciones, comportamiento de ciudad (UDDS, Urban Dynamometer Driving Schedule) En este caso se selecciona un ciclo UDDS de manejo en ciudad. Estas son las características principales del ciclo mencionado, figura 5.18

time:	1369 s
distance:	7.45 miles
max speed:	56.7 mph
avg speed:	19.58 mph
max accel:	4.84 ft/s <sup>2</sup>
max decel:	-4.84 ft/s <sup>2</sup>
avg accel:	1.65 ft/s <sup>2</sup>
avg decel:	-1.88 ft/s <sup>2</sup>
idle time:	259 s
no. of stops:	17
max up grade:	0 %
avg up grade:	0 %
max dn grade:	0 %
avg dn grade:	0 %

Figura 5.18 Características Principales

ESCUOLA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN  
 CAPITULO 5 PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DEL TREN PROPULSOR DE UN VEHÍCULO EN  
 PARALELO

Se selecciona también una pendiente para el recorrido en carretera de 1.5%  
 figura 5.18.

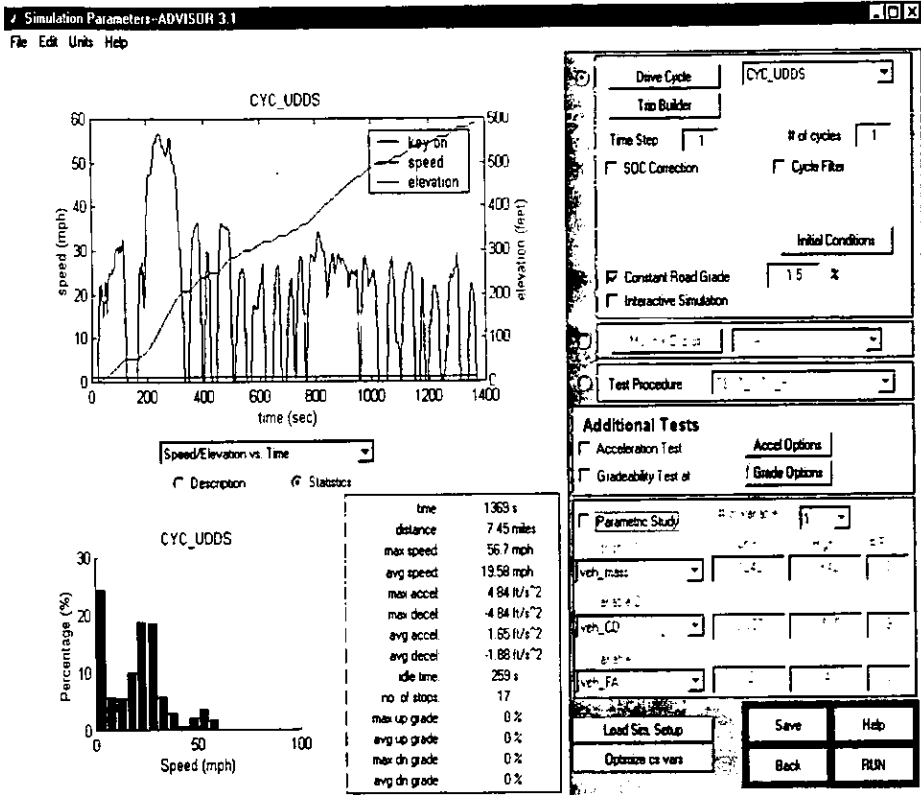


Figura 5.18 Corrida del vehículo con una pendiente

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN  
 CAPITULO 5 PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DEL TREN PROPULSOR DE UN VEHÍCULO EN  
 PARALELO

Se procede a continuación a correr la simulación para ver los resultados esperados.

