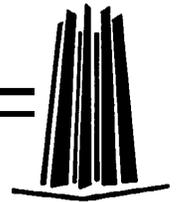


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“CONVERSIÓN DE UN VEHÍCULO CON MOTOR A GASOLINA A UN
MOTOR ELECTRICO. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MÉCANICO ELECTRICISTA**

PRESENTAN:

**OCTAVIO IGNACIO VILCHIS NESTOR
Y
SALVADOR MOISES BAUTISTA OLIVARES**

ASESOR:

M. en I. DAVID FRANCO MARTÍNEZ



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.

Dedico este trabajo a mis padres Procoro y Yolanda,
por su apoyo y sacrificio para alcanzar esta meta,
por su ejemplo trabajo diario como sendero para el éxito.

A toda la familia, en especial a mis hermanos Nelly
y Miguel Ángel su aliento y colaboración.

A Rafael, Luchita, Panchito y Hector que desde
donde estén lo celebran conmigo.

A Alma

Octavio I. Vilchis Nestor

Les dedico esta tesis a mis dos grandes apoyos, Hector y Maga,
que durante toda mi vida han sido más que mis padres,
a mis hermanos, Cony y Javier, que con su ejemplo he podido
seguir sus pasos, a mi sobrinita Paulina "la KUKIS" y a Mariana..
por estar, ya que han sido la motivación principal por la cual he
logrado alcanzar una de mis metas. Gracias!

Salvador M. Bautista Olivares

Agradecemos al M en I David Franco Martínez su asesoría en la elaboración de este trabajo.

A los integrantes del jurado, que con sus acertadas observaciones y sugerencias para hacer más atinado este trabajo

A la UNAM por darnos la oportunidad y las herramientas para buscar un México mejor.

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo I Contaminación Ambiental	
I.1. Contaminación ambiental	5
I.1.1 Introducción	5
I.1.2. Contaminantes Primarios	5
I.1.3 Contaminantes secundarios	6
I.2. Contaminación Atmosférica en la ZMVM	7
I.2.2. Área de estudio	8
I.3. Efectos sobre la salud	8
I.4. Inventario de contaminantes	12
I.4.1 Contaminantes del aire	12
I.4.2. Variaciones horarias	16
I.4.3 Variaciones estacionales	18
I.4.4 Calidad de los combustibles	18
I.4.5 Tecnología de combustión y control de emisiones	18
I.5. Impacto de los vehículos automotores en la contaminación atmosférica	20
I.5.1. Área de estudio	20
I.5.2. Fuentes Móviles	21
Capítulo II Análisis de Operación	
II.1. Introducción	28
II.1.1. Taxis de sitio	28
II.1.2. Taxis de libres	28
II.1.3. Taxis federales del aeropuerto	28
II.2. Condiciones geográficas	29
II.2.1 Condiciones geográficas de la ZMVM	29
II.2.2. Características del equipamiento urbano	30
II.3. Selección de vehículo	32
Capítulo III El vehículo eléctrico	
III.1. Antecedentes del vehículo eléctrico	36
III.2. Descripción de los sistemas del V.E.	37
III.2.1. Sistemas de motorización	38
III.2.1.1. Motores eléctricos de C.C.	39
III.2.1.2. Motores eléctricos de C.A.	42
III.2.3. Sistemas de control	47
III.2.4. Sistema de baterías	50
III.2.5. Sistema de transmisión	61
III.2.6. Sistema de frenado	65
III.2.7. Sistema de recarga	69
III.2.8. Sistemas auxiliares	73

Capítulo IV Propuesta de solución

IV.1. Propósito y alcance	75
IV.2. Análisis de prestaciones	76
IV.2.1. Datos técnicos del Sentra XE	76
IV.2.2. Cálculo de prestaciones	78
IV.2.2.1. Resistencia al avance	78
IV.2.2.2. Resistencia aerodinámica.	80
IV.2.2.3. Resistencia a pendientes	81
IV.2.2.4. Potencia necesaria	81
IV.2.2.5. Torque mínimo	83
IV.2.3. Selección de motor	86
IV.3. Dimensionamiento Energético	91
IV.3.1. Ciclo urbano de recorrido.	91
IV.3.2. Selección de baterías de tracción.	101
IV.4. Modificaciones a la unidad	105
IV.4.1. Sistema de frenos	105
IV.4.2. Sistema de suspensión.	108

Capítulo V Evaluación Económica

V.1. Evaluación económica	114
V.1.1 Introducción	114
V.1.2. Escenario	114
V.2. Inversión inicial	115
V.2.1 Vehículo eléctrico	115
V.2.2. Módulos de carga	115
V.2.3 Subestación eléctrica	116
V.2.4. Vehículo convencional	116
V.3. Costos de operación	117
V.3.1 Vehículo eléctrico	117
V.3.2 Vehículo convencional	117
V.4 Relación Costo-beneficio	
V.4.1. Ingresos	119
V.4.2 Relación costo – beneficio	119
Conclusiones	122
Anexos	124
Bibliografía	132

Introducción

El uso de los vehículos automotores ha permitido un amplio desarrollo de la sociedad en todos los aspectos. Sin embargo las características propias de los motores de combustión interna (exhalación de gases producto de la combustión, ruido, y otros) han impactado fuertemente en el medio ambiente. Un ejemplo de esto es la zona metropolitana de la ciudad de México, donde alrededor de 3 millones de automotores provocan severos problemas de contaminación del aire y otros.

El manual de Capacitación para Verificadores Vehiculares 2000, señala: "La ZMCM ocupa una extensión de cerca de 2'500 Km². En esta área se realizan aproximadamente más de 30 millones de viajes; con un parque vehicular total de cerca de 3 millones y medio de vehículos. El tráfico vehicular es responsable de mas del 70% de la contaminación por Hidrocarburos, CO y NO_x en el Valle de México."¹

Como lo demuestran las estadísticas, en la Ciudad de México gran parte de la contaminación ambiental es producida por los motores de combustión interna de los automóviles particulares; estos motores generan gran cantidad de gases que contribuyen a enrarecer el aire.

La Comunidad Económica Europea estableció un estándar de ciclo urbano de manejo, denominado ECE-15. En la siguiente se compara el nivel de emisiones contaminantes para cada uno de los tipos de vehículos con propulsión de gasolina diesel y eléctrica expresados en mg/Km, medidos en dicha prueba.

Tabla 0.1⁴

	Gasolina	Diesel	Eléctrico
Polvo	15	135	26
SO ₂	100	220	630
NO _x	880	840	276
HC	310	300	16
CO	2150	2140	27
CO ₂	234	214	126

Considerando el ciclo completo de emisión que incluye, producción de electricidad, transporte de combustible y distribución, los resultados de las emisiones contaminantes expresada en Kg por cada 100 Km, fueron las siguientes:

Tabla 0.2⁴

	Gasolina	Diesel	Eléctrico
Polvo	-	0.019	0.0043
SO ₂	0.005	0.027	0.04
NO _x + HC	0.098	0.098	0.026
CO	0.27	0.27	0.0025
CO ₂	0.0258	0.0198	0.0010

¹ Manual de Capacitación de Verificadores, SMA GDF 2000

⁴ Larrondé Emilio, Autos Eléctricos. Universidad de Zaragoza.

Otro problema actual, es la disposición limitada de reservas de hidrocarburos; estas reservas están calculadas para aproximadamente 30 años o 40 años; esto implica que, al depender de los hidrocarburos. la actual tecnología de transportación será inoperante en poco tiempo, lo que implica un serio problema de transporte.

El uso de vehículos eléctricos, que no presenten los inconvenientes de los motores de combustión interna es una importante alternativa para resolver esta problemática. La tecnología de motorización también genera contaminación, al producir la energía eléctrica en las centrales eléctricas, pero esta se encuentra localizada y es un poco más fácil su control.

La adaptación de un vehículo comercial para este propósito, nos permite concentrarnos en la adaptación del tren motriz del vehículo; utilizando los sistemas restantes, haciendo su desarrollo mucho más económico.

Su aplicación en el apartado del servicio de transporte personal es un área poco desarrollada, que sin embargo es susceptible de ser explotada. Los beneficios que presenta como: bajo costo de operación, alta eficiencia, y bajo nivel de impacto ambiental son sumamente atractivos para los concesionarios; sin embargo, el alto costo inicial puede ser una desventaja; que sin embargo podría ser subsanada con apoyos gubernamentales.

¿Qué se ha hecho?

La utilización de la energía eléctrica para la propulsión de los vehículos automotores comienza a la par de la utilización de derivados del petróleo; sin embargo la conveniencia de estos últimos determina su mejor aceptación para los fines de locomoción.

La utilización de automotores eléctricos en la actualidad, se encuentra principalmente en sistemas de transportación masiva como los trenes Interurbanos (metro) ferrocarriles, trolebuses eléctricos, ciertas aplicaciones de carga y recreativas (carros de golf).

En los EU existe ya un mercado comercial de automóviles eléctricos, las grandes armadoras (GM, Honda Toyota, etc.) tiene versiones eléctricas de algunos de sus modelos; sin embargo estos modelos se ofrecen como "lo mas reciente de la tecnología", que como una opción real de transporte; esto implica que su impacto en el mercado sea todavía bajo. También existen compañías que se dedican a desarrollar vehículos comerciales diseñados y armados por ellos mismos, como son: Solectria, Ultimate, y otras. En Europa la situación es muy similar, sin embargo los europeos tienen un mercado de uso particular mas desarrollado.

Los gobiernos han tratado de incentivar la presencia de estos vehículos, el gobierno del estado de California, promulgo una ley por la cual a partir de 1997, el 10% de los vehículos vendidos en ese estado tendrían que ser vehículos catalogados como “cero emisiones”, es decir no contaminantes.

¿Qué enfoque se le dará?

El objetivo del presente documento es el de analizar las condiciones necesarias para realizar la sustitución de la planta motriz a gasolina de un automóvil, a un motor eléctrico, utilizando la mayor cantidad de componentes originales del vehículo, para esto se establecerán los parámetros que deberá cubrir

El 1er. Capitulo presenta un panorama acerca de la contaminación atmosférica en la Zona metropolitana del Valle de México. Esto es debido al impacto en la salud publica que representa la emisión de gases provenientes de los sistemas de motorización de los vehículos automotores.

El 2do. capitulo presenta un análisis sobre las condiciones de operación de los vehículos de transporte publico de pasajeros (taxis), las características del equipamiento urbano dentro del cual se operará el vehículo, y las características de los vehículos a considerar para su selección.

El 3er. capitulo versa acerca de la tecnología existente para los vehículos eléctricos, esto es para conocer el estado de desarrollo de las tecnologías aplicables al vehículo, conocer sus ventajas y desventajas de los equipos, para su aplicación a determinadas condiciones.

El 4to. Capitulo presenta las características del vehículo, los cálculos de resistencia la avance, de potencia y torque mínimo que debe cubrir el motor, el dimensionamiento energético para el calculo de el sistema de baterías de tracción, la selección de componentes del sistema de propulsión, del sistema de baterías de tracción, las modificaciones necesarias en el vehículo, para su impulsión con el sistema motriz eléctrico.

Finalmente el 5to. capitulo presenta una comparación entre los costos de operación del vehículo eléctrico y el vehículo de propulsión convencional, ambos en un régimen de operación comercial. Esto para poder conocer si económicamente es viable un proyecto similar, cual es el tiempo de retorno de la inversión, y las ventajas económicas que presenta sobre la operación de vehículos convencionales.

Capitulo I

Contaminación Ambiental

I Contaminación Ambiental

I.1.- Introducción

La explotación intensiva de los recursos naturales y el desarrollo de grandes concentraciones industriales y urbanas en determinadas zonas, son fenómenos que, por incontrolados, han dado lugar a la saturación de la capacidad asimiladora y regeneradora de la Naturaleza y pueden llevar a perturbaciones irreversibles del equilibrio ecológico general, cuyas consecuencias a largo plazo no son fácilmente previsibles.

La lucha contra la contaminación del aire, de las aguas y del suelo, así como de todos los integrantes de la biosfera, no son sino aspectos parciales e interrelacionados que han de tenerse en cuenta al abordar acciones o programas de actuación para la defensa del medio ambiente.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación con fecha del 28 de Enero de 1988, en su artículo tercero; define el concepto de *“Ambiente; como el conjunto de elementos naturales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.”*²

En dicho texto se define a los contaminantes como : *“Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.”*²

Por contaminación atmosférica, se define : *“La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.”*²

Una primera clasificación de estas sustancias, atendiendo a cómo se forman, es la que distingue entre contaminantes primarios y contaminantes secundarios.

I.1.2 Contaminantes primarios

Entendemos por contaminantes primarios aquellas sustancias contaminantes que son vertidas directamente a la atmósfera. Los contaminantes primarios provienen de muy diversas fuentes dando lugar a la llamada contaminación convencional. Su naturaleza física y su composición química es muy variada, si bien podemos agruparlos atendiendo a su peculiaridad más característica tal como su estado físico (caso de partículas y metales), o elemento químico común (caso de los contaminantes gaseosos).¹⁴

² Ley de Equilibrio Ecológico

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

Entre los contaminantes atmosféricos más frecuentes que causan alteraciones en la atmósfera se encuentran:

- Aerosoles. (en los que se incluyen las partículas sedimentables y en suspensión y los humos).
- Óxidos de azufre, SO_x.
- Monóxido de carbono, CO.
- Óxidos de nitrógeno, NO_x.
- Hidrocarburos H_nC_n.
- Ozono, O₃.
- Anhídrido carbónico, CO₂.

Además de estas sustancias, en la atmósfera se encuentran una serie de contaminantes que se presentan más raramente, pero que pueden producir efectos negativos sobre determinadas zonas por ser su emisión a la atmósfera muy localizada. Entre otros, se encuentran como más significativos los siguientes:

- Otros derivados del azufre.
- Halógenos y sus derivados.
- Arsénico y sus derivados.
- Componentes orgánicos.
- Partículas de metales pesados y ligeros. Como el plomo, mercurio, cobre, zinc.
- Partículas de sustancias minerales, como el amianto y los asbestos.
- Sustancias radiactivas.

I.1.2 Contaminantes secundarios

Los contaminantes atmosféricos secundarios no se vierten directamente a la atmósfera desde los focos emisores, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la misma.¹⁴

Las principales alteraciones atmosféricas producidas por los contaminantes secundarios son:

- la contaminación fotoquímica.
- la acidificación del medio.

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

I. 2.- Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México

A pesar de que la contaminación atmosférica constituye un hecho cotidiano en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la circunstancia de vivir bajo un cielo turbio es, en realidad un fenómeno reciente. La parte más importante en la historia del deterioro del aire en la ciudad de México se ubica en los últimos 40 años, como resultado del desarrollo y la agudización de múltiples desequilibrios de carácter económico urbano, energético social y ambiental.

Entre ellos destaca un rápido crecimiento de la población que ha nutrido la expansión urbana sin precedente.

También debe reconocerse el papel del urbanismo funcionalista y sus modalidades de uso especializado del suelo, que obliga a un creciente desplazamiento de personas y bienes, magnificando la demanda de transporte.

El transporte privado ha sido privilegiado sobre el colectivo, a pesar de su ineficiencia energética y su baja capacidad como medio de transportación.

La contaminación del aire es un fenómeno complejo que depende de las siguientes variables:¹⁴

e = Cantidad de energéticos consumidos, en este caso en la ZMVM, incluyendo gasolina, diesel, gas LP, gas natural, electricidad etc..

c = Calidad y tipo de combustibles empleados; estos aspectos influyen en la calidad de los procesos de conversión de energía.

d = Tipo, estado y operación de los equipos de combustión y los procesos industriales prevaletes, esto influye en la eficiencia de la combustión.

t = Existencia y operación de tecnologías de control de combustión y emisiones tanto de vehículos como en plantas industriales y de servicios; La implantación de dichos sistemas, reducen el impacto de la operación de las plantas y los vehículos, en la calidad del aire.

s = Estado de cubierta vegetal (u otro tipo) y la textura y granulometría de los suelos en las zonas suburbanas y no urbanas que rodean la ciudad.

m = Condiciones meteorológicas del área, que dependen tanto de la estación estival, como del microclima de la zona.

q = Físicoquímica atmosférica, que define los procesos y productos de interacción entre los diferentes contaminantes.

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

De esta manera la calidad del aire en cualquier momento a puede describirse como :

$$a = f(e, c, d, t, s, m, q), \quad (1.1)^{14}$$

$$\text{donde } e, c, d, t, s, = f(p, i, b, r) \quad (1.2)^{14}$$

con :

p = precios relevantes

i = impuestos relevantes

b = subsidios relevantes

r = Normas y regulaciones relevantes

1.2.2. Área de Estudio

Entre las mayores metrópolis latinoamericanas la ZMVM es la única situada a una altura de 2240 m.s.n.m. , con una extensión de 2000 Km² y esta enclavada sobre la porción suroeste de una cuenca lacustre de fondo plano limitada por grandes complejos montañosos de origen volcánico. Si bien el clima es benigno para la comodidad humana, algunos factores son desfavorables para la dispersión de los contaminantes, por ejemplo la alta incidencia de aire en calma sobre todo en temporadas cálidas.

En la actualidad la cuenca de México presenta severas alteraciones hidrológicas y ecológicas; prácticamente tres cuartas partes de sus bosques de coníferas y encinos han desaparecido y se ha desecado casi la totalidad de sus lagos originales, mientras que dos tercios de sus tierras no urbanizadas presentan un avanzado proceso de erosión.