### Results figure

Plot Variable (Select Axis First)	
acc_elec_pwr_in_a	plot control
# of plots	4

Fuel Economy (mpg)	35.6
Gasoline Equivalent	35.6
Distance (miles)	7.5

Standards

Acceleration Test	
0-60 mph (s): n/a	Max. Accel. (ft/s <sup>2</sup> ): n/a
40-60 mph (s): n/a	Distance in 5s (ft): n/a
0-85 mph (s): n/a	Time in 0.25mi (s): n/a
	Max. Speed (mph): n/a

Gradeability: n/a %

Energy Use Figure	Output Check Plots
Compare Results With:	Sim Data   Test Data

none

Replay	Back Two	Help
	Back	Exit

a) Tabla de resultados para el Modelo Propuesto

### Results figure

Plot Variable (Select Axis First)	
acc_elec_pwr_in_a	plot control
# of plots	4

Fuel Economy (mpg)	42.2
Gasoline Equivalent	42.2
Distance (miles)	7.5

Standards

Acceleration Test	
0-60 mph (s): n/a	Max. Accel. (ft/s <sup>2</sup> ): n/a
40-60 mph (s): n/a	Distance in 5s (ft): n/a
0-85 mph (s): n/a	Time in 0.25mi (s): n/a
	Max. Speed (mph): n/a

Gradeability: n/a %

Energy Use Figure	Output Check Plots
Compare Results With:	Sim Data   Test Data

b) Tabla de resultados del Prius

## CONCLUSIONES

### 1.- El vehículo Eléctrico Híbrido

En el mundo de hoy se presenta un nuevo paradigma que es el de crear un sistema de transportación sustentable compatible con el medio ambiente. Para ello es necesario crear nuevos vehículos y nuevas fuentes de energía. Los fabricantes de automóviles en todo el mundo están creando nuevas soluciones lo que finalmente conducirá a un nuevo concepto del vehículo de transporte individual.

Tomando en cuenta que los actuales vehículos consumen la mayor parte de la energía en mover su propio peso, los autos más pequeños, diseñados para el tráfico urbano y trayectos en caminos intervecinales, figuran como las opciones más viables. Estos actualmente ya son capaces de desarrollar hasta 100 mpg.

Actualmente existen en el mundo alrededor de 400 millones de automóviles y se espera que para el año 2020 éstos alcancen la cifra de más de un 1000 millones.

Es difícil predecir el perfil del auto eléctrico del futuro a mediano plazo ya que la tecnología está en desarrollo y cambia rápidamente.

Considerando sólo el vehículo en sí mismo, el Vehículo Eléctrico VE es mucho más eficiente que el Vehículo Convencional de Gasolina VC. Un vehículo eléctrico a base de baterías BEV opera a alrededor de 46 % de eficiencia, mientras que el VC opera a sólo el 18% de eficiencia. En otras palabras, aproximadamente el 46% de la energía tomada desde el contacto de electricidad de una toma convencional para cargar las baterías que darán propulsión al VE es aplicada a las ruedas de propulsión para producir trabajo útil. En contraste, sólo alrededor del 18% de la energía contenida en el tanque de combustible en forma líquida es transferida a las ruedas motrices en un VC.

Es difícil imaginar el futuro sin los VE. En el futuro próximo principalmente se tendrán VEH, muchos de ellos usando como convertidores de energía motores a diesel pequeños, eficientes y ecológicos, los cuales serán la mejor alternativa a los poderosos VC. Aún con problemas técnicos y económicos sin resolver, las Celdas de Combustible, ofrecen probablemente la mejor opción para una transportación óptima desde el punto de vista ambiental.

Si esta transportación no es ambientalmente benigna, en unos pocos años ésta puede causar problemas ambientales, sociales y económicos que nunca habían sido vistos a menos que hagamos algo ahora.