1.3. Efectos en la salud de los contaminantes de mayor interés:

Los efectos de la contaminación del aire pueden variar desde la simple irritación transitoria hasta enfermedades agudas o incluso la muerte, en función de la magnitud de los niveles de concentración y de los periodos de exposición de la población afectada. La calidad del aire y los efectos sobre la salud son funciones extremadamente complejas. La asociación sobre un contaminante y una enfermedad o una defunción puede ser más accidental que causal. La muerte y la enfermedad representan solo el extremo límite de la gama de respuestas. Esto, aunado al hecho que la duración y variabilidad de los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos a los que se encuentra expuesta la población es difícil de estimar con precisión, determina una significativa incertidumbre en la identificación y cuantificación de las relaciones causa-efecto.¹⁴

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica. Ed. Limusa*

Monóxido de carbono CO

Al inhalarse, el CO interviene con el transporte de Oxígeno O_2 a los tejidos, porque la hemoglobina tiene una afinidad 200 mayor por el CO que por el O_2 reaccionando con ella y formando carboxihemoglobina, (COHb), limitando la distribución de O_2 al cuerpo. A niveles de 5% a 10% de COHb en el torrente sanguíneo, se deteriora la percepción visual, la destreza manual y la habilidad para aprender; (una concentración de 50 ppm de CO durante 8 horas ocasiona un nivel de 7.5% de COHb). Al aumentar la exposición se va perdiendo la capacidad respiratoria, hasta provocar la muerte.¹⁴

Óxidos de Nitrógeno

Estudios de salud ocupacional han demostrado que el dióxido de nitrógeno puede ser fatal a concentraciones elevadas. A menores niveles, pero todavía mayores a los que se respiran en el aire ambiental, irrita los pulmones, es causa de bronquitis y neumonía y provoca la disminución de la resistencia a infecciones respiratorias. Su acumulación en el cuerpo disminuye la capacidad de respuesta en los procesos inflamatorios.¹⁴

Hidrocarburos

Su importancia estriba en su contribución a la formación de ozono y por lo tanto en sus efectos. Además, ciertos hidrocarburos cíclicos como el benceno, resultan altamente cancerígenos. Entre estos compuestos caracterizados por su alta toxicidad como: el benceno el formaldehído el acetilaldehído y los hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA), pueden producir diversos tipos de cáncer en los órganos internos.¹⁴

Ozono

Es un irritante de los pulmones y de los ojos, la exposición frecuente puede ocasionar inflamación pulmonar, reducción de la capacidad pulmonar, depresión del sistema inmunológico y otros efectos en órganos blandos como el hígado.¹⁴

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

Tabla 1.1 Respuesta humana a exposiciones de ozono (O³)¹⁴

<i>Respuesta</i>	<i>Sujetos</i>	<i>Condiciones de exposición</i>
Decremento del 5% – 10% de la función respiratoria	Hombre jóvenes sanos	0.18 ppm con ejercicio pesado intermitente por 2 horas
Incremento en tos	Niños sanos Hombre jóvenes sanos	0.10 ppm en aire ambiental 0.12 ppm con ejercicio pesado intermitente por 2 horas
Funcionamiento atlético reducido	Hombre jóvenes sanos Hombre y mujeres jóvenes sanos Hombre jóvenes sanos	0.08 ppm con ejercicio moderado por horas 0.12 – 0.13 ppm con ejercicio pesado por 16-28 minutos 0.18 ppm con flujo respiratorio de 54 lt/min por 30 minutos
Incremento actividad nasal	Hombre jóvenes sanos Hombre adultos con rinitis alérgica	0.08 ppm con ejercicio moderado por 6 horas 0.18 ppm con ejercicio pesado por 2 horas
Incremento permeabilidad nasal	Hombre jóvenes sanos	0.40 ppm con ejercicio moderado por 6 horas
Incremento en inflamación nasal	Hombre sanos	0.08 ppm con ejercicio moderado por 6 horas
Paso de partículas traqueo bronquial acelerado	Hombre sanos	0.20 ppm con ejercicio ligero por 2 horas

Bióxido de Azufre

El bióxido de azufre es un irritante muy soluble, ello provoca que la mayor parte del que se inhale se absorba por la nariz y las vías respiratorias superiores, como consecuencia muy escasa cantidad llega a los pulmones. En una atmósfera contaminada con partículas de bióxido de azufre es particularmente perjudicial pues paraliza los cilios epiteliales del tracto respiratorio. Sin la acción regular de estos, las partículas pueden penetrar en los pulmones y sedimentarse.¹⁴

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

Tabla 1.2 Efectos del bióxido de azufre sobre la salud humana¹⁴

Concentración (ppm)	Tiempo de Exposición	Efectos
0.15 – 0.25	1 – 4 días	Respuestas Cardiorespiratorias
1.0 – 2.0	3 - 10 minutos	Respuestas Cardiorrespiratorias en individuos sanos
5.0	1 hora	Sofocamiento e incremento de resistencia en los pulmones
10.0	1 hora	Peligro severo, hemorragias nasales

Partículas Suspendidas

Una gran cantidad de partículas sólidas y líquidas se lanzan al medio ambiente como producto de las emisiones industriales no controladas. Estas partículas suspendidas incluyen diversos compuestos químicos – sobre todo sulfatos, nitratos, carbón orgánico y compuestos orgánicos -. Según sus características físicas y químicas, las partículas pueden producir diversos daños, que van de leves irritaciones del sistema respiratorio hasta enfermedades mortales. Las partículas finas, conocidas como PM10 – de tamaño menor a 10 micrómetros – son especialmente nocivas porque pueden penetrar a las cavidades pulmonares sin ser captadas por la acción de limpieza natural del sistema respiratorio. La EPA estima que más del 8 % del cáncer de pulmón de no fumadores se debe a PM10 contenidas en las emisiones de los vehículos que funcionan con Diesel. Se calcula que en la Ciudad de México, más de la mitad de la población está expuesta a concentraciones de PM10 por arriba de la norma, por lo que esto podría ser uno de los principales factores de mortalidad.¹⁴

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

I.4 .- Inventario de Contaminantes de la ZMVM y sus fuentes.

I.4.1 Los contaminantes del Aire

En la atmósfera de la ZMVM se encuentra presente una amplia variedad de sustancias. Entre éstas las más importantes para evaluar la calidad del aire son las siguientes:

Partículas suspendidas totales
Monóxido de carbono
Óxidos de azufre
Óxidos de nitrógeno
Hidrocarburos
Ozono y otros oxidantes fotoquímicos.

Los primeros cinco son sustancias emitidas en forma directa por la combustión, procesos industriales y ciertos procesos naturales como los incendios; por ello se les conoce como contaminantes primarios. El ozono pertenece a los llamados contaminantes secundarios; éstos se producen en la atmósfera como resultado de reacciones fotoquímicas entre contaminantes primarios, principalmente los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos.

Partículas suspendidas totales (PST)¹⁴

Las PST pueden estar constituidas por una gran diversidad de sustancias. Las partículas de origen natural se componen principalmente de suelos y ocasionalmente por partículas de origen biológico.

Las que provienen de la combustión generalmente están integradas por partículas atomizadas y cenizas del combustible. Las PST son dispersadas y depositadas de nuevo en la superficie de acuerdo a sus propiedades sedimentables y con los patrones meteorológicos en un momento determinado.

Entre las partículas suspendidas que representan un mayor problema de estudio se encuentran las siguientes:

Partículas menores a 10 micrómetros (PM10)

Debido a su tamaño éstas se sedimentan a una velocidad tan lenta que pueden ser inhaladas, lo que incrementa el potencial tóxico y/o patógeno de sus componentes. La combustión de combustibles fósiles representa el proceso de emisión más relevante de este tipo de partícula.¹⁴

Partículas menores a 2.5 micrómetros (PM2.5)

En esta categoría se incluyen las partículas inhalables de mayor penetración en el sistema respiratorio y por tanto las más dañinas a la salud y las que por su tamaño (situado en el rango de las longitudes de onda de la luz) interfiriendo con la dispersión de la luz contribuyendo a la disminución de la visibilidad.¹⁴

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

Monóxido de Carbono (CO)¹⁴

Este es el más abundante y más distribuido de todos los contaminantes del aire; representa un subproducto de la combustión incompleta. Las máquinas de combustión interna y en la mayoría de los quemadores estacionarios, la dinámica de la relación aire/combustible y la misma operación de estos impiden la oxidación total. Como resultado se emite una mezcla de combustible no quemado, hidrocarburos de menor orden producidos por la flama, hidrocarburos parcialmente oxidados, monóxido de carbono, dióxido de carbono, y agua. La proporción de dichos gases dependen de manera significativa de la relación aire/combustible, del tiempo de ignición, del diseño de la cámara de combustión y del tipo de combustible. A nivel mundial no se ha observado ningún cambio significativo en las concentraciones de CO atmosférico durante los últimos 20 años a pesar de que la distribución antropogénica se ha duplicado en el mismo periodo.

Óxidos de azufre (SO_x)¹⁴

Bajo condiciones ambientales, los óxidos de azufre gaseoso se presentan como dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre (SO₃). Las emisiones de estos compuestos provienen principalmente de la combustión como resultado de la oxidación de azufre inorgánico y orgánico contenido en los combustibles.

Los SO_x contribuyen a incrementar los problemas de partículas respirables y de visibilidad por medio de la formación de sulfatos y la aglomeración de otros gases y partículas con las que interactúan. Por otra parte, estos compuestos actúan como precursores en la formación de lluvia ácida a través de reacciones fotoquímicas. El trióxido de azufre es un intermediario importante en la cadena de oxidación del azufre que conlleva a la producción tanto de ácido sulfúrico como de sulfatos.

Hidrocarburos no metano¹⁴

Las existencias de hidrocarburos en la atmósfera incluyen hidrocarburos no quemados y otras especies de formadas durante la combustión, así como los compuestos orgánicos volátiles. En el siguiente cuadro se enlistan los hidrocarburos más comúnmente encontrados en el aire.

Oxidos de Nitrógeno (NO_x)¹⁴

El nitrógeno forma siete diferentes óxidos, de los cuales solo el ácido nítrico y el dióxido de nitrógeno se presentan como contaminantes importantes del aire, aunque otras cuatro variedades pueden participar en el conjunto de reacciones que provocan los oxidantes fotoquímicos.

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

Tabla 1.3. Hidrocarburos más comunes¹⁴

No. De carbonos	Compuesto	No. de carbonos	Compuesto
1	Metano	6	2-2 -Dimetilbutano 2-3 -Dietilbutano cis-2-hexano trans-2-hexano cis-3-hexano trans-3-hexano
2	etano acetileno		
3	propano propileno propadieno metil acetileno		2-metil-1-penteno 4-metil-2-penteno benceno ciclohexano
4	butano isobutano 1-buteno cis-2-buteno trans-2-buteno isobuteno 1,3-butadieno	7	metil ciclopentano 2-metil hexano 3-metil hexano 2,3-dimetil pentano 2,4-diemtil pentano tolueno
5	pentano isopenteno 1-penteno cis-2-penteno trans-2-buteno isobuteno 1,3-butadieno	8	2,2,4-trimetil-pentano o-xileno m-xileno p-xileno
		9	m-etiltolueno p-etiltolueno 1,2,4-trimetilbenceno 1,2,5-trimetilbenceno
6	hexeno 2-metil pentano 3-metil pentano	10	sec.butilbenceno alfa-pineno beta-pineno 3-careno limonelo

Los NO_x que se forman durante la combustión son el producto de la oxidación del nitrógeno atmosférico o bien de la oxidación del nitrógeno orgánico presente en el combustible. En el primer caso, la producción de NO_x se favorece a medida que se aumenta la temperatura y, como resultado de esta dependencia, la producción de NO y NO₂ es función también de la relación aire/combustible¹⁵.

¹⁵ Gutierrez G. Ernesto Sistema de Inyección no cartografico ESETI Barcelona

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

Bajo condiciones ricas (de alta proporción de combustible) disminuyen los niveles de O_2 y la temperatura, por lo que la producción de NO_x es también baja. A medida que aumenta la relación Aire/Combustible, la temperatura aumenta y la producción de NO_x se incrementa.

Aparte de actuar como elementos centrales en los procesos de generación de ozono y otros oxidantes fotoquímicos, las emisiones de NO_x pueden ser convertidas en nitratos que son partículas finas que incrementan los problemas de partículas respirables.¹⁴

Oxidantes fotoquímicos Ozono O_3 , peroxiacetilnitrato, PAN, etc.)

Los oxidantes fotoquímicos son contaminantes secundarios; es decir, no son descargados directamente a la atmósfera, sino que se forman a través de una serie de reacciones fotoquímicas catalizadas por la radiación solar. De estos el ozono es el compuesto más abundante en las atmósferas urbanas. El ciclo fotoquímico se muestra en la siguiente figura¹⁴

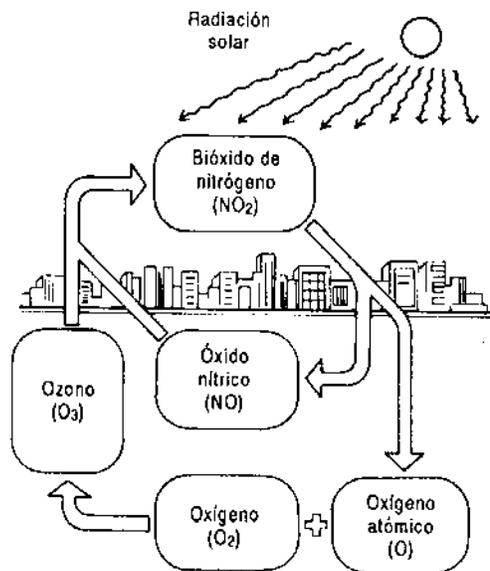


Fig. 1.1 Ciclo Fotoquímico de los óxidos de nitrógeno¹⁴

Las concentraciones de ozono y otros oxidantes fotoquímicos se incrementan cuando los HC y otros productos secundarios de estos reaccionan con el NO. Los HC también reaccionan con el oxígeno atómico para generar compuestos oxidantes y radicales libres que interactúan con el NO en la fig. 1.2. se muestra este ciclo

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica. Ed. Limusa*

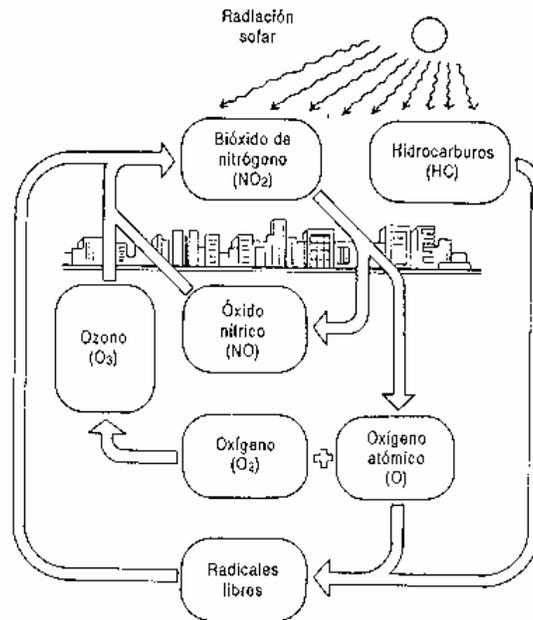


Fig. 1.2. Influencia de los hidrocarburos en el ciclo fotoquímico atmosférico de los óxidos de nitrógeno¹⁴

I.4.2. Variaciones horarias

La concentración de cada contaminante medida al nivel del piso en un sitio determinado fluctúa en función de los patrones de actividad urbana, de las condiciones meteorológicas propias del ciclo diario y de sus características fisicoquímicas.

Monóxido de carbono (CO)

El origen de este contaminante es principalmente vehicular. El máximo que se presenta en la mañana alrededor de las nueve horas coincide en el tiempo con el periodo de máximo tránsito urbano. El segundo máximo, es inferior en magnitud al primero, está directamente relacionado con el incremento de tránsito que ocurre al final de la jornada diurna, el cual se extiende desde las 18:00 hasta las 21:00 horas, aproximadamente.¹⁴

Bióxido de azufre (SO₂)¹⁴

El bióxido de azufre lo emite principalmente el sector industrial y su perfil de concentraciones a lo largo del día denota el comportamiento típico de una sustancia proveniente de chimeneas altas. Presenta una concentración máxima matutina por acumulación alrededor de las 9:00 horas, que coincide con el rompimiento de la estructura de inversión térmica.

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

La concentración decrece a medida que la circulación del aire diluye al contaminante hasta un mínimo alrededor de las 15:00 horas.¹⁴

Hidrocarburos (HC)

La existencia de estos contaminantes en la atmósfera incluyen hidrocarburos no quemados y otras especies formadas durante la combustión, así como los compuestos orgánicos volátiles emitidos en diversas actividades industriales y en la fabricación, almacenamiento y aplicación de solventes y pinturas.

Los HC han dejado de constituir por sí mismos, un parámetro de calidad del aire debido a la amplia diversidad de especies y a sus diferentes propiedades tóxicas y de reactividad. La principal razón para su control radica en que son precursores de oxidantes fotoquímicos (ozono y otros). El máximo matutino de acumulación es a las 8:00 horas atribuible a las emisiones vehiculares. El mínimo diario se presenta alrededor de las dos de la tarde, hora de intensa actividad fotoquímica en la que la mayor parte de los HC reaccionan para formar otros compuestos catalizando la generación de ozono. Por la tarde los HC vuelven a repuntar para alcanzar su máximo nivel a las 22:00 horas. Quizá esto se deba al incremento de tránsito al final de la jornada de trabajo y a las condiciones meteorológicas propias de esta hora del día en que la formación de inversiones térmicas de superficie limita la dilución de contaminantes hasta que el perfil de inversión se amplía horas más tarde.¹⁴

Óxido de nitrógeno (NO_x)

Las concentraciones a nivel del piso de los óxidos de nitrógeno son atribuibles tanto a la industria como al transporte, por lo que en su comportamiento diario se conjugan ambos patrones de actividad.¹⁴

Ozono (O₃)

La máxima concentración de O₃ coincide también con bajos niveles de NO_x, lo cual ocurre entre las 12:00 y las 14:00 horas. Por la tarde, a medida que decae la radiación solar y la temperatura, las concentraciones de O₃ también se abaten, mientras que las de NO_x y HC vuelven a incrementarse. Es evidente que durante la noche las concentraciones de O₃ se mantienen en niveles muy bajos y relativamente constantes, lo cual se explica por la carencia de luz solar que active su formación.¹⁴

Partículas suspendidas totales.

Las PST pueden estar constituidas por una gran diversidad de sustancias. Las de origen natural se componen principalmente de suelos y de manera ocasional de elementos de origen biológico, ambas representan alrededor del 65% de la masa total estimada.

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica. Ed. Limusa*

Por su lado las partículas provenientes de la combustión y de diversos procesos industriales son menores en masa pero mantienen propiedades tóxicas y características fisicoquímicas que les confieren una importancia especial. Es importante destacar a las partículas menores a 10 micrómetros (PM 10) por ser las de mayor penetración en el sistema respiratorio e impacto en la visibilidad atmosférica.¹⁴

I.4.3. Variación estacional.

Si suponemos emisiones totales constantes a lo largo del año, la variación estacional de los niveles de contaminación depende de las condiciones meteorológicas y climáticas prevalecientes en cada temporada. Cabe mencionar que aunque generalmente se considera al invierno como la época más crítica del año, de acuerdo con los datos que se analizan, lo anterior no se generaliza para todos los contaminantes ni para las diferentes zonas de la ciudad.¹⁴

I.4.4 Calidad de los combustibles.

De acuerdo con su naturaleza y destino, cada combustible presenta especificaciones distintas, el contenido de azufre y el poder calorífico, como variables indicadoras de la calidad de cada tipo de combustible, así como sus precios correspondientes y su rendimiento en términos de la energía que contienen en relación con su precio. Debe mencionarse la insuficiencia de la normatividad de combustibles con la que pudieran establecerse oficialmente y con carácter obligatorio sus especificaciones, de las prácticas de control de calidad necesarias para mantener la producción dentro de intervalos aceptables, y de la información oportuna y permanente a los usuarios acerca de las características del producto que se les suministra. Cabe mencionar que el contenido de nitrógeno en los combustibles puede desempeñar un papel muy importante y determinante en las emisiones de NO_x.

I.4.5 Tecnología de combustión y de control de emisiones.

Una alternativa para el control simultáneo de CO, HC, NO₂, NO_x, en los escapes de los vehículos motorizados lo constituye el convertidor catalítico. Todos los vehículos nuevos que se fabrican en México desde 1993 cuentan con este dispositivo. Aunque su introducción en Estados Unidos data de mediados de los años setenta, algunas de las razones por las cuales no había podido instalarse en México son el contenido de plomo y de impurezas en la gasolina lo que conllevó la necesidad de mejorar su calidad como un requisito previo a la instalación de este dispositivo.

Actualmente los vehículos están equipados con convertidores catalíticos de tres vías (haciendo referencia a los tres contaminantes que debe reducir (CO, HC y

¹⁴ Cuadri de la Torre *La ciudad de México y la contaminación atmosférica*. Ed. Limusa

NO_x). Este tipo de convertidor utiliza dos tipos de catalizadores, uno de reducción y otro de oxidación.

Ambos consisten de una estructura cerámica cubierta con metal normalmente platino, rodio y paladio. La idea es crear una estructura que exponga al máximo la superficie del catalizador contra el flujo de gases de escape, minimizando también la cantidad de catalizador requerido ya que es muy costoso.²⁰

Catalizador de reducción

El catalizador de reducción es la primera etapa del convertidor catalítico. Utiliza platino y rodio para disminuir las emisiones de NO_x. Cuando una molécula de monóxido o dióxido de nitrógeno entra en contacto con el catalizador, éste atrapa el átomo de nitrógeno y libera el oxígeno, posteriormente el átomo de nitrógeno se une con otro átomo de nitrógeno y se libera. Es decir, descompone los óxidos de nitrógeno en oxígeno y nitrógeno que son los componentes del aire y por lo tanto no son contaminantes.²⁰

Catalizador de oxidación

El catalizador de oxidación es la segunda etapa del convertidor catalítico. Este catalizador de platino y paladio toma los hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO) que salen del motor y los hace reaccionar con el oxígeno que también viene del motor generando dióxido de carbono (CO₂).²⁰

Sistema de control

Existe una tercera etapa que monitorea los gases de escape del motor y utiliza esta información para controlar el sistema de inyección de combustible del motor. Se tiene un sensor de oxígeno en los gases de escape del motor antes de llegar al convertidor catalítico. Este sensor informa a la computadora sobre la cantidad de oxígeno existente en el escape, con esta información la computadora puede aumentar o disminuir la cantidad de oxígeno en el escape ajustando la relación de aire-gasolina. El sistema de control le permite a la computadora asegurarse que el motor está funcionando con una relación muy cercana a la estequiométrica y además le permite mantener suficiente oxígeno en el escape para oxidar los hidrocarburos y el monóxido de carbono.¹⁵

Con respecto a los vehículos diesel, la tecnología de mejoramiento y control consiste en el empleo de motores turbocargados que aparte de contribuir a la reducción de las emisiones en su origen permitiendo un quemado del combustible más limpio y completo, tienen la ventaja adicional de aumentar la potencia del motor. Sin embargo, en México no se ha sabido promover esta cultura de automóviles con motores a diesel.

²⁰ www.epa.doe.gov

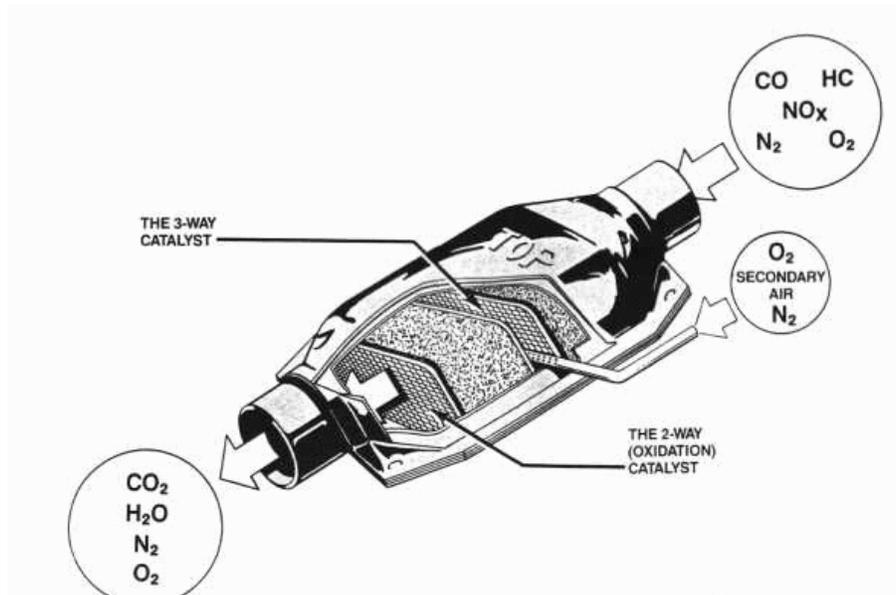


Fig. 1.3. Convertidor catalítico de 3 vías.²⁴

1.5. El impacto de los vehículos automotores en la contaminación atmosférica

1.5.1 Área de estudio

El crecimiento del área metropolitana ha obligado a incluir cada vez más municipios del estado de México, por esta razón, en 1950 se consideraban como parte de la Ciudad de México a 12 delegaciones políticas del Distrito Federal, en este año la superficie urbana del Distrito Federal se incrementó en un 26% con relación a la existente en 1941, y se inicia la conurbación con 2 municipios del Estado de México, sumando una población aproximada de 2.9 millones de habitantes, de los cuales aproximadamente el 90% se concentraba en el Distrito Federal³.

En 1998 la población creció a 16.7 millones de habitantes y cubría una superficie de 3,489 kilómetros cuadrados (16 delegaciones y 18 municipios).

En este escenario, la contaminación del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México no sólo se circunscribe al territorio del Distrito Federal, sino que también afecta a los municipios conurbados en el Estado de México.

²⁴ www.howsuffsworks.com

³ Censo de población y vivienda 1998 INEGI

Tabla 1.4. Delegaciones y municipio que forman la Zona Metropolitana³

Delegación DF	Superficie Km ²	Municipio Estado de México	Superficie Km ²
1 Álvaro Obregón	95.9	1 Atizapán de Zaragoza	89.8
2 Azcapotzalco	33.7	2 Cuautitlán Izcalli	109.9
3 Benito Juárez	26.5	3 Coacalco	35.4
4 Coyoacán	53.9	4 Cuautitlán	37.3
5 Cuajimalpa	70.8	5 Chalco	234.71
6 Cuauhtémoc	35.5	6 Chicoloapan	60.8
7 Gustavo A. Madero	88.1	7 Chimalhuacán	46.6
8 Iztacalco	23.2	8 Ecatepec	155.4
9 Iztapalapa	113.5	9 Huixquilucan	143.5
10 M. Contreras	63.5	10 Ixtapaluca	315.1
11 Miguel Hidalgo	46.3	11 La Paz	26.7
12 Milpa Alta	287.5	12 Nicolás Romero	233.5
13 Tláhuac	86.3	13 Naucalpan	149.8
14 Tlalpan	308.7	14 Nezahualcóyotl	63.4
15 Venustiano Carranza	33.8	15 Tecámac	153.4
16 Xochimilco	119.2	16 Tlalnepantla	83.4
		17 Tultitlán	71.08
TOTAL 1,486.4		18 Valle de Chalco	44.5

En la ZMVM existen más de 16 millones de habitantes y tres millones de vehículos automotores.

Tabla 1.5. Datos demográficos de la ZMVM³

Información	DF	Municipios Conurbados.	Total
Población (millones de habitantes)	8.6	8.1	16.7
Parque vehicular considerado en el inventario de emisiones 1998	2,118,096	1,142,823	3,206,919
Establecimientos industriales considerados en el Inventario de emisiones 1998	19,244	12,203	31,447

I.5.2 Fuentes Móviles

Para el desarrollo de las actividades cotidianas de la población, se utilizan diariamente vehículos automotores (autos particulares, camiones repartidores o de carga, pick-up's, autobuses de pasajeros, microbuses, etc.), lo cual implica un desplazamiento físico mediante un proceso de combustión, donde la energía química del combustible se transforma en energía mecánica, lo cual genera gases contaminantes, mismos que representan casi el 85% de las emisiones a la atmósfera en la Zona Metropolitana del Valle de México.

De las emisiones totales por contaminante, los vehículos automotores aportan grandes cantidades de los contaminantes inventariados, por tal motivo es importante la adopción de tecnologías más limpias en los vehículos para abatir los niveles de emisión de este sector.

Las emisiones de contaminantes provenientes de un auto en forma individual son relativamente bajas, en comparación, con una fuente puntual como una termoeléctrica. El factor por el cual las fuentes móviles representan el más alto porcentaje del total de contaminantes emitidos en la ZMVM, es por la gran

³ Censo de Población y Vivienda 1998 INEGI

cantidad de vehículos que circulan diariamente en esta área (3,260,919 de vehículos para 1998)¹⁶.

Parque Vehicular

De la flota vehicular registrada en la Zona Metropolitana del Valle de México, cerca del 72% son autos particulares, alrededor del 10% son pick ups, casi el 5% son camiones de carga a gasolina y el restante 13% corresponde a los otros tipos de vehículos.¹⁶

Tabla 1.6. Parque vehicular de la ZMVM³

Tipo de Vehículo	Vehículos	
	Unidades	%
Autos particulares	2,341,731	71.81
Taxis	109,407	3.36
Combis	5,499	0.17
Microbuses	32,029	0.98
Pick'Ups	336,080	10.31
Camiones de carga a gasolina	154,513	4.47
Vehículos a diesel < 3 ton	4,733	0.15
Tractocamiones a diesel	70,676	2.17
Autobuses a diesel	12,505	0.38
Vehículos a diesel > 3 ton	90,940	2.79
Camiones de carga a gas LP	30,102	0.92
Motocicletas	72,704	2.23
Total	3,260,919	100

Para tener un análisis más preciso de las emisiones vehiculares del parque vehicular, se desagregó por entidad federativa y por tipo de vehículo, tal y como se muestra en la tabla 1.7.

Tabla 1.7. Desglose del parque vehicular³

Tipo de Vehículo	Distrito Federal		Estado de México	
	Unidades	%	Unidades	%
Autos Particulares	1,546,595	66	795,136	34
<i>Taxis</i>	<i>103,298</i>	<i>94</i>	<i>6,109</i>	<i>6</i>
Combis	3,944	72	1,555	28
Microbuses	22,931	72	9,098	28
Pick'Ups	73,248	22	262,832	78
Camiones de carga a gasolina	154,513	100	N/R	N/R
Vehículos a diesel < 3 ton.	4,733	100	N/R	N/R
Tractocamiones a diesel	68,636	97	2040	3
Autobuses a diesel	9,236	74	3,269	26
Vehículos a diesel > 3 ton	28,580	31	62,360	69
Camiones de carga a gas LP	30,102	100	N/R	N/R
Motocicletas	72,280	65	424	1
Total	2,118,096	65	1,142,823	35

¹⁶ Estudio Integral de transporte y calidad del aire SMA GDF 1998

³ Censo de Población y Vivienda 1998 INEGI

Tabla 1.8 Proyección de la flota vehicular en la ZMVM³

Tipo de Vehículo	ZMVM		
	2000	2006	2010
Particulares	2,556,378	3,435,498	4,266,399
Taxis	109,654	110,456	111,046
Combis	4,589	3,359	2,167
Microbuses	29,727	24,638	22,452
Pick Ups	356,547	425,736	479,170
Camión a gasolina	164,065	195,902	220,490
Vehículo < 3 ton diesel	5,021	5,996	6,748
Tractocamión diesel	74,980	89,530	100,767
Autobús diesel	13,067	14,969	16,437
Vehículo diesel > 3 ton	96,478	115,200	126,659
Total	3,513,448	4,523,949	5,458,457

Edad de la flota vehicular

El mayor problema que se tiene con el parque vehicular que circula diariamente en la Zona Metropolitana del Valle de México es que dicha flota se caracteriza por tener un alto porcentaje de vehículos viejos, en el Distrito Federal el 45% de los vehículos tiene 9 años o más, esto es vehículos 1990 y anteriores; en el Estado de México este estrato vehicular corresponde al 65%, y en conjunto como Zona Metropolitana del Valle de México se tiene el 52% de vehículos con una edad de 9 años o más.³

Haciendo un análisis por tipo de tecnología del parque vehicular tenemos en promedio, que el 67% son vehículos que no cuentan con tecnología de control y que tan solo el 33% restante son vehículos que cuentan con el equipo para el control de sus emisiones; otros datos importantes que se pueden mencionar son que el 34% de los vehículos que circulan en la Zona Metropolitana del Valle de México son de año modelo 1985 y anteriores, 33% son vehículos modelos entre 1986 y 1992, los cuales aunque no tienen equipos para el control de emisiones contaminantes, tales como inyección electrónica de combustible, convertidor catalítico, canister para la recuperación de vapores entre otros, haciéndoles algunas modificaciones son susceptibles de adaptarles convertidores catalíticos, con lo que se puede reducir sus emisiones.

³ Censo de Población y Vivienda 1998 INEGI

Actividad de la flota vehicular

Otro dato importante para analizar el comportamiento de las emisiones vehiculares es el nivel de actividad promedio diario que tiene cada tipo de vehículo, dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México. Esta información se tomó de los datos registrados por la Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad en el Estudio Integral de Transporte y Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México.

Tabla 1.9 Radio de acción de la flota vehicular de la ZMVM¹⁶

Clasificación Vehicular	[Km/día]	Clasificación Vehicular	[Km/día]
Autos particulares	33	Vehículo diesel < 3 ton	60
Taxis	200	Tractocamión a diesel	60
Combis	200	Autobuses a diesel	200
Microbuses	200	Vehículos a diesel > 3 ton	60
Pick'Ups	60	Camiones de carga a gas LP	60
Camiones de carga a gasolina	60	Motocicletas	33

Emisiones vehiculares

Tomando como base los datos de la actividad del parque vehicular del año 1998, se estima que en conjunto, en la Zona Metropolitana del Valle de México se liberan más de 2 millones de toneladas al año de contaminantes generados por las fuentes móviles, de las cuales el 83% son emisiones de CO, el 9% de HC, el 8% de NO_x, y menos del 1% de SO₂ y de PM₁₀.

Tabla 1.10 Emisiones por tipo de vehículo en la ZMVM 1998¹⁶

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]				
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	HC
Automóviles particulares	701	2,000	822,477	47,380	81,705
Taxis	199	567	131,453	11,093	15,310
Combis	10	28	20,488	930	1,945
Microbuses	59	166	216,740	9,524	19,761
Pick ' Up	183	522	255,503	18,961	24,599
Camiones de carga a gasolina	84	240	216,865	15,297	18,683
Tractocamiones a diesel	1,990	363	16,675	22,678	7,587
Autobuses a diesel	1,174	214	9,270	11,640	3,853
Vehículos a diesel > 3 ton	2,562	468	20,956	27,662	9,205
Otros	171	102	23,236	673	5,125
Total	7,133	4,670	1,733,663	165,838	187,773

¹⁶ Estudio integral del Transporte y calidad del aire Secretaría del Medio Ambiente GDF 1998

Tabla 1.11 Emisiones porcentuales de fuentes móviles en la ZMVM, 1998¹⁶

Tipo de Vehículo	Emisiones [%]				
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	HC
Automóviles particulares	9.83	42.83	47.44	28.57	43.51
<i>Taxis</i>	<i>2.79</i>	<i>12.14</i>	<i>7.58</i>	<i>6.69</i>	<i>8.15</i>
Combis	0.14	0.60	1.18	0.56	1.04
Microbuses	0.83	3.55	12.50	5.74	10.52
Pick ' Up	2.57	11.18	14.74	11.43	13.10
Camiones de carga a gasolina	1.18	5.14	12.51	9.22	9.95
Tractocamiones a diesel	27.90	7.77	0.96	13.67	4.04
Autobuses a diesel	16.46	4.58	0.53	7.02	2.05
Vehículos a diesel > 3 ton	35.92	10.02	1.21	16.68	4.90
Otros	2.38	6.77	1.35	0.42	2.74
Total	100	100	100	100	100

Vehículos de Alquiler

Los vehículos de alquiler (taxis) representan poco más del 3% del total de vehículos que circulan en la ZMVM; sin embargo la cantidad de kilómetros recorridos por dichas unidades (promedio de 200 Km) provoca que estas unidades contribuyan al total de emisiones con los siguientes valores :

8.51 % HC
 12.14 % SO₂
 7.58 % de CO
 6.69 % de NO_x

Como se observa, estas unidades contribuyen de manera importante en la emisión de Hidrocarburos, lo que alimenta a la reacción fotocatalítica para la formación de ozono y radicales libres.

Un punto importante representa la emisión de SO₂; con un 12.14 % este compuesto es clave para la formación de la llamada "lluvia ácida", además de los efectos que presenta en los seres humanos.

La reducción de estos contaminantes representaría un importante avance en el mejoramiento de la calidad de aire en la ZMVM. Los transportes eléctricos representan una importante alternativa en este aspecto. Las emisiones de HC que presentan son menores. En la Comunidad Económica Europea (CEE) se estableció una norma para el ciclo urbano de manejo denominada ECE-15; en dicha prueba se comparan los valores obtenidos para diferentes sistemas de propulsión expresados en mg/Km⁴

¹⁶ Estudio integral del Transporte y calidad del aire Secretaría del Medio Ambiente GDF 1998

⁴ Larronde Emilio Autos Eléctricos UNIZAR

Tabla 1.12 Comparativa de emisiones para diferentes sistemas de propulsión ⁴

	Gasolina	Diesel	Eléctrico
Polvo	15	135	26
SO ₂	100	220	630
NO _x	880	840	276
HC	310	300	16
CO	2150	2140	27
CO ₂	234	214	126

Como se observa los vehículos eléctricos emiten una cantidad de HC mucho menor que un vehículo con motor de gasolina, y también tienen importantes reducciones de NO_x y CO. La sustitución de sistemas de propulsión que eliminen o reduzcan estas emisiones, permitiría disminuir en cierto grado la contaminación atmosférica de la ZMVM.

Teniendo en cuenta un universo de más de 103,000 taxis de alquiler tan solo en el Distrito Federal, la conversión a sistemas de tracción alternativos de el 10 % de ellos, permitiría reducir cerca del 1% la emisión total de HC, y CO.

⁴ Larronde Emilio Autos Eléctricos UNIZAR

Capitulo II

Análisis de operación

II. 1.- Introducción

Existen diferentes tipos de transporte colectivos sin ruta fija o “taxis” en la ZMVM. La diferencia entre estos varía de acuerdo a ciertas condiciones de operación y al tipo de base de operación que presenta c/u. Estos son: de recorrido libre, de sitio, turísticos, federales del aeropuerto.

Para conocer las condiciones de operación, así como las condiciones de explotación económica bajo las cuales operará el VE se presenta el siguiente resumen:

II.1.1 Taxis de Sitio:

Estas unidades se encuentran estacionadas en bases fijas, desde donde son requeridos por los usuarios para realizar el recorrido solicitado. Después de efectuar el servicio solicitado, regresan a su base para esperar ser requeridos nuevamente, y en ocasiones transportando usuarios en el viaje de retorno. Estas unidades realizan un recorrido de aproximadamente 150 Km diarios, utilizando un promedio de 27 litros de combustible(\$ 180.0) ⁵

II. 1.2 Taxis Libres

Los denominados taxis libres, son aquellos cuyo itinerario no es programado, además de no contar con una base fija. Estas unidades circulan en las vialidades en busca de clientes a los cuales prestar su servicio. La mayor parte del tiempo, estas circulan vacías. En promedio recorren 200 Km utilizando un equivalente de 35 l. de gasolina (\$234.5) ⁵

II.1.3 Taxis Federales Aeropuerto

Este tipo de unidades, se encuentran concentrados en las salidas del aeropuerto Internacional de la ciudad. De México, desde donde realizan su recorrido. Estas unidades tienen un recorrido más controlado limitado a la ciudad De México y zona conurbada, después del cual, regresan al aeropuerto no pudiendo levantar pasaje durante el recorrido de regreso.

Estas unidades realizan un recorrido diario de aprox. 150 Km utilizando para ello un promedio de 28 l de gasolina (\$ 189.6) ⁵

⁵ Encuesta de elaboración propia.

II.2 Condiciones Geográficas

II.2.1 Condiciones Geográficas de la ZMVM¹⁷

La Zona Metropolitana del Valle de México, se ubica sobre los 19°20' de Latitud Norte y 99°05' de Longitud Oeste. Se considera al Valle de México como parte de una cuenca, la cual tiene una elevación promedio de 2,240 msnm y una superficie de 9,560 Km², esta superficie considera parte del Estado de México, el sur del Estado de Hidalgo, el sureste de Tlaxcala y casi la totalidad del Distrito Federal.