En esencia, los vehículos eléctricos de baterías BEV son la alternativa última ya que su energía proviene de la fuente de combustible usada para generar la electricidad. En Estados Unidos, el cual produce el 55 % de su energía

## GLOSARIO DE ADVISOR

### A

**ADVISOR:** La sigla para el Simulador de Vehículos Avanzados.

### C

**Capacidad** (de una batería): La cantidad total de carga, típicamente en Amper-hora (Ah), que puede retirarse de una batería totalmente cargada bajo condiciones específicas (de SAE J1715). Algunas veces, este valor es referido como  $C_n$ , lo cual es la capacidad de tasa particular de descarga semejante a la cual la batería está descargada en  $n$  horas. La capacidad disponible de una batería a una corriente constante es una función del valor al que se descarga. Este concepto se explica a mayor detalle en el estado de carga (SOC). La capacidad máxima de la batería, evaluada por ejemplo en  $C_5$ , puede sacarse desde la batería, dado que la corriente se reduce para no disminuir más adelante el voltaje mínimo de operación. Si una batería puede entregar realmente la carga para la que es clasificada es afectada también por la temperatura a la que se descarga y la historia de como la batería se ha usado. ADVISOR actualmente da mediciones de estos efectos de temperatura.

**Capacidad normal:** La especificación del fabricante del número total de amper-hora que pueden retirarse de una batería totalmente cargada para un valor específico de descarga, temperatura, y voltaje de tensión final de descarga. ✓

**Clasificación C/N:** La corriente constante que es numéricamente la capacidad dividida por  $N$ . El resultado aproxima de  $N$  (desde SAEJ1715). El  $C$  es el valor de la corriente nominal (ampers) relativa a la capacidad de la batería, donde la capacidad se define a un valor específico de descarga. Es común para los fabricantes de baterías dar una clasificación para la capacidad de una batería a una corriente de descarga relativamente baja.

**CVT:** Transmisión Continuamente Variable.

**Ciclo:** En un vehículo - la velocidad contra el tiempo que se usa para probar características del vehículo y de la batería.

### E

**Ecuación Peukert's:** La batería previa de ADVISOR es el modelo de ecuación que usó Peukert para rendir cuentas de la reducción observada en la capacidad actual constante del valor creciente de descarga. En el nuevo modelo de batería, esta reducción de capacidad es mantenida por imponer un límite menor de voltaje en la operación de la batería, pero la capacidad de carga de batería es utilizable. La ecuación de Peukert aplicada más adelante es por lo tanto para referencia y no uso en el modelo actual de batería.

En baterías, para la corriente más alta de descarga,  $I$ , hay generalmente menos carga,  $Q$ , disponible; como el número de Ampers aumenta, Horas-Amper utilizables disponibles de una batería "cargada". La ecuación de Peukert cuantifica este efecto.

La forma original de la ecuación es:

$$I^x \times t = C$$

donde

$I$  es corriente



generador se usa para arrancar el motor. El torque sobre el generador controla su velocidad y la velocidad del motor. Note que no hay agarre.

Tren Motriz en Paralelo: Los componentes de vehículos en paralelo incluyen un motor eléctrico, baterías, y un motor de combustión. Es nombrado paralelo porque ambos el motor eléctrico y el motor de combustión pueden dar torque para mover el vehículo. El motor eléctrico puede actuar en la parte, como un generador para frenar, y para cargar las baterías. La caja de cambios controla la estrategia eléctrica de apoyo. La caja de engranajes es de 5 velocidades. Los accesorios híbridos son una carga constante de potencia eléctrico.

Tren Motriz en Serie: Los componentes del vehículo en serie incluyen un convertidor de combustible, un generador, baterías, y un motor. El convertidor de combustible no maneja el eje de vehículo directamente. En lugar de eso, convierte energía mecánica directamente en energía eléctrica por medio del generador. Todo torque usado para mover el vehículo viene desde el motor. La caja de cambios es de una velocidad. La estrategia predeterminada de control es de potencia en serie. Los accesorios híbridos son una carga eléctrica constante.