Se encuentra delimitada por un entorno montañoso (con una altura promedio de 3,200 m como el Ajusco), con picos que superan los 5 400 m. También se encuentran prominencias topográficas aisladas como el Cerro de la Estrella, el Peñón y el Cerro de Chapultepec y otros; este entorno se convierte en una barrera para la circulación de los vientos.

Esta cuenca presenta valles inter-montañosos, mesetas y cañadas, así como terrenos semiplanos, en lo que alguna vez fueron los lagos de Texcoco, Xochimilco y Chalco.

La temperatura media es de aproximadamente 18° C, con picos de hasta 35° C, en las zonas montañosas la temperatura varía entre 5° C y 26° C.

En este Valle la presencia del fenómeno llamado Inversión Atmosférica se da en el 70% de los días).

Los sistemas de alta presión generan zonas de alta estabilidad atmosférica, e inhiben la presencia de vientos fuertes que ayuden a la dispersión de contaminantes.

Debido a su posición geográfica y su altura, esta zona metropolitana recibe una abundante radiación solar, y como es sabido, en presencia de ésta, los óxidos de nitrógeno (NOx) y los hidrocarburos (HC) reaccionan produciendo ozono (O₃)

La altitud que presenta la ZMVM determina que el aire presenta contenga un menos de oxígeno que al nivel del mar; debido a esto los procesos de combustión son menos eficientes, provocando que exista una mayor emisión de contaminantes.

Por otro lado, debido a la posición latitudinal del territorio nacional, el país se ve afectado por masas de aire con características que las identifican como de tipo polar, durante la etapa invernal y de tipo tropical en la etapa del verano, las cuales, debido a su posición geográfica, afectan directamente al valle de México. De esta manera, el clima de tipo frío está determinado por sistemas meteorológicos que provienen desde la parte norte del continente y el clima de tipo cálido es

¹⁷ Enciclopedia Alfa Nauta

determinado por la afluencia de aire tropical, normalmente húmedo, proveniente del Pacífico, Mar Caribe y del Golfo de México.

Como resultado de lo anterior, los sistemas meteorológicos predominantes definen claramente dos épocas climáticas con particularidades bien definidas: la época de “lluvias” de junio a octubre, caracterizada por aire marítimo tropical con alto contenido de humedad y la época de “secas” que se identifica con humedad relativa baja, debido a que la masa de aire correspondiente, normalmente es de tipo polar continental. La época de secas puede ser subdividida en dos: Seca-Caliente (marzo-mayo), en la cual predomina aire con características tropicales pero seco, y la época Seca-Fría (noviembre-febrero) cuyos rasgos meteorológicos la definen como aire de tipo polar con bajo contenido de humedad.

II.2.2 Características del Equipamiento Urbano

El escenario de operación a la que estará sometido el VE. se centrará en la zona centro de la ciudad de México. Las características de la infraestructura de las vialidades y demás equipamiento urbano inciden en ciertos criterios para la evaluación del equipamiento del VE.

Puentes y pasos a desnivel:

Dentro del equipamiento urbano se agrupan a las obras viales; su función es la de permitir la disposición de los espacios e instalaciones necesarias que permitan la adecuada circulación de los vehículos automotores y peatones.

Entre estas obras viales se encuentran los puentes y pasos a desnivel vehiculares; ambos tienen por función permitir salvar las intersecciones viales sin interrupción de la circulación de las vías, por medio de la elevación o el descenso de una de dichas vías sobre o bajo la otra.



Donde:

n= Pendiente de la vía

y se define como:

$$P = \frac{\text{proyeccion vertical}}{\text{proyeccion horizontal}} * 100$$

Fig. 2.2 Pendiente de una calzada⁹

⁹ Figura de elaboración propia

Estos presentan pendientes que debe superar el vehículo. El valor de dichas pendientes se expresa en forma de un porcentaje, esta expresado como el valor de la elevación en metros que presenta la vía, dividido entre la proyección de la distancia horizontal recorrida en dicha elevación.

Conocer el valor de esta pendiente máxima a superar es importante debido a que es necesario que el tren de transmisión del VE. Sea capaz de impulsar el vehículo a través de la pendiente máxima a una velocidad de 40 Km/h.

Las pendientes en los puentes y pasos a desnivel vehiculares, están limitadas a un valor de 7 % como máximo⁶.

Estacionamientos:

Las pendientes de los estacionamientos presentan la característica de ser mayores que la de los puentes y pasos a desnivel. En el caso de la ZMVM esta pendiente esta definida en 15 % según el reglamento de construcción del DF en el artículo 133. Esto es debido a que las rampas de acceso a los diferentes niveles son de una longitud menor que en los puentes. La altura que presentan las rampas de acceso es de 2.40 m. también esta definido en el reglamento de construcción.⁷

⁶ Fernández C. Carlos Puentes y pasos a desnivel.

⁷ Reglamento de Construcción Secretaría de Obras, GDF 1998

II-3. Selección de vehículo.

El objetivo de utilización de la unidad es el de proporcionar servicio de transporte de pasajeros, estableciendo que la unidad será capaz de transportar 3 pasajeros y un operador, con la máxima comodidad y seguridad a los pasajeros. El segmento que cubre estas características es el denominado por las armadoras como "compacto". Este segmento incluye automóviles con capacidad de transportar 5 adultos, con un peso bruto vehicular (PBV) de 1100 a 1300 Kg

El tipo de servicio será específicamente como taxi de sitio del aeropuerto, con recorridos limitados a 60 Km como máximo.

Todas las armadoras cuentan con uno o dos modelos en el segmento considerado. Los aspectos evaluados serán los siguientes:

- Peso
- Dimensiones
- Precio

En ese orden de importancia

a) Peso Bruto Vehicular

En este apartado se evalúa el PBV declarado por el fabricante, es decir el peso de la unidad lista para circular. Tomando en cuenta que un mayor peso del modelo, propicia un mayor consumo de energía para su desplazamiento y por tanto un menor radio de alcance se desea que el peso de la unidad, sea el más reducido posible para poder lograr la mayor autonomía. Este aspecto es el más importante a considerar.

Tabla 2.1 Peso bruto vehicular⁹

Marca / modelo	P.B.V. (Kg)
Honda Civic	1128
Peugeot 306	1130
Nissan Sentra	1135
Ford Focus	1161
Renault Megane	1190
Chevrolet Cavalier	1214
Chevrolet Astra	1235
Seat Toledo	1275
Dodge Neon	1302
VW Jetta	1307

⁹ Figura de elaboración propia.

Dimensiones (capacidad de cajuela)

Se consideró utilizar el maletero o cajuela para colocar las baterías de tracción, por lo que el espacio en el maletero tendrá que ser el mayor posible.

Tabla 2.2 Capacidad de maletero ⁹

Marca / modelo	Capacidad de maletero (dm ³)
Renault Megane	510
SEAT Toledo	500
Peugeot 306	463
Honda Civic	460
Chevrolet Astra	460
VW Jetta	455
Chevrolet Cavalier	374
Dodge Neon	370
Ford Focus	365
Nissan Sentra	328

b) Precio de la unidad

Un aspecto importante en el sector del auto-transporte es el precio, por lo que el precio más bajo es un factor a considerar en la selección del vehículo.

Tabla 2.3 Precio de la unidad ⁹

Marca / modelo	Precio en pesos (\$ Junio 2002)
Dodge Neon	\$ 124,728
Chevrolet Cavalier	\$ 129,900
Nissan Sentra	\$ 135,900
Chevrolet Astra	\$ 146,900
Ford Focus	\$ 146,900
VW Jetta	\$ 148,500
SEAT Toledo	\$ 151,884
Renault Megane	\$ 172,360
Honda Civic	\$ 175 100

⁹ Figura de elaboración propia.

Tabla 2.4 Tabla Resumen ⁹

Peso	Dimensiones	Precio
Honda Civic	Renault Megane	Dodge Neon
Nissan Sentra	SEAT Toledo	Chevrolet Cavalier
Ford Focus	Honda Civic	Nissan Sentra
Renault Megane	Chevrolet Astra	Chevrolet Astra
Chevrolet Cavalier	VW Jetta	Ford Focus
Chevrolet Astra	Chevrolet Cavalier	VW Jetta
SEAT Toledo	Dodge Neon	SEAT Toledo
Dodge Neon	Ford Focus	Renault Megane
VW Jetta	Nissan Sentra	Honda Civic

Después de evaluar las diferentes características de los modelos evaluados en función de los criterios establecidos, se selecciono el modelo *Nissan Sentra* como la plataforma para realizar el análisis de factibilidad; se observa en la tabla 2.4 las siguientes consideraciones :

- Este modelo fue el 2do. en cuanto a peso vehicular,
- En el apartado del precio, el modelo de Nissan, es \$ 39,200 más bajo que el Honda Civic, el modelo con menor peso de la lista.

Otro modelo con características muy cercanas es el Ford Focus, sin embargo es 26 Kg más pesado que el modelo Sentra.

⁹ Figura de elaboración propia.

Capitulo III

El Vehículo Eléctrico

III.1.- Antecedentes del vehículo eléctrico

El uso de la energía eléctrica para la motorización de automóviles es de hecho anterior a la propulsión con motores de combustión interna. Esto se remonta al siglo antepasado, en el año de 1834 cuando Robert Davenport construyó el primer vehículo impulsado por corriente eléctrica.

Posteriormente al inicio del siglo XX (1900) existían diversas compañías que producían vehículos eléctricos como Studebaker, Siemens-Schuckert, Detroit Electric y otras.

Sin embargo las características que presenta el motor de combustión interna hicieron que el papel de los VE quedara relegado a pocas aplicaciones.

A raíz de la crisis petrolera de 1970 se reinicia el desarrollo de los VE para la sustitución de los automóviles impulsados por motores térmicos. En Gran Bretaña circulaban en la década de los 70's 45'000 unidades eléctricas principalmente en flotas de reparto de leche. En Estados Unidos circulaban 400 vehículos para el servicio de correo.⁴

Actualmente los vehículos eléctricos son una opción de transporte intra-urbano ya que sus características hacen que su aplicación sea muy adecuada en los grandes centros urbanos con problemas de contaminación atmosférica generada por combustión como es el caso de la ciudad de México.

Actualmente los VE presenta rangos de funcionamiento desde 100 a 300 Km dependiendo del sistema baterías que utilicen, sin embargo presentan la desventaja de largos periodos para la recarga de las baterías. Este rango de autonomía, además de un tiempo de recarga de 8 horas para cargas completas de batería, hacen que no sea posible todavía su aplicación como vehículo de propósito general.

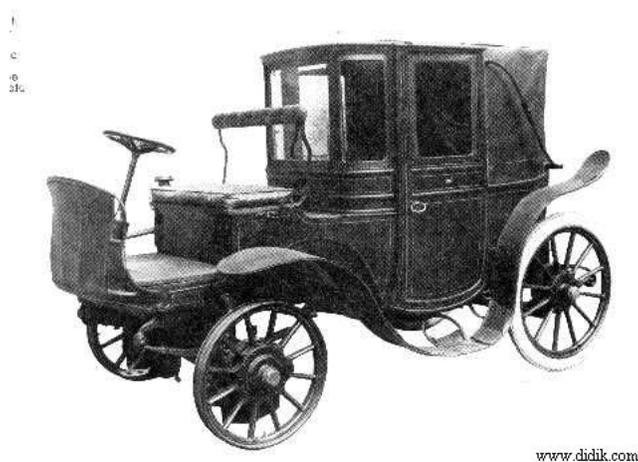


Fig. 3.1 Vehículo Eléctrico de 1900.¹⁸

⁴ Larrondé Emilio Autos Eléctricos UNIZAR

¹⁸ www.didik.com

III. 2.- Descripción de los sistemas del vehículo Eléctrico

El esquema simplificado de un automóvil eléctrico consta principalmente de los siguientes sistemas:

Sistema de Motor eléctrico – Control

Sistema de Baterías

Sistema de Trasmisión

Sistema de Frenado

Sistema de Alimentación

Sistemas Auxiliares

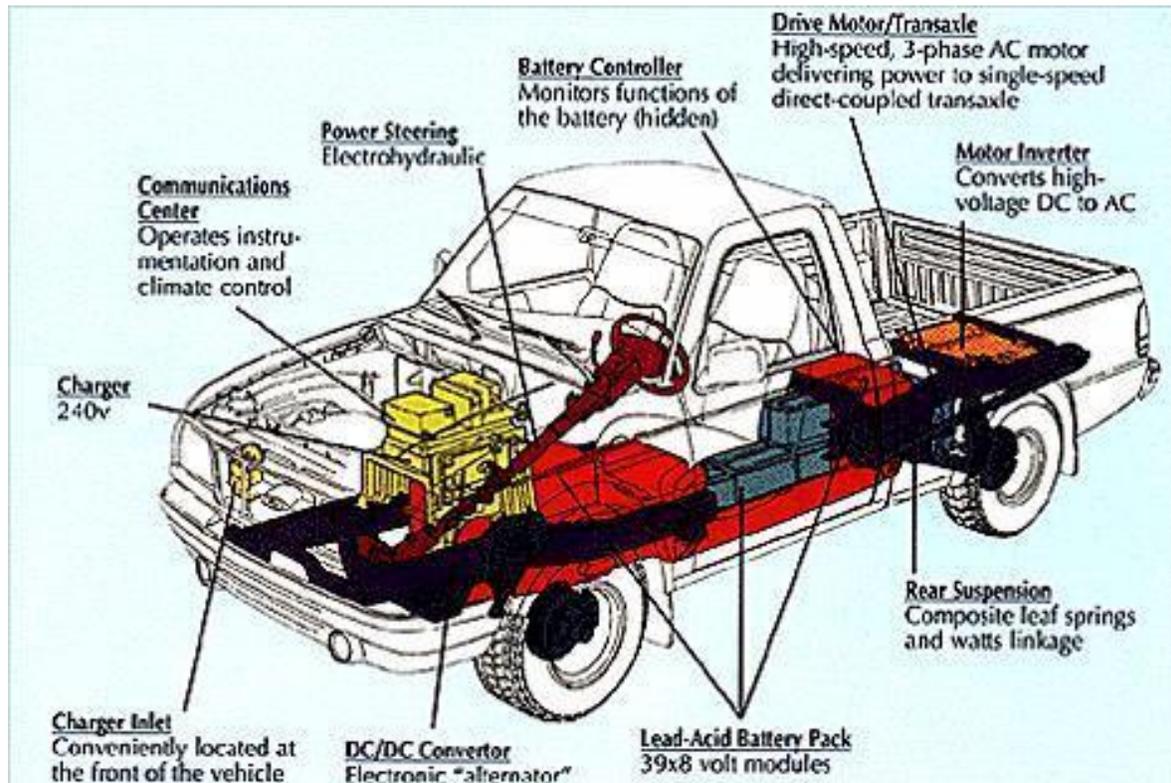


Fig. 3.2. Esquema de un vehículo eléctrico mostrando sus principales sistemas.¹⁹

¹⁹ www.epa.com

III.2.1. - Sistemas de motorización

El sistema de motorización se compone del motor o los motores que impulsan al vehículo y el sistema de control para este o estos. Dependiendo de las características del vehículo y las prestaciones que se requieran se elegirá entre diversos tipos de motores.

Las ventajas que presentan los motores eléctricos frente a los motores de combustión interna son: menor consumo energético de los primeros, debido a una mayor eficiencia energética cercana al 90% frente a 20% de los motores de combustión, así como un comportamiento uniforme en un amplio rango de velocidades; en contraposición de los motores térmicos, los cuales dependen de una variación en su velocidad para lograr mejorar sus rendimientos.



Fig. 3.3. Automóvil con propulsión eléctrica¹⁹

Los factores más importantes que influyen en la elección del tipo de motorización de un vehículo eléctrico son las siguientes:

1. La curva característica par – velocidad requerida en régimen permanente y la curva característica requerida en condiciones de sobrecarga.
2. Disposición del motor y tipo de transmisión de cinemática.
3. Prestaciones desde el punto de vista de la conductibilidad, confort y manejabilidad
4. Robustez y problemas de mantenimiento
5. Posibilidad de transmisiones complejas
6. Rendimiento del motor.

III.2.1. Motores Eléctricos

El sistema de motorización consta de motor o motores y un bloque de control para estos. Dentro de todos los componentes que forma parte del sistema de motorización de un vehículo eléctrico, el motor es el elemento que más influye en el rendimiento. El funcionamiento del sistema de motorización depende por lo tanto del tipo de motor empleado.

En el cuadro siguiente se presentan los tipos de motores eléctricos más utilizados en la tracción de automóviles.

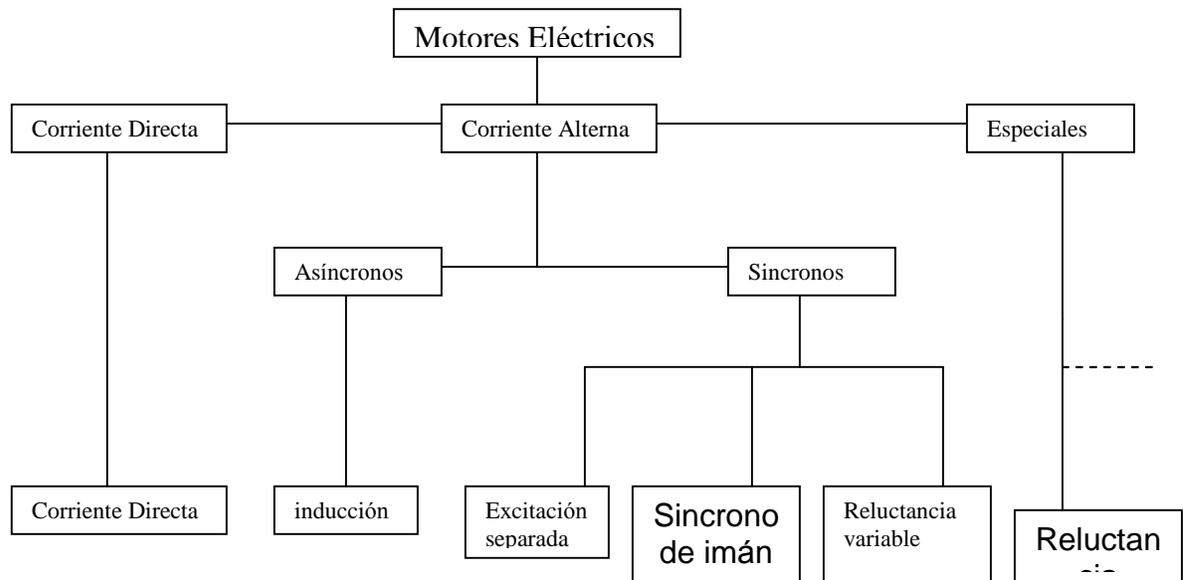


Fig. 3.4. Diagrama de los principales tipos de motores eléctricos para tracción⁴

III.2.1.1 Motores eléctricos de corriente continua.

Este tipo de motores fueron los utilizados inicialmente para las aplicaciones de motorización en los automóviles eléctricos; pero debido al desarrollo de la electrónica de potencia se empezaron a emplear motores de corriente alterna.

Para funcionar, el motor de corriente continua o directa precisa de dos circuitos eléctricos distintos: el circuito de campo magnético y el circuito de la armadura.

El campo (básicamente un imán o un electroimán) permite la transformación de energía eléctrica recibida por la armadura en energía mecánica entregada a través

⁴ Larrondé Emilio Autos Eléctricos UNIZAR

del eje. La energía eléctrica que recibe el campo se consume totalmente en la resistencia externa con la cual se regula la corriente del campo magnético.

Es decir ninguna parte de la energía eléctrica recibida por el circuito del campo, es transformada en energía mecánica. El campo magnético actúa como una especie de catalizador que permite la transformación de energía en la armadura.⁸



Fig. 3.5 Estator de un motor de CD⁸

La armadura consiste en un grupo de bobinados alojados en el rotor y en un ingenioso dispositivo denominado colector mediante el cual se recibe corriente continua desde una fuente exterior y se convierte la correspondiente energía eléctrica en energía mecánica que se entrega a través del eje del motor. En la transformación se pierde un pequeño porcentaje de energía en los carbones del colector, en el cobre de los bobinados, en el hierro (por corriente parásitas e histéresis), en los rodamientos del eje y la fricción del rotor por el aire.⁸

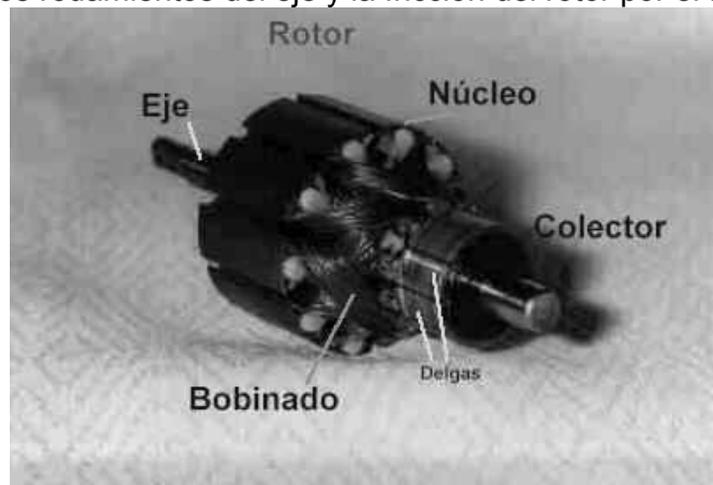


Fig. 3.6. Rotor de un motor de CD⁸

⁸ Wayne H. Kitrlly Manual de motores eléctricos Limusa 1999

La mayor ventaja del motor de corriente continua es la gran simplicidad de los circuitos de control y regulación asociados, dicho control es de menor costo y mayor rendimiento (se puede utilizar el banco de baterías como fuente de energía directa).

Los motores en serie son de construcción simple y robustos, ofrecen un par elevado a una baja velocidad; la velocidad varía proporcionalmente a la tensión de alimentación, tienen una amplia libertad y facilidad de control.

Sus desventajas principales son:⁴

- Poseen un rendimiento mas bajo que los motores de CA debido a las perdidas por excitación y refrigeración.
- Necesitan de un mantenimiento frecuente debido a la utilización de escobillas.
- El frenado regenerativo es más complicado, debido a que es necesaria la utilización de un contactor.
- Poseen un elevado peso

III.2.1.2. Motores de corriente Alterna (CA)

La utilización de los motores de CA o de inducción es gracias al avance de la electrónica de potencia.

Su principio de funcionamiento se basa en la creación de un campo magnético giratorio al que intenta seguir el motor, es por ello que se denominan asíncronos debido a que nunca se llega a alcanzar la velocidad de sincronismo del campo, el motor ofrece un par proporcional a la diferencia de velocidad. La velocidad de estos motores es proporcional a la frecuencia de alimentación.

Un motor de inducción es un transformador eléctrico cuyo circuito magnético se encuentra separado por un entre hierro en dos segmentos relativamente móviles, uno que conduce el devanado primario y otro el devanado secundario. La corriente alterna suministrada al devanado primario desde un sistema de alimentación eléctrica induce una corriente opuesta en el devanado secundario, cuando este último se pone en cortocircuito o se cierra a través de una impedancia externa.

⁴ Larrondé Emilio Autos Eléctricos UNIZAR

El movimiento relativo entre las estructuras primaria y secundaria se produce por las fuerzas electromagnéticas correspondientes a la potencia que es transferida a través del entrehierro por inducción.

La característica principal que diferencia a la máquina de inducción de otros tipos de motores eléctricos es que las corrientes del circuito secundario son creadas por inducción en lugar de ser suministradas mediante un excitador de CD u otra fuente de energía externa.⁸

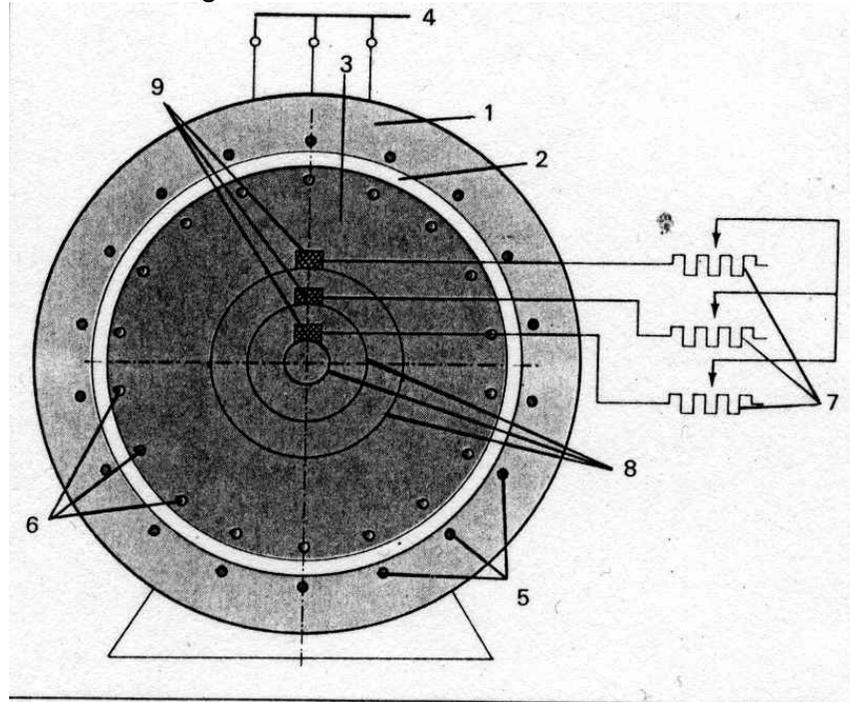


Fig. 3.7 Esquema de un motor asíncrono trifásico⁸

La estructura de un motor de inducción consta de un rotor cilíndrico que lleva un devanado secundario en ranuras en su periferia exterior y un núcleo anular circundante de acero laminado que lleva el devanado primario en ranuras en la periferia interna. Este devanado primario se encuentra acomodado por lo regular para una alimentación trifásica, con tres conjuntos-grupos de bobinas multipolares exactamente iguales separados por un tercio la distancia entre polos.

La superposición de los tres campos magnéticos estacionarios, pero alternos, producidos por los devanados trifásicos provoca un campo magnético giratorio distribuido en forma senoidal en sincronía con la frecuencia de alimentación. La dirección de rotación se fija mediante la secuencia de tiempo de las corrientes de cinturones sucesivos de fase.⁸

⁸ Wayne H. Kitry Manual de motores eléctricos Limusa 1999

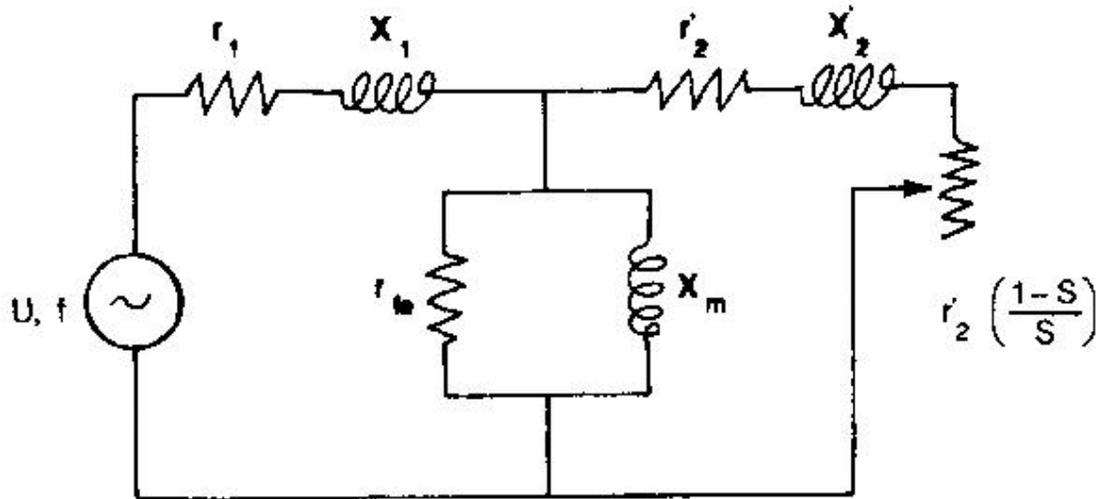


Figura 4.7 Modelo equivalente

Fig. 3.8 Modelo equivalente de un motor asíncrono trifásico.⁴

Teóricamente los motores de CA tienen un estator similar con bobinados trifásicos pero con diferentes rotores.

Este tipo de motor es apto para la aplicación del freno regenerativo, pues al bajar el suministro de corriente al motor, por la inercia que este lleva, el rotor circulará más rápido que el campo, lo que implica un deslizamiento negativo, que hará cambiar el signo de la corriente, así como el flujo, haciendo que suba la tensión del devanado del rotor, por encima de la tensión, produciendo de esta manera la recarga de la batería.

Motor Asíncrono de jaula de ardilla

En un motor de inducción de jaula de ardilla, el circuito del rotor se compone de varias barras conductoras en corto con anillos en ambos extremos; puede operar a altas revoluciones con un tamaño reducido. No tiene desventajas significativas excepto que requiere elevadas corrientes debido a los bajos factores de potencia que tiene. Su rendimiento es superior al de otros motores de corriente continua, pero inferior al de los motores síncronos. Son motores más ampliamente utilizados en los vehículos eléctricos de última generación. El inconveniente principal de los motores de inducción es que necesitan sistemas de control mucho más complejos y caros que los motores de corriente continua.⁸

⁸ Wayne H. Kitrlly Manual de motores eléctricos Limusa 1999

⁴ Emilio Larrondé Autos Eléctricos UNIZAR

Entre sus ventajas, frente a los motores de corriente continua destacan:

- Mayor potencia por unidad de volumen
- No utilizan escobillas
- Curvas de rendimiento – velocidad más planas = rendimiento constante.
- Menor tamaño = menor peso = menor precio
- Vida útil semejante a los motores de combustión interna.



Fig. 3.9 Rotor de un motor de inducción ⁸

El motor síncrono

El motor síncrono es una máquina que transforma la energía eléctrica en potencia mecánica. La velocidad promedio de la operación normal es exactamente proporcional a la frecuencia del sistema al que esta conectado.

El motor síncrono está construido con un conjunto de devanados distribuido polifásicos de CA, llamado el inducido, que esta por lo general en el estator y esta conectado al sistema de alimentación de CA. La configuración del miembro opuesto por lo general el rotor, determina el tipo de motor síncrono.⁴

Motor síncrono de excitación separada

Tiene situado el bobinado de excitación en el rotor, de modo que puede alimentarse a partir de un excitador tipo sin escobillas. Tiene una buena curva de par y es comparable en tamaño con el motor asíncrono, el rendimiento es alto, así como su costo.⁴

⁴ Emilio Larronde Autos Eléctricos UNIZAR

⁸ Wayne H. Kitrlly Manual de motores eléctricos Limusa 1999

Motor síncrono de imanes permanentes

Fueron desarrollados en un principio para reemplazar a los motores síncronos de reluctancia, siendo su rango de potencias, así como su capacidad de sincronización inherentemente mayor. El estator es similar al de un motor de inducción polifásico. Los imanes permanentes están localizados en el rotor y generalmente la orientación del flujo por ellos producidos es radial o bien circunferencial. Este rotor incorpora también un devanado de jaula de ardilla (simple o de doble jaula), que sirve para arrancar el motor. Algunas características de este motor son :

La velocidad está determinada únicamente por la frecuencia polifásica.

Es un motor de alto rendimiento, que produce un ahorro energético en funcionamiento capaz de compensar el mayor coste inicial de producción, con respecto a un motor de inducción de la misma potencia.

Posee factores de potencia mayores que permiten reducir el calentamiento del rotor y del estator a la vez que aumenta la fiabilidad y seguridad de sus elementos al someter a menores tensiones a los sistemas de aislamiento.

Capacidad de autoarranque y de re-sincronización frente a sobrecargas.⁸

Tabla 3.1 Comparación entre diferentes tipos de motores de tracción para VE⁹

Parámetro	Corriente Directa	AC Jaula de ardilla	Síncrono de CA	De magneto permanente	Síncrono sin escobillas de CD
Velocidad máxima	6000 rpm	> 10 000rpm	> 10000 rpm	10 000 rpm	5 000 rpm
Rango de potencia constante	3	3 – 5	3 – 5	3	1

⁹ Figura deElaboracion propia

⁸ Wayne H. Kitrlly Manual de motores eléctricos Limusa 1999

III.2.3. Sistemas de Control

El sistema de control tiene por función analizar las señales que le llegan de los diferentes sensores y mandos del automóvil, y en función de estas señales y mandos proporcionar una respuesta al motor que permita cumplir con el desempeño solicitado.

Los sistemas de control comprenden los sistemas puramente eléctricos a través de variadores electrónicos o la utilización adicional de una caja de cambios mecánica pudiendo tener un rango de utilización más amplio.⁴

La configuración de un control completamente electrónico, acoplado a una transmisión mecánica constante es el siguiente:

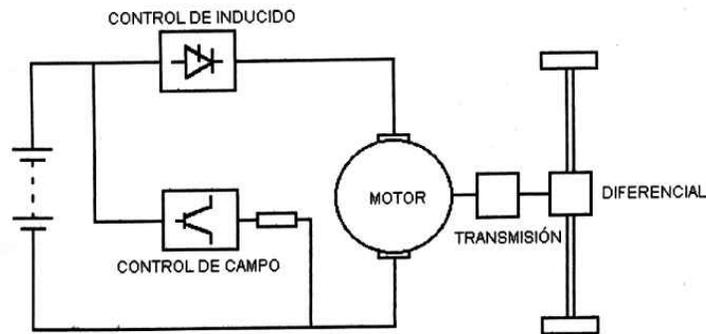


Fig. 3.10 Esquema de configuración de un Vehículo Eléctrico (VE) con un control completamente electrónico.⁴

El esquema de un control completamente electrónico se presenta en la figura 3.11 donde se tiene una transmisión mecánica constante.

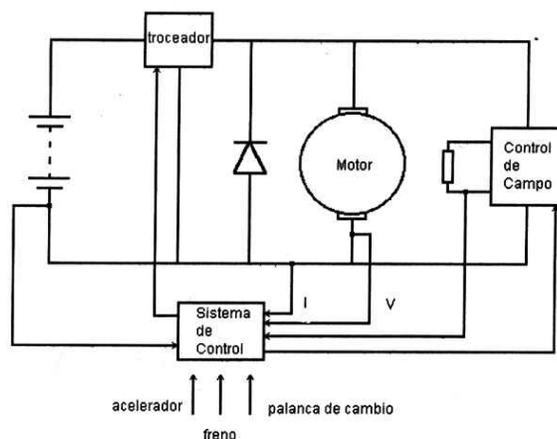


Fig. 3.11 Esquema de control completamente electrónico.⁴

⁴ Emilio Larronde Autos Eléctricos UNIZAR

También existe la posibilidad de incorporar un variador mecánico de velocidad, Fig.3.12, con esto se consigue tener un mayor rango de prestaciones.

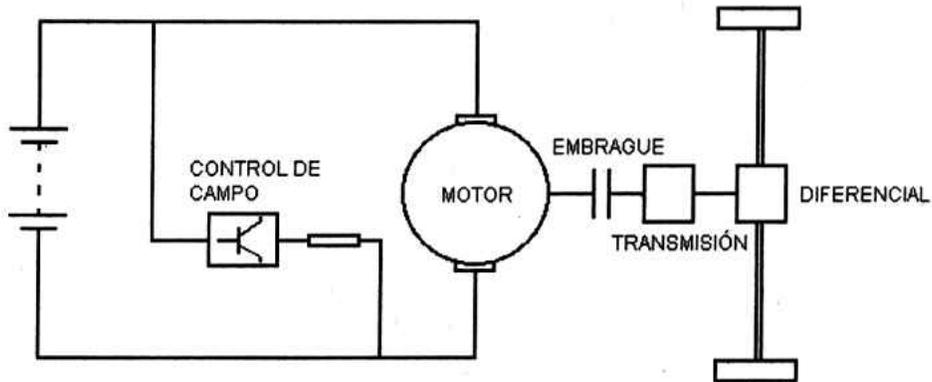


Fig. 3.12 Configuración con variador mecánico de velocidad acoplado ⁴

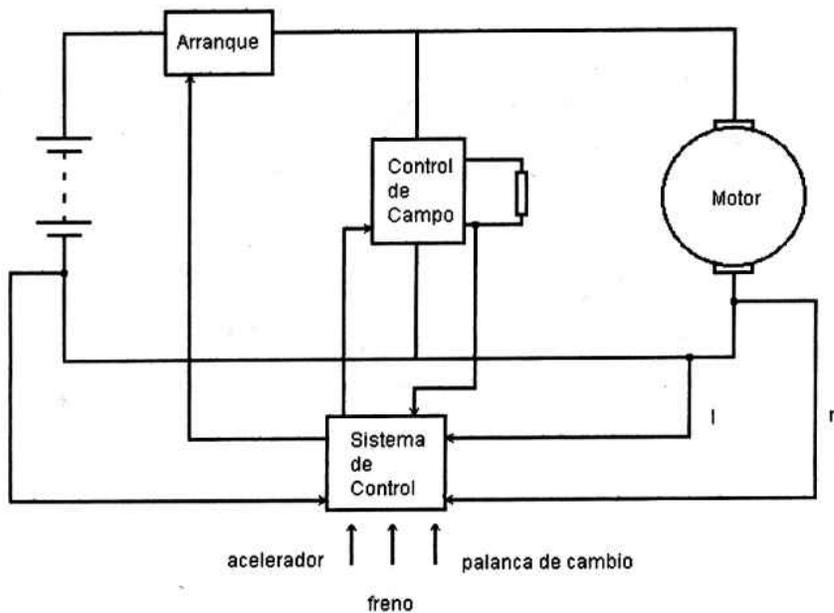


Fig.3.13 Esquema de control con variador mecánico de velocidad⁴

⁴ Emilio Larronde Autos Eléctricos UNIZAR

En todo caso la selección del sistema de control va a depender del sistema de motorización seleccionado. En el caso particular del proyecto propuesto la adición de una caja de velocidades permite contar con un rango de prestaciones dinámicas más amplio.

Control de motores de corriente alterna

Para lograr la regulación de un motor de AC es necesario regular la tensión y la frecuencia de alimentación del motor. La forma más común de regulación consiste en rectificar la tensión alterna y emplear un ondulator trifásico para obtener la frecuencia deseada. La tensión requerida la podemos obtener con un rectificador controlado en el lado de la corriente alterna o con un troceador en el lado de la corriente continua.