Tren Motriz del Vehículo Eléctrico (EV): Los componentes del vehículo eléctrico incluyen baterías y un motor. Usa potencia eléctrica para mover al vehículo, y puede usar el motor como un generador para capturar energía al frenar para ser almacenada en la batería. La caja de engranajes es una velocidad. Los accesorios son una carga constante de potencia eléctrica.

Tren Motriz de la Celda de Combustible (FC): Los componentes del vehículo de celda de combustible incluyen un convertidor de combustible, baterías, y un motor. Es muy parecido al híbrido en serie, con una celda de combustible que reemplaza el generador y el convertidor de combustible. La estrategia predeterminada de control es un "termostato" donde el convertidor del combustible cambia de dirección hacia adelante cuando los límites exteriores SOC alcanzan el punto bajo ( $cs\_lo\_soc$ ) y se apaga cuando el SOC alcanza el conjunto alto indicado ( $cs\_hi\_soc$ ). Los accesorios híbridos son una carga constante de potencia eléctrico.

## V

Voc: Voltaje de Circuito Abierto.

BIBLIOGRAFÍA

- Fuente: Eco-Vehículos N°10; EcoAuto N°1; Vehículos Alternativos Ecológicos N°5 y 7 ; Hispano-Suiza/Pegaso, un siglo de camiones y autobuses
- Fuente: Vehículos Alternativos Ecológicos, N°7
- National Electric Vehicle Infrastructure Working Council, Record of Consensus, March 20, 1997.
- 1996 National Electric Code ® , Article 625, Electrical Vehicle Charging System Equipment, Section 625-22.
- Electric Power Research Institute, Personnel Protection Systems for Electric Vehicle Charging Circuits, EPRI TR-105939, December 1995.
- 1996 National Electrical Code ®
- Article 625, Electrical Vehicle Charging System Equipment, Section 625-2.
- 1996 National Electrical Code ®
- Article 625, Electrical Vehicle Charging System Equipment, Section 625-2.
- Institute at (916) 457-1103 or [www.calbo.com](http://www.calbo.com)
- National Fire Protection Agency, A98, Record of Proposals, Section 625-15. 8 Ibid.
- Saturn Hybrid Electric Vehicle Research Program HEV Testing Report Paper (PDF Format 538KB) Source: University of Maryland at College Park, Final Report (1/99)
- Integration of Fuel Cell Technology into the Virginia Tech 1998 Hybrid Electric FutureCar Paper Source: 1998 FutureCar Challenge Paper (preprint for 1999 SAE Congress - 3/99)
- For more related information on battery technologies, visit [Battery Thermal Management](#) and [USCAR's Electrochemical Energy Storage Technical Team](#) Web sites.
- [gasoline direct injection engine.](#)
- [\(DIATA\) engine](#)
- [DaimlerChrysler Citadel](#)
- Date of Event: Monday, September 14, 1998 Contact: Jack Groh FutureCar Challenge, Public Information Director (401)952-0886 cell (800)609-3488 pager
- [PROYECTO DE ZARAGOZA DE UN VEHICULO ELECTRICO](#)
- Mia Layne Birk y P. Christopher Zegras, Moviendo Hacia el Transporte Integrado que Planifica, Institución Internacional para la conservación de energía, Marzo 1993
- El Camino Danés Directorio, Ambiente Mejorado de Tránsito - - Un Catálogo de Ideas, 1993 Replogle, Michael, Concordancia de Transporte y Exige Gestión: Las Estrategias Vitales para la Obtención Limpia de Aire, Fondo Ambiental de Defensa, 1993. National Alternative
- Mia Layne Birk y P. Christopher Zegras, Moviendo Hacia el Transporte Integrado que Planifica, Institución Internacional para la conservación de energía, Marzo 1993
- El Camino Danés Directorio, Ambiente Mejorado de Tránsito - - Un Catálogo de Ideas, 1993
- Replogle, Michael, Concordancia de Transporte y Exige Gestión: Las Estrategias Vitales para la Obtención Limpia de Aire, Fondo Ambiental de Defensa, 1993.