Los ondulatorios son equipos empleados para producir una corriente alterna de frecuencia variable. Están constituidos por un puente trifásico de seis tiristores, la conmutación se logra por medio de diodos y condensadores o tristoros auxiliares.⁴

La siguiente figura se representa un ondulator con conmutación por diodos y condensadores.

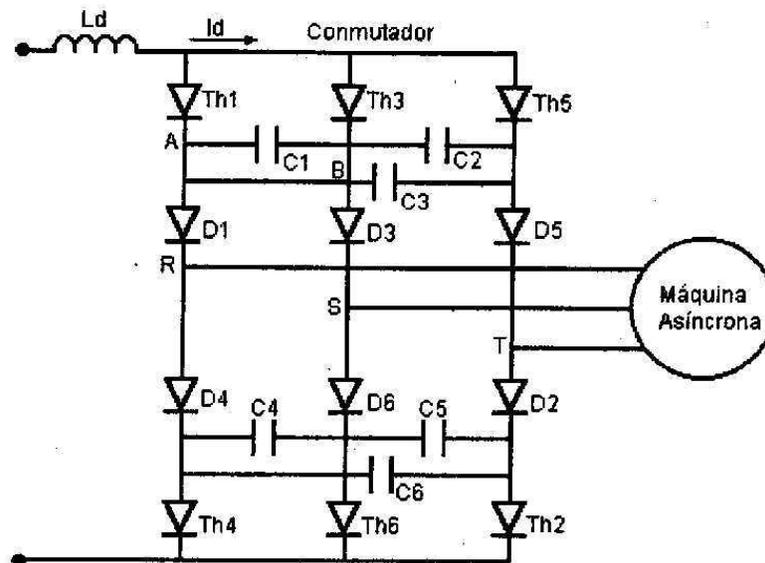


Fig. 3.14. Ondulator con conmutación por diodos t condensadores.⁴

⁴ Emilio Larronde Autos Eléctricos UNIZAR

III.2.4.- Sistemas de baterías

La forma de almacenamiento de energía de los automóviles eléctricos son las baterías. El principio básico de funcionamiento se basa en la producción de energía eléctrica, por medio de reacciones químicas de oxidación – reducción que se dan en su interior, existiendo muchos “pares electroquímicos” utilizados.

Como una primera definición de acumulador puede decir que son depósitos de corriente continua, que almacenan (carga) y ceden (descarga) energía eléctrica a través de una transformación química.

Los parámetros más importantes que se utilizan para evaluar las características de los diferentes tipos de baterías son:

Tabla 3.1 Parámetros a evaluar para baterías de tracción aplicadas en VE⁴

Parámetro	Unidad de medida	Consecuencia en la aplicación como batería de tracción
Densidad de energía másica	Wh / Kg	Autonomía Carga útil
Densidad de energía volumétrica	Wh / dm ³	Autonomía Carga útil
Densidad de potencia	W / Kg	Aceleración Velocidad punta
Vida útil	numero de ciclos	Rentabilidad
Tensión de descarga	Volts	Prestaciones
Peso	Kg	Autonomía Carga útil
Precio	Pesos mexicanos o US \$	Rentabilidad
Volumen	Dm ³	Volumen útil
Rendimiento	%	Rentabilidad

La densidad de energía tanto másica como volumétrica, nos indica la cantidad de energía que puede ser almacenada en la batería, por unidad de masa o volumen. Estos dos factores son parámetros útiles para comparación entre los diferentes tipos de baterías.

La densidad de potencia define el pico de potencia extraíble del acumulador, y determina la velocidad pico y la capacidad de aceleración del vehículo.

La curva de estabilidad de la descarga. Durante la descarga de la batería se desea que la tensión de esta sea lo más constante posible, para poder mantener las prestaciones del vehículo.

⁴ Emilio Larronde Autos Eléctricos UNIZAR

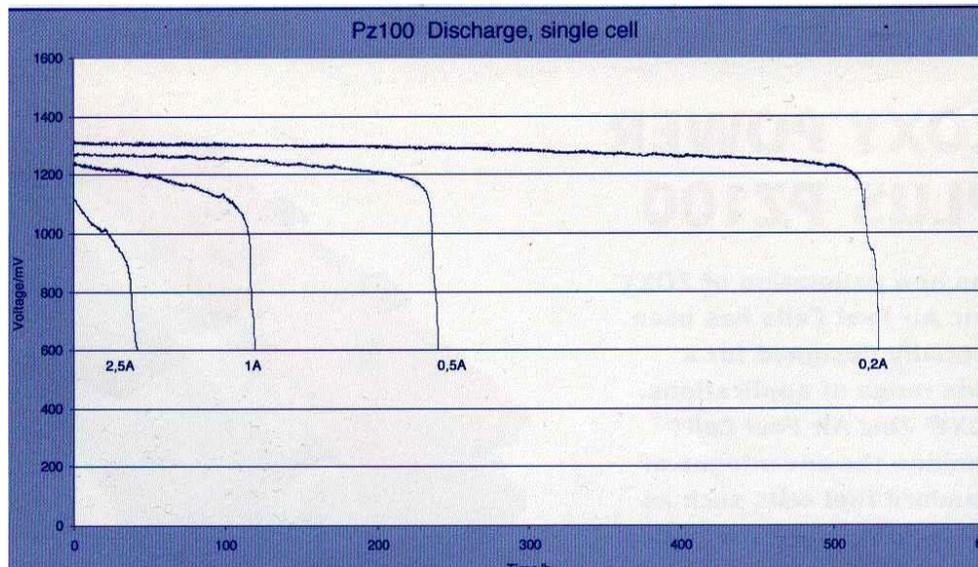


Fig. 3.15 Curva de descarga de batería tipo ZOXY PZ100 (zinc – aire), voltaje (mV) / tiempo (h) (diagrama ZOXY AG)¹⁰

La vida útil de la batería es un parámetro que nos permite conocer el número de ciclos de carga – descarga que puede soportar el acumulador. Este factor es de mucha importancia para la rentabilidad en la aplicación de las baterías.

La capacidad de una batería es la cantidad de corriente eléctrica que bajo unas condiciones dadas puede suministrar la batería. Se define como: el producto de la intensidad por el número de horas que dura hasta llegar a un determinado valor de tensión final, se expresa en Amperios por hora (Ah).

“El tiempo de descarga está normalizado en 5 horas, para aplicaciones de tracción.”⁴

Otros factores como el peso, el volumen y el precio también son de consideración al momento de realizar la selección de las baterías.

El rendimiento energético es un indicativo del aprovechamiento de la energía que se carga a la batería. Es decir, cuánta energía entra a la batería entre la energía que se puede obtener de ella. Se define como el producto del rendimiento en amperios – hora por el cociente entre la tensión media en descarga de 5 horas y la tensión media en la carga.

$$\eta_{Wh} = \frac{\eta_{Ah} \cdot V_{descarga}}{V_{recarga}} \quad \text{Ecuación 3.1}^4$$

¹⁰ Tech Bronchure ZOXY Ag.

⁴ Emilio Larronde Autos Eléctricos UNIZAR

El rendimiento en Amperios – hora se define como el cociente entre el número de amperios – hora obtenidos en la descarga y el número de amperios – hora suministrados en la recarga.

$$\eta_{Ah} = \frac{Ah_{descarga}}{Ah_{recarga}} \quad \text{Ecuación 3.2.}^4$$

Pares electroquímicos

Existen diferentes elementos químicos que son susceptibles de ser utilizados para el almacenamiento de energía eléctrica.

Los niveles de energía y potencia de los principales pares electro – químicos utilizados en los VE se muestran a continuación.

Tabla 3.2 Niveles de energía de diferentes tipos de baterías ⁴

Batería	Densidad de energía (Wh/Kg)	Densidad de potencia (W/Kg)	Vida (ciclos)
Pb/PbO ₂	33	100 – 180	600 – 1500
Ni/Cd	65	200	2000
Ni/Fe	55	100	1500
Ni/Zn	70	130	300
Ag/Zn	110	80	600
Al/Aire	268	158	-
Fe/Aire	80	30 – 40	350
Zn/Cl	150	80	400
Na/S	180	120	800
Li/FeS ₂	100	95	100

Las características principales de estos pares electro – químicos se resumen en la siguiente tabla.

⁴ Emilio Larronde Autos Eléctricos UNIZAR

Tabla 3.3 Resumen de características de los pares electro – químicos⁴

Aspecto Evaluado Tecnología	Constitución electrodos y electrolito	Densidad Energía Wh /Kg	Densidad Potencia W/ Kg	Ciclos de vida útil	Ventajas	Desventajas
Baterías de uso masivo						
Plomo – Ácido	* Positivo PbO ₂ * negativo Pb * Ácido sulfúrico diluido en agua	28 – 40	100 – 180	600 – 1500	Tensión por elemento alta, aceptable durante la descarga Acepta la aplicación de regeneración, aumentando su rango de funcionamiento Rendimientos de 83 – 90 % en Ah y 67 – 75 % en Wh	Capacidad influenciada por tiempo, intensidad y temperatura de descarga
Baterías de uso restringido						
Ni – Fe	* Positivo (Ni(OH) ₃) * Negativo (Fe) * K(OH) diluido en agua	55	100	1500	Buena densidad de potencia Buena duración	Precio elevado Tensión por acumulador baja Rendimiento energético bajo
Ni – Zn	* positivo (Ni(OH) ₃) * negativo (Zn) * K(OH) diluido en agua	70	130	300	Buena densidad de potencia Buena densidad de energía Buen rendimiento energético	Precio elevado Tecnología en desarrollo
Ni – Cd	* positivo (Ni(OH) ₃) * negativo (Cd) * K(OH) diluido en agua	65	200	2000	Densidad de energía y potencia aceptables Tecnología madura	Baja tensión por acumulador Mayor caída de tensión NO acepta regeneración Alto impacto ambiental debido al cadmio.
Ag – Zn	* positivo (Ag) * negativo (Zn) * Acuoso – Ácido	110	80	600	Elevadas densidades de energía y potencia.	Precio muy elevado Duración corta

⁴ Emilio Larronde Autos Eléctricos UNIZAR

Tabla 3.3. continuación

Aspecto Evaluado Tecnología	Constitución electrodos Y electrolito	Densidad Energía W *h /Kg	Densidad Potencia W/ Kg	Ciclos de vida útil	Ventajas	Desventajas
Baterías en etapa de desarrollo						
Al – aire	* positivo O2 * negativo Al * no utiliza	268	158	-	Alta densidad de energía Competitivas en precio	Rendimiento bajo Requiere circulación del electrolito para funcionar
Fe – aire	* positivo O2 * negativo Fe * no utiliza	80	30 – 40	350	Muy económica Densidad de energía aceptable	Tensión por elemento baja Densidad de potencia baja Irreversibilidad del electrodo de aire
Zn – Cl	* positivo (Cl2) * negativo (Zn) * Acuoso – Ácido	150	80	400	Densidades de energía y potencia aceptables Precio aceptable	Incluye bombas y unidades de refrigeración. Consume el 10 % de la energía que produce
Na – S	* positivo S * negativo Na * sal fundida	180	120	800	Densidades de energía y potencia aceptables. Tensión de descarga aceptable	Temperatura de operación de 3000 C Problemas de duración y aislamiento térmico
Li – FeS2	* positivo FeS2 * negativo Li/Al * sal fundida	100	95	100	Densidades de energía y potencia aceptables.	Temperatura de operación 4500 C Problemas con balance de calor, debido al electrolito sólido.

Como se observa en los cuadros anteriores, todas las tecnologías para almacenamiento de energía (baterías) tienen ventajas y desventajas en su utilización para propósitos de motorización.

Las baterías de Pb/PbO₂ se encuentran en un estado de desarrollo muy avanzado; son las más utilizadas como baterías de tracción en los sistemas de los VE. Presentan las ventajas de ser una tecnología comprobada, tienen densidades de energía y potencia aceptables, así como una curva de tensión a la descarga aceptable. Una ventaja adicional es el costo, que resulta más bajo, con respecto a las restantes opciones; debido a su utilización masiva.

Tecnologías como Cha – S, Li – FeS₂, presentan características muy adecuadas que superan a las Pb/PbO₂, pero presentan inconvenientes, como la corrosión generada por los elementos, así como las temperaturas de operación.

Celdas de Combustible

Otra opción muy interesante en el campo de aplicación de sistemas de suministro de energía lo constituyen los sistemas de celdas de combustible o “Fuel Cells”.

En principio, una celda de combustible opera como una batería. Genera electricidad combinando hidrógeno y oxígeno electro-químicamente sin ninguna combustión. A diferencia de las baterías, una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea de combustible, en la mayoría de los casos hidrógeno. El único subproducto que se genera es agua 100% pura²⁰.

Una celda de combustible consiste en dos electrodos separados por un electrolito. El oxígeno pasa sobre un electrodo e hidrógeno sobre el otro. Cuando el hidrógeno es ionizado pierde un electrón y al ocurrir esto ambos (hidrógeno y electrón) toman diferentes caminos hacia el segundo electrodo. El hidrógeno migra hacia el otro electrodo a través del electrolito mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor. Este proceso producirá agua, corriente eléctrica y calor útil. Para generar cantidades utilizables de corriente las celdas de combustibles son "amontonadas" en un emparedado de varias capas²⁰.

Las celdas de combustible son una familia de tecnologías que usan diferentes electrólitos y que operan a diferentes temperaturas. Cada miembro de esa familia tiende a ser más apropiada para ciertas aplicaciones. Por ejemplo, las celdas de combustible de membrana eléctrica polimérica han demostrado ser apropiadas para su aplicación en autos, mientras que las celdas de combustible de carbonatos fundidos parecen ser más apropiadas para uso con turbinas a gas.

²⁰ www.epa.doe.gov

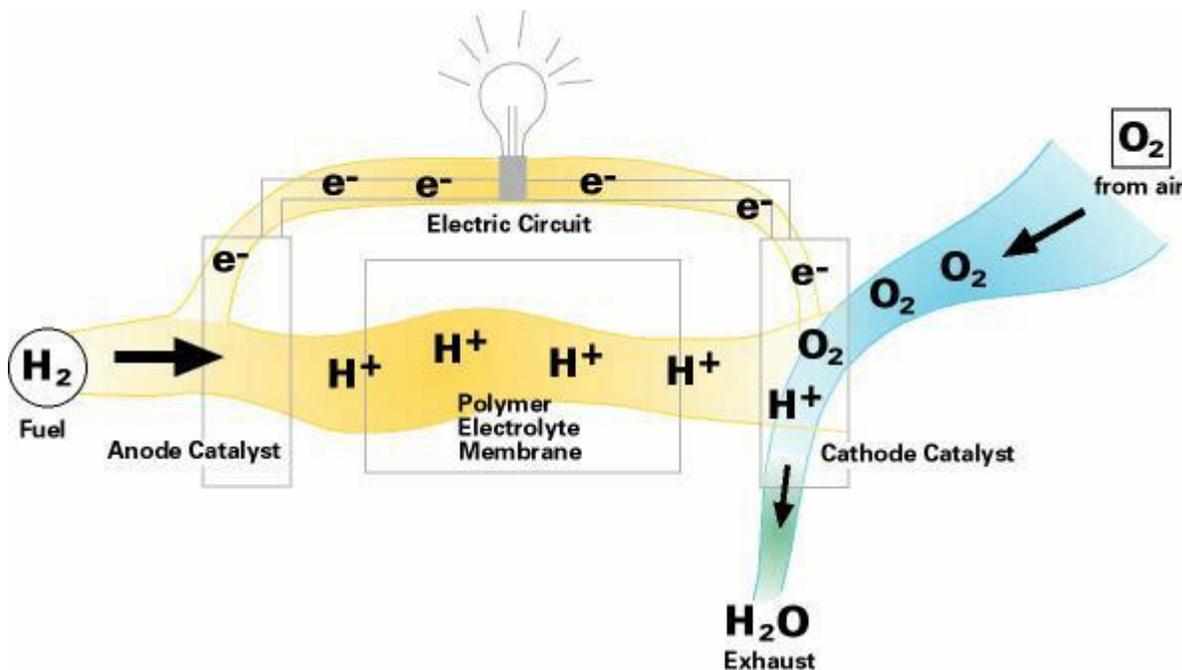


Fig. 3.16. Diagrama simplificado de funcionamiento de una celda de combustible o "fuel cell SEP" tipo PEM ²⁶

Existen diferentes tipos de celdas de combustible, se pueden citar las siguientes:

Ácido fosfórico (PAFCs).

Este es el tipo de celda de combustible más desarrollado a nivel comercial y ya se encuentra en uso en aplicaciones tan diversas como clínicas, hospitales, hoteles, edificios de oficinas, escuelas, plantas eléctricas y un terminal aeroportuarias. Las Celdas de Combustible de ácido fosfórico generan electricidad a más del 40% de eficiencia – y cerca del 85% si el vapor que ésta produce es empleado en cogeneración – comparado con el 30% de la más eficiente máquina de combustión interna. Las temperaturas de operación se encuentran en el rango de los 400° F. Este tipo de celdas pueden ser usadas en vehículos grandes tales como autobuses y locomotoras. ²⁶

Polímero Sólido ó Membrana de Intercambio Protónico (PEM).

Estas celdas operan a relativamente bajas temperaturas (unos 200° F), tienen una densidad de potencia alta, pueden variar su salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia y son adecuadas para aplicaciones donde se requiere una demanda inicial rápida, tal como en el caso de automóviles. De acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos, "son los principales candidatos para vehículos ligeros, edificios, y potencialmente para otras aplicaciones mucho más pequeñas como el reemplazamiento de baterías recargables en video cámaras". ²⁶

²⁶ www.fuelcells.com

Carbonato Fundido (MCFCs).

Las Celdas de Combustible de Carbonato Fundido prometen altas eficiencias combustible-electricidad y la habilidad para consumir combustibles base carbón. Esta celda opera a temperaturas del orden de los 1,200^o F. La primera pila de carbonato fundido a gran escala ha sido ya probada y algunas unidades para demostración están siendo terminadas para su prueba en California en 1996.²⁶

Óxido Sólido (SOFCs).

La celda de combustible de óxido sólido, podría ser usada en aplicaciones grandes de alta potencia incluyendo estaciones de generación de energía eléctrica a gran escala e industrial. Algunas organizaciones que desarrollan este tipo de celdas de combustible también prevén el uso de estas en vehículos motores. Una prueba de 100kW está siendo terminada en Europa mientras que dos pequeñas unidades de 25kW se encuentran ya en línea en Japón. Un sistema de óxido sólido normalmente utiliza un material duro cerámico en lugar de un electrolito líquido permitiendo que la temperatura de operación alcance los 1,800^o F. Las eficiencias de generación de potencia pueden alcanzar un 60%. Un tipo de Celda de Combustible de Óxido Sólido utiliza un arreglo de tubos de un metro de longitud mientras que otras variaciones incluyen un disco comprimido semejando la parte superior de una lata de sopa.²⁶

Alcalinas.

Utilizadas desde hace mucho tiempo por la NASA en misiones espaciales, este tipo de celdas pueden alcanzar eficiencias de generación eléctrica de hasta 70%. Estas celdas utilizan hidróxido de potasio como electrolito. Hasta hace poco tiempo eran demasiado costosas para aplicaciones comerciales pero varias compañías están examinando formas de reducir estos costos y mejorar la flexibilidad en su operación.²⁶

Otras Celdas de Combustible.

Nuevos miembros de la familia de Celdas de Combustible, tales como las de metanol directo, pueden surgir como resultado del presente trabajo llevado a cabo en laboratorios privados y gubernamentales.

Sin embargo el uso de esta tecnología esta limitado todavía por el alto costo de dichas celdas. Los costos iniciales rondan los \$5 000 USD por kilovatio¹, y puede ser muy difícil encontrarlos a cualquier precio. El costo tendrá que rebajarse hasta \$1 500 USD o menos para competir con las otras tecnologías para la generación de energía eléctrica. Sin embargo el costo de mantenimiento es muy bajo y el combustible es casi "gratis". Los sistemas para la generación de hidrógeno son

²⁶ www.fuelcells.com

realmente muy sencillos y tienen pocos componentes móviles susceptibles de sufrir descomposturas o desgaste

Baterías para Vehículos Eléctricos

Como fuente de alimentación de una VE, la batería debe cumplir con varios requerimientos:

- Alta densidad de energía
- Alta potencia
- Simplicidad y pequeño tamaño
- Bajas pérdidas eléctricas
- Recarga rápida
- Funcionamiento a baja y alta temperatura
- Resistencia a golpes.

Las celdas de combustible son una opción muy interesante para su aplicación como sistemas de suministro de energía en los VE. Sin embargo, su alto costo inicial las hace por ahora inalcanzables para la mayoría de las aplicaciones.

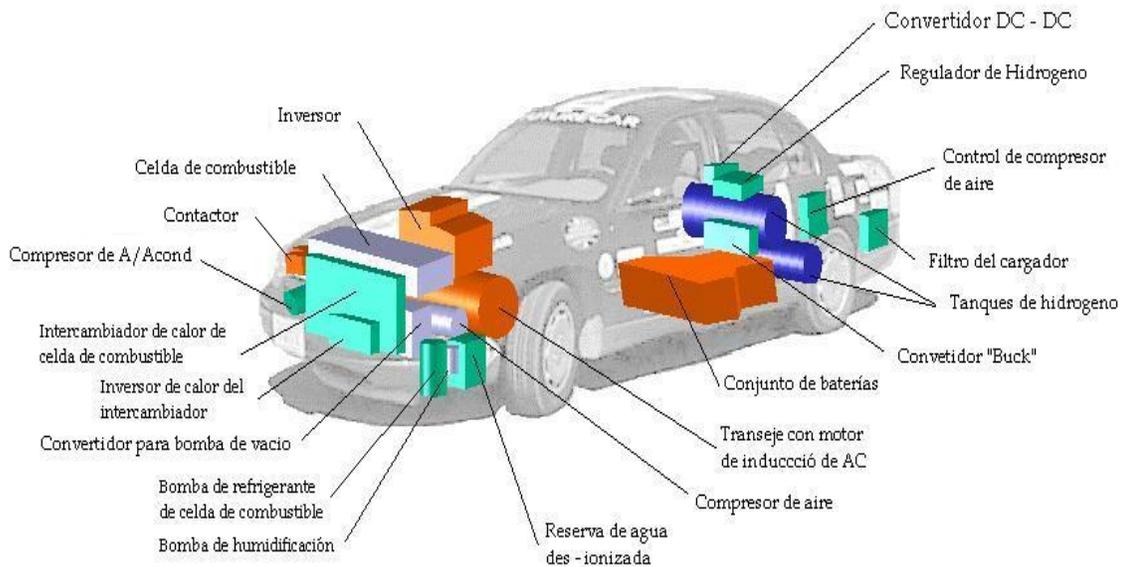


Fig. 3.17. Estructura de automóvil eléctrico impulsado por celdas de combustible²¹

Las baterías de plomo – ácido son las más utilizadas para los sistemas de propulsión de los VE, debido a las características técnicas que presentan; así como su confiabilidad de uso y bajo costo inicial.

²¹ www.vtech.edu

Este tipo de baterías están construidas por los siguientes elementos:

- *Dos electrodos*, uno positivo y uno negativo.
- *Electrolito*, medio conductor de la corriente continua entre los electrodos
- *Separadores*, que impiden el contacto entre placas positivas y negativas.
- *Recipientes*, que contienen a los elementos anteriores.

Además de otros como: tapones, conexiones entre placas, etc.

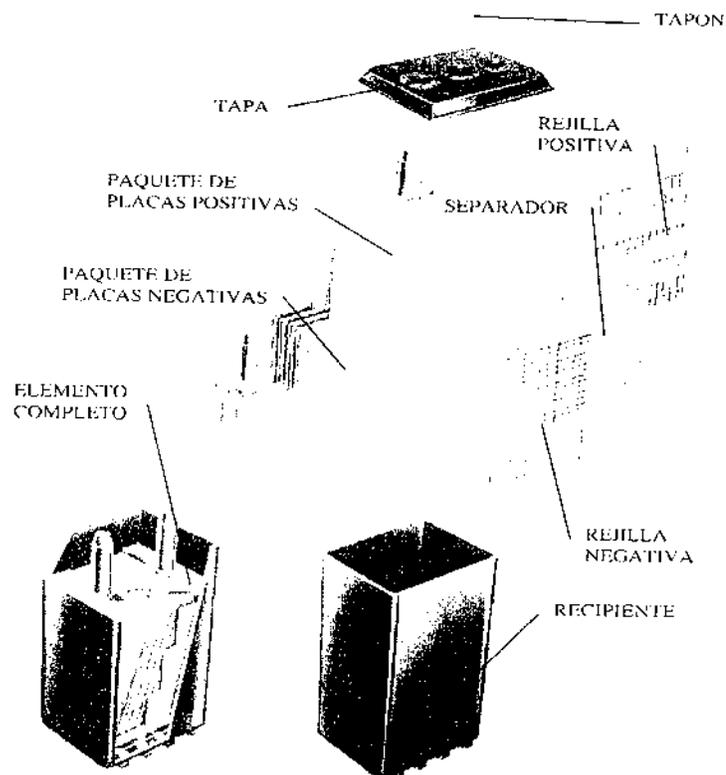


Figura 6.5. Componentes de las baterías de tracción.

Fig. 3.18. Elementos de una batería Pb/PbO₂ (plomo – ácido)²²

²² www.trojanbatteries.com

III.2.5.- Sistema de Transmisión

En el automóvil los elementos encargados en transmitir el par desde el motor hasta las ruedas motrices están agrupados en la denominada línea de transmisión o tren de mando. La disposición óptima de los elementos en el VE es de vital importancia, ya que tiene un factor determinante en el posicionamiento del grupo de baterías, ya que estas ocupan un importante porcentaje del peso y volumen del VE.

Existen cuatro posibles alternativas para el posicionamiento de los órganos mecánicos:

- Motor y tracción trasera.
- Motor y tracción delantera
- Motor trasero, tracción delantera
- Motor delantero, tracción trasera

Las dos últimas opciones se desechan, debido a que requieren de un árbol de transmisión largo entre el motor y las ruedas motrices, lo que provoca ineficiencias. Otra consideración es que sobre el eje delantero debe recaer por lo menos el 25% del peso del vehículo, para permitir que este posea la adherencia necesaria para proveer estabilidad en el sistema de dirección.

La influencia de los componentes del peso de un Ve son aproximadamente los siguientes:

Carga de pasaje	13.6 %
Carga equipaje	4.5 %
Estructura y elementos constructivos:	36.4% (divido entre ambos ejes)
Grupo de baterías	36.4 %
Motorización	9.1 % ⁴

De esta manera se selecciona al eje delantero para posicionar en este, el motor, la tracción y además del sistema de dirección, asegurando con esto que sobre este recaiga un poco mas de 27 % de peso del vehículo.⁴

⁴ Emilio Larronde, Autos Eléctricos UNIZAR

Transmisión

La velocidad lineal del vehículo se obtiene a través del radio de rodadura de los neumáticos y en función de la velocidad de giro del motor; esta a su vez está definida por la relación de la transmisión. Por transmisión se denomina al conjunto formado por la caja de velocidades y al grupo diferencial.

Para vencer las resistencias que se oponen al movimiento del vehículo a una velocidad dada, el motor genera un par que trasmite a las ruedas a través de los grupos de transmisión.



Fig. 3.19 Grupo propulsor motor- transmisión de 20 kW de potencia
(Foto: Aisin Gear Co.)²³

Caja de cambios

Es el elemento que trasmite el par y el movimiento desde el embrague hacia el árbol de transmisión. Mediante este elemento se puede contar con una relación adecuada entre la velocidad del vehículo y su fuerza, dependiendo de las condiciones de operación del vehículo en determinado momento, aprovechando de mejor manera las prestaciones del motor.

Generalmente se componen de dos árboles de transmisión, uno de entrada y uno de salida, contando con tantas relaciones como grupos de ruedas dentadas, la

²³ www.aisin.com.tw

combinación entre los diferentes grupos de ruedas genera una relación de vueltas entre el árbol de entrada y el de salida.

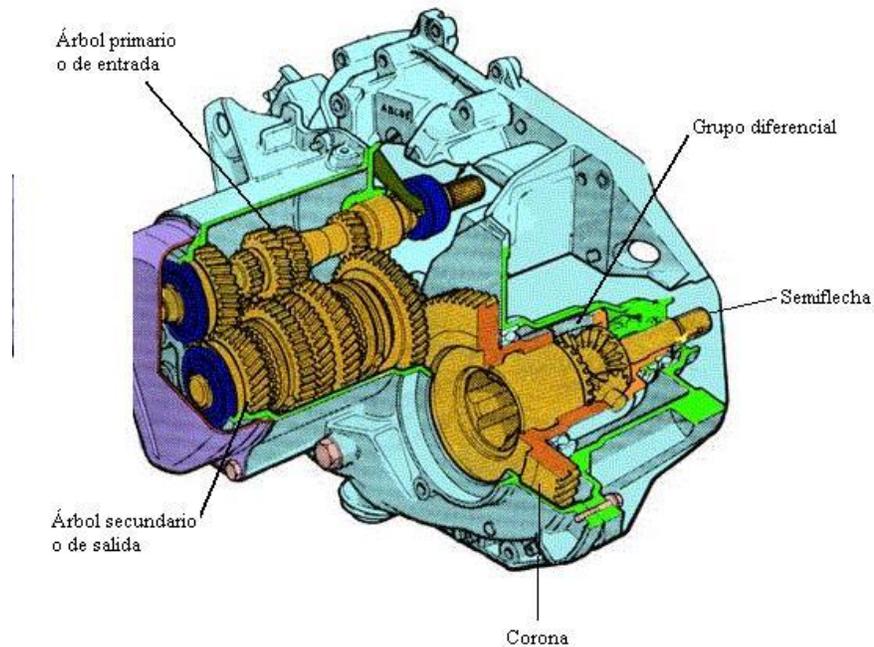


Figura 3.20 Caja de cambios de tracción delantera de 5 velocidades, con grupo diferencial integrado¹¹

Para permitir la combinación la combinación entre los diferentes grupos de ruedas dentadas, algunas de estas pueden correr longitudinalmente a través de ambos árboles de transmisión.

En el caso de un VE se prescinde del embrague debido a que motor eléctrico no presenta una velocidad mínima de rotación o ralentí, como es el caso de los motores térmicos alternativos. El rango de operación de los motores eléctricos (hasta 10'000 rpm), así como sus curvas de potencia y torque permiten la utilización de cajas de cambio con 2 relaciones, confiriendo mayor sencillez mecánica. Además no es necesario contar con una marcha atrás; esto es posible ya que se puede invertir el sentido de giro del motor eléctrico.

Árbol de transmisión

Es el encargado de realizar el transporte del torque desde la caja de cambios hasta el grupo diferencial. Su diseño depende de la disposición del motor y de la caja de cambios. En el caso de la disposición seleccionada (motor y tracción delanteros) el árbol funciona también como árbol secundario de la caja de cambios.

¹¹ Renault 18, Centro de Formación de Postventa

Grupo diferencial

Por medio del grupo diferencial se reparte el par generado por el motor a cada rueda independientemente de su velocidad de rotación; cuando el vehículo viaja en línea recta las ruedas del vehículo recorren la misma distancia a la misma velocidad angular. Sin embargo cuando el vehículo entra en una curva la rueda que se encuentra en la parte exterior de la curva recorre una distancia mayor y a una velocidad mayor que la trayectoria y velocidad que describe la rueda que se encuentra en la parte interior de la curva; provocando que la rueda exterior patinara, con la consiguiente pérdida del control del vehículo.

El diferencial va unido a la corona a través de los porta-satélites. Los satélites engranan y arrastran a los planetarios. La transmisión de los planetarios a las ruedas se hace por medio de las semi-flechas o semi-ejes

Cuando el vehículo marcha en línea recta, ambos planetarios giran con igual velocidad y por tanto los satélites no giran, solo empujan a los planetarios. En este caso la potencia como el torque que reciben los planetarios se reparten de manera igual a las ruedas motrices.

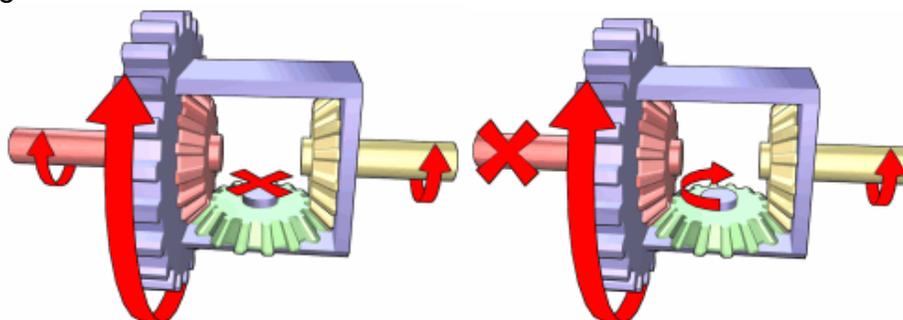


Fig. 3.21 Funcionamiento de diferencial²⁴

Cuando el vehículo toma una curva la diferencia de velocidad de rotación entre las ruedas exterior e interior hace que los satélites no solo impulsen a los planetarios, sino que además giren sobre ellos para compensar la diferencia de recorrido de las ruedas motrices.

Los planetarios y los satélites son manufacturados con dientes rectos. Los vástagos de los satélites se construyen con acero la cromo níquel y el par cónico con (piñón y corona) se construyen con acero cementado y sus dientes helicoidales a fin de que su operación sea silenciosa. La corona generalmente se fabrica por un proceso de estampado para reducir al mínimo las deformaciones térmicas. Finalmente la carcasa es de fundición de hierro

²⁴ www.howstuffworks.com

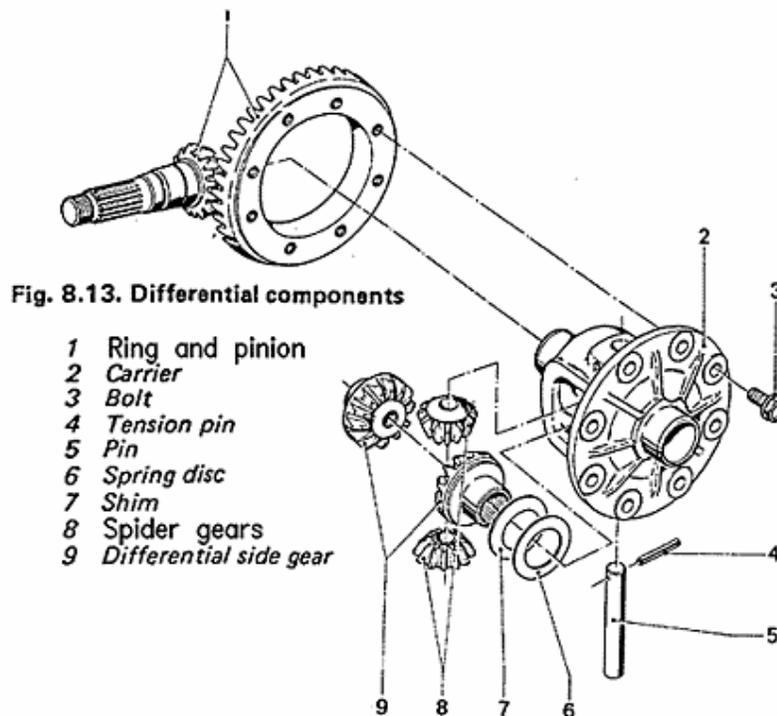


Fig. 3.22 Despiece de un grupo diferencial²⁴

Semiejes o semiflechas

Son los órganos encargados de transmitir el par del grupo diferencial, hasta las ruedas motrices. Para permitir su unión, en ambos extremos de cada semieje, se monta una junta; en la unión con el grupo diferencial, esta junta es tipo universal, y la que une con la rueda es homocinética.

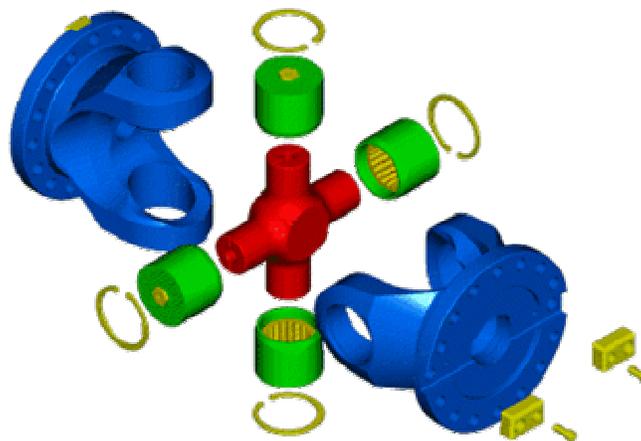


Fig. 3.23 Despiece de una junta universal²⁴

²⁴ www.howstuffworks.com

²⁵ www.meanicoweb.com

Esto permite que el semieje pueda girar (en el caso de la unión con la rueda) y su cambio de longitud y ángulo (en el caso de la unión con el grupo diferencial).

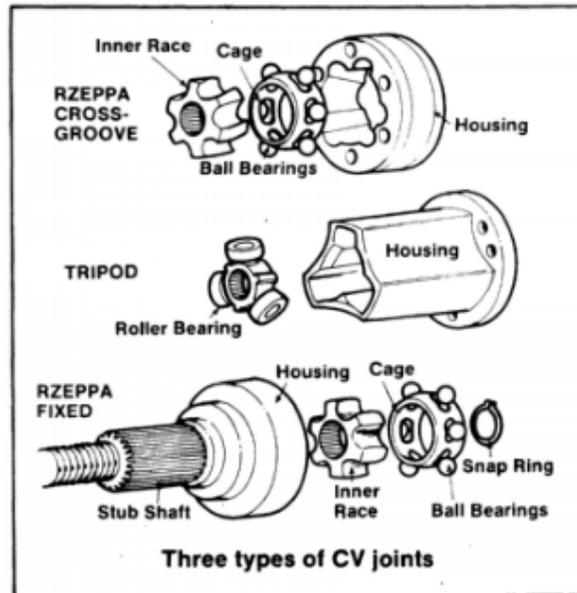


Fig. 3.24 Diferentes tipos de juntas homocinéticas ²⁵

III.2.6.- Sistemas de frenado

Del sistema de frenos depende la seguridad de marcha del vehículo, pudiendo disminuir la velocidad del mismo o detenerlo completamente en función de las necesidades del conductor.

El sistema de frenos de los automóviles actuales se basa en la oposición al giro de las ruedas para disminuir la velocidad de rotación. Esta oposición, se genera a partir de el contacto entre dos superficies; una que gira solidaria a la rueda y otra solidaria con el bastidor del automóvil, el contacto entre estas superficies genera fuerzas entre las superficies que entran en contacto, generando fricción, y a su vez generando calor, del cual una parte es disipado por el medio circundante (medio ambiente).



Fig. 3. 25 Esquema de fuerzas durante frenado. ¹³

¹³ Renault Sentra, Manual de servicio de Postventa. Nissan Mexicana S.A.

²⁵ www.mecanicoweb.com

La operación del sistema es hidráulica, y esta gobernada por el conductor a través de un pedal dispuesto en la cabina.

Este sistema utiliza un fluido hidráulico que es conducido desde el cilindro maestro (un depósito con un embolo operado por el conductor) hasta los cilindros colocados en los tambores o discos de frenado; estos giran solidarios ambos con los neumáticos. Debido al principio de incompresibilidad de los líquidos, el fluido hidráulico transmite la fuerza aplicada por el embolo en cilindro maestro, hasta los cilindros en cada una de las ruedas. En cada uno de los cilindros el fluido mueve otro embolo, que a su vez mueve los elementos de fricción contra la cara interna de los tambores o disco de frenado. Debido a la fricción entre los elementos de fricción y los tambores o discos de freno, la energía cinética se convierte en energía calorífica, de esta manera la energía cinética disminuye, hasta que el automóvil reduce su velocidad, en lo requerido por el conductor.

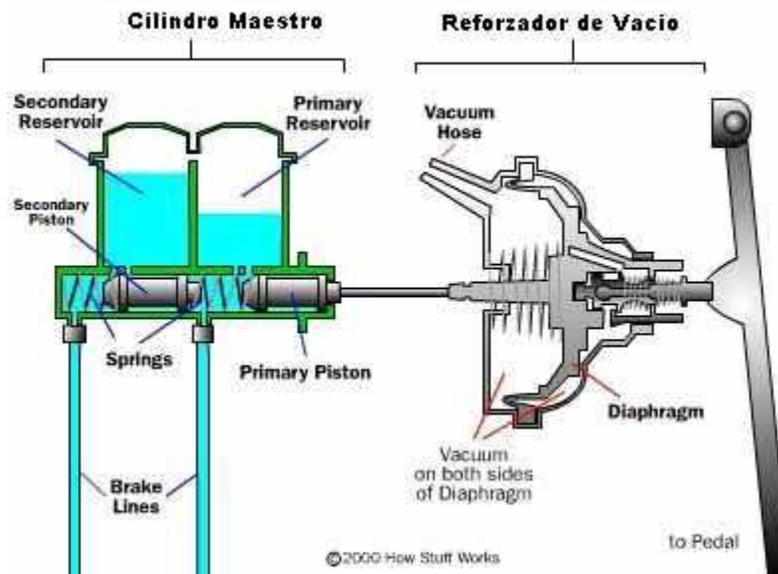


Fig .3.26. Sistema de Frenos hidráulicos²⁴

Los actuales sistemas de frenos, utilizan sistemas que permite mejorar las características, desempeño y seguridad del frenado. Entre estos destacan el ABS (Anti - Bloking Sistem) y otros. La mayoría de los actuales sistemas de frenado utilizan la asistencia por vacío para aumentar la fuerza aplicada al embolo del cilindro maestro y por tanto la fuerza aplicada en los cilindros colocados en las ruedas. Este dispositivo utiliza el vacío parcial generado por el motor de C.I.

²⁴ www.howstuffworks.com

Existen dos tipos de sistemas de freno:

- Frenos de disco

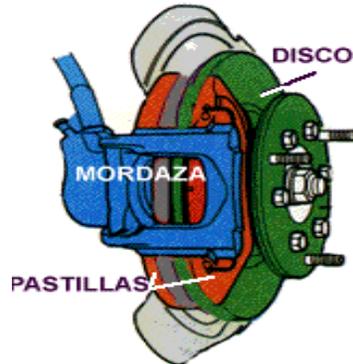


Fig. 3.27 Freno de disco ²⁴

En el sistema de frenos de disco, se tiene un disco que es solidario con la rueda; sobre este se encuentra colocado un grupo de mordazas o pinzas, este grupo contiene un par de cilindros hidráulicos, que al aplicárseles presión hidráulica, presionan un par de pastillas de material de fricción, contra una superficie del disco, creando una oposición al giro de la rueda.

- Frenos de tambor

En este sistema de frenos, el tambor o campana es solidario con la rueda; en el interior del tambor, se encuentra un cilindro hidráulico, que al ser accionado provoca un movimiento basculante en las balatas. El movimiento basculante se genera debido a que dichas balatas se encuentran sujetas por uno de sus extremos mediante una base – pivote, y por el otro están sujetas a los pistones hidráulicos del cilindro. Cuando las balatas se mueven contra la superficie interior del tambor, presionan contra dicha superficie generando una oposición al movimiento del tambor, disminuyendo la velocidad de giro de la rueda y por tanto del vehículo.

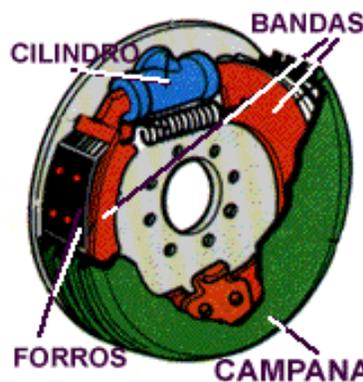


Fig. 3.28. Freno de tambor ²⁴

²⁴ www.howstuffworks.com

Siendo el aprovechamiento de la energía disponible, un factor crítico en el VE, cualquier aspecto en el cual pueda lograrse un ahorro de energía deberá explorarse. Un aspecto importante es la energía cinética generada por el desplazamiento del automóvil, en vez de ser disipada en forma de energía térmica por los frenos hidráulicos del automóvil, puede ser regenerada y realimentada a la batería, mediante un sistema de freno regenerativo.

Este tipo de frenado se basa en el principio de la reversibilidad de las máquinas eléctricas, pudiéndose utilizar como generador para recargar la batería. Ello supone el aumento de la autonomía del automóvil y de la vida de la batería.

Ellos se logra cortando la alimentación del motor, y éste se ve arrastrado por la inercia del vehículo, convirtiéndose en un generador de corriente de intensidad I que absorbe el par M . Al generar el motor la intensidad I , se absorbe un par M que deberá ser inferior al par de adherencia de las ruedas, de lo contrario estas patinarán.

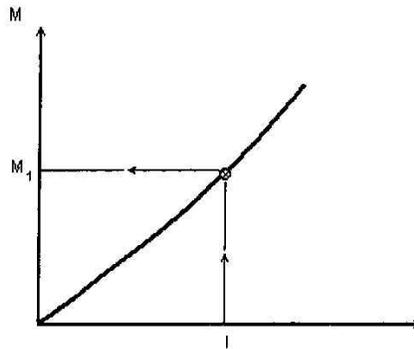


Fig. 3.29 Intensidad inferior al par de adherencia ⁴

Conforme el vehículo pierde velocidad, la fuerza electromotriz $E(I)$, va disminuyendo con lo que la intensidad generada se hace más pequeña; para tratar que el esfuerzo se mantenga constante o dentro de unos valores importantes, cuando decae la intensidad se disminuye la resistencia exterior y de esta manera se vuelven a tomar valores aceptables.

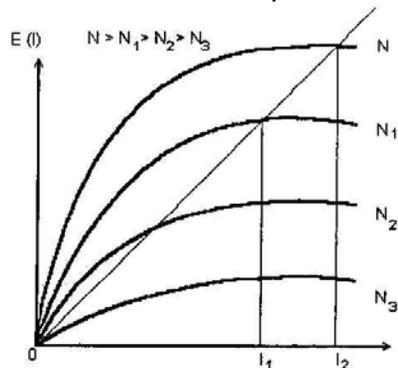


Fig. 3.30 Fuerza electromotriz durante frenada ⁴

⁴ Emilio Larrondé, Autos Eléctricos, UNIZAR

No es posible eliminar el frenado mecánico, porque el frenado regenerativo tiene limitaciones, ya que al ser el par de frenada proporcional a la velocidad de giro, a pequeñas velocidades de giro el par es insuficiente y no es capaz de detener el vehículo hasta el alto total.

III.2.7.- Sistema de Recarga de baterías

Sistema de recarga

El sistema de batería del vehículo, requiere para su funcionamiento de un sistema de recarga de energía eléctrica. En los VE este sistema proporciona la recarga necesaria a las baterías de tracción. Los sistemas principales de recarga se clasifican en dos:

Sistemas de recarga externos

Sistemas de recarga de abordó.

Cargador Externo

Son los cargadores que están situados fuera del vehículo son alimentados con tensiones de red monofásica o trifásica, de ellos, salen dos bornes con la corriente continua necesaria para cargar las baterías. El esquema eléctrico que se suele usar es colocar un transformador la frecuencia de la red de 60 Hz y después un puente semicontrolado de tridistores. El transformador crea un aislamiento galvánico entre la red y el vehículo. El puente de tridistores genera la tensión necesaria para la carga. Estos tipos de cargadores permiten una carga rápida ya que tiene altas medidas de seguridad, elevado tamaño y peso de componentes solo materializables fuera del vehículo.⁴



Fig. 3.31 Cargador Externo¹⁹

⁴ Emilio Larrondé, Autos Eléctricos, UNIZAR

¹⁹ www.epa.gov

Construcción

Una caja sólida difícilmente rompible, conteniendo todos los elementos para la carga. Esta debe soportar las condiciones climáticas así como vandalismo, conexión a la red, contador trifásico, fusible automático, enchufe estandarizado para conexiones a cielo abierto.

Ventajas :

- Permiten cargas más energéticas y compactas
- Permiten cargas rápidas de alta intensidad
- Liberan al vehículo del peso y volumen del cargador

Desventajas:

- Reducen la independencia del vehículo
- Crean la necesidad de búsqueda de un cargador externo para las necesidades particulares de la batería.

Cargador de Abordo

Este tipo de cargadores, se encuentran situados en el mismo vehículo de manera que a ellos entra la tensión de la red (alterna monofásica) y de ellos salen dos bornes con la corriente continua necesaria para cargar la batería. Realizan cargas más ligeras pero presentan el beneficio de la independencia ya que pueden conectarse a un enchufe monofásico de 120 V creando así una libertad respecto a la búsqueda de un cargador externo. Existen dos tipos:

Cargador de abordo con aislamiento galvánico

En el primero no se usa el esquema clásico de colocar un transformador a la frecuencia de la red y después un puente controlado por semiconductores, ya que el peso del transformador sería muy elevado para estar en el interior del vehículo. Se utiliza un esquema de transistores rápidos normalmente MOSFET o IGBT de alta tensión que alimentan un transformador de alta frecuencia, con lo cual se consigue disminución de peso y una reducción de la ondulación de la corriente, permitiendo una carga más continua la batería.⁴

Cargador de abordo sin aislamiento galvánico

Permite el ahorro del transformador de alta frecuencia, menor peso y volumen. Las partes no activas del cargador y las partes conductoras del vehículo deben ser conectadas a la toma de tierra del enchufe de entrada, incluyendo un dispositivo de protección a la entrada del cargador de abordo para la desconexión automática en caso de falla. La batería de tracción debe ser aislada del chasis del vehículo.⁴

⁴ Emilio Larrondé, Autos Eléctricos, UNIZAR

Ventajas :

- Necesidad únicamente de una toma de corriente convencional
- Incrementa la independencia del vehículo

Libera de la necesidad de buscar un cargador para las necesidades particulares de la batería específica

Desventajas:

- Aumenta el peso del vehículo debido al cargador.
- Cargas más ligeras y compactas.

Cargador de Inducción

El método de carga inductiva es el más sofisticado para la recarga de las baterías de un VE. Los principales objetivos de esta son:

Optimizar la operación de las baterías

Seguridad Eléctrica

Reducción de peso de cargadores de abordó

Conseguir baja distorsión con alta eficiencia.

Alargar el tiempo vida de la batería, en relación con los procesos de carga

El cargador de tipo inductivo combina en una sola unidad la transferencia de energía y la transmisión de señales para disminuir los problemas anteriormente señalados. Se instalan en el vehículo el mínimo de componentes electrónicos de potencia y el sistema trasmite la energía empleando un acoplamiento inductivo a alta frecuencia. El proceso de carga es monitorizado y controlado por un medidor de carga de abordó que comunica con el convertidor exterior el vehículo vía la transmisión de señales incluido en el acoplamiento inductivo, la eficiencia del sistema completo a una potencia de 5kW es mayor del 92%⁴

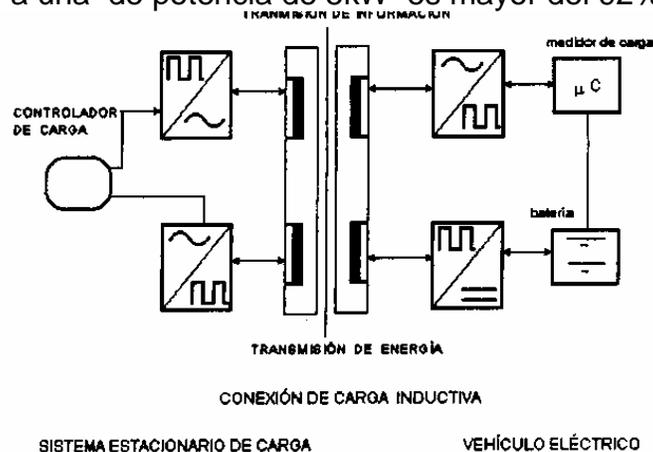


Fig. 3.32 Estructura del sistema de cargador inductivo⁴

⁴ Emilio Larrondé, Autos Eléctricos, UNIZAR

Un sistema se muestra en la Fig. 3.32 donde la conexión de carga inductiva (CCP: contactless charging plug) es el componente clave del sistema, ya que permite la transferencia de potencia e información en una sola unidad. La energía es transferida a una frecuencia de 25 kHz. Para la transmisión de la información se utilizan dos canales independientes, con un ancho de banda de 1MHz y una frecuencia portadora de 25MHz. El proceso de carga es controlado por el controlador de carga situado en la estación.

Ventajas:

Mejor comunicación entre la estación de recarga y el vehículo

Disminución del peso y del volumen respecto al cargador de abordo tradicional.

Desventajas:

Aumento en complejidad y precio

Perdida de independencia ya que crea la necesidad de buscar una toma de inducción para la necesidad de nuestro cargador.

Sistema Eléctrico Auxiliar.

La alimentación eléctrica de elementos de baja tensión como faros, intermitentes, limpiaparabrisas y otros, puede realizarse mediante diferentes configuraciones, de acuerdo a los diferentes elementos.

Conexión sin batería auxiliar y convertor de DC – DC

Permite el ahorro de peso al eliminar la batería auxiliar, pero tiene el problema de que en caso de descarga total de las baterías de tracción, no disponemos de energía para las luces de emergencia.

Conexión con batería auxiliar y sin convertor DC – DC

En este caso la batería auxiliar alimentaría continuamente las luces, las baterías de tracción energizarían únicamente al motor de tracción. Al recargarse las baterías de tracción también lo haría la batería auxiliar. Permite una mayor autonomía debido a que no existe un convertor DC – DC ahorrando peso, y de que la energía no se toma de las baterías de tracción. La desventaja es que la batería auxiliar probablemente no se descargue al mismo ritmo que la batería auxiliar, dificultando la operación del VE por la noche.

Conexión con batería auxiliar y con convertor DC – DC

En este caso las baterías de tracción alimentan el sistema eléctrico y a las baterías auxiliares. Lo que permite que la batería auxiliar no se descargara, pues la energía es cedida por el convertor, eliminando la necesidad de un cargador para las baterías auxiliares.

III.2.8. Sistemas Auxiliares

Actualmente la utilización de sistemas de dirección con asistencia servomotriz es muy común. En el caso dado que sea necesario, se necesitará adoptar una bomba hidráulica electromotriz, para suplir la función de la bomba original.

El sistema de luces del automóvil es muy importante para la correcta operación del vehículo. Tanto este sistema como el mecanismo de los limpiaparabrisas son alimentados con una tensión de 12 V. de corriente directa CD; para su alimentación se deberá contar con una batería automotriz de 12 V. CD, así como una salida de 12 V de el sistema de control del motor, esta alimentación es para la recarga de la misma batería.

El sistema de frenos hidráulicos requiere para su operación, de un sistema de vacío, este tiene por función amplificar la fuerza aplicada al pedal de freno. El vacío se logra al tomar una línea de vacío del generado por el múltiple de admisión de inyección del motor de combustión interna y aplicarla al “booster” o reforzador que convierte este vacío en una fuerza que aplica al cilindro maestro de frenado. En el caso del VE al no existir un motor de combustión interna, se hace necesario implementar un sistema de vacío con una bomba eléctrica que cumpla con las especificaciones propias del sistema de frenado.

Capitulo IV

Propuesta de solución

IV.1. Propósito y alcance

El presente trabajo tiene por finalidad conocer las características, tecnología, y campo de aplicación de los Vehículo Eléctricos (VE); también incluye un análisis para conocer la factibilidad de su aplicación en una tarea específica en el sector del auto transporte en la ciudad de México.

Este análisis centra la aplicación del V.E. como taxi de sitio con recorrido limitado (30 Km de radio de acción). La selección de esta aplicación es debido a las características tanto del tipo de recorrido, como de las características del VE.

La mayor limitante del los VE, es la capacidad de las baterías para proporcionar energía, esto repercute en el radio de acción disponible; sin embargo en el caso de las taxis de sitio, la mayoría de los servicios que proporcionan, son de menos de 30 Km a partir del a base.

También este tipo de recorridos de corto kilometraje, hace que el motor de combustión interna contamine más. Esto es debido a que cuando las unidades se encuentran en la base, el motor se encuentra apagado y por tanto se enfría. Al serle solicitado un servicio, el motor y los sistemas de reducción de la contaminación, (convertidor catalítico, principalmente) se encuentran a una temperatura menor a la necesaria para permitir su operación adecuada, (en el caso de los convertidores a catalíticos esta temperatura alcanza hasta 300 °C en su operación optima). Es decir que el vehículo durante los primeros 5 o 7 Km genera una mayor contaminación.

Los motores eléctricos que equipan a los VE tienen la característica de no generar gases contaminantes durante su operación, ser mas eficientes, poseer curvas de torque más planas, estas características, permiten que la aplicación de estas unidades a recorridos cortos, sea muy recomendable; debido a que su eficiencia no se ve tan afectada. Además de esto el costo comparativo de la gasolina es menor que la del equivalente de electricidad.

IV.2 Análisis de prestaciones

Para realizar una estimación de la energía consumida por el VE en un ciclo de trabajo se requieren conocer las características técnicas del vehículo, como son peso, desarrollo de la transmisión, área frontal, etc. con estos datos, y con la definición del ciclo de trabajo, se realizan los cálculos necesarios para determinar el número total de baterías para el sistema de tracción, así como las características específicas de estas.

IV.2.1 Datos técnicos Sentra XE 2003¹³

Peso y dimensiones :	Peso bruto vehicular: 1'508 Kg Peso vehicular vacío: 1'135 Kg Largo: 4'509 mm. Ancho: 1'710 mm. Altura: 1'410 mm. Altura de carrocería: 1'210 mm. Distancia entre ejes: 2'535 mm. Coeficiente de penetración : 0.33Cx Llantas 195/60 R15 Rines de placacero R15
Sistema de Frenos	Frenos con asistencia de vacío Frenos delanteros de disco sólidos Frenos traseros de tambor
Transmisión	Caja RS5F70A/V Manual de 5 velocidades al frente Relaciones de engranajes : 1 ^a) : 3.33 : 1 2 ^a) : 1.955 : 1 3 ^a) : 1.286 : 1 4 ^a) : 0.926 : 1 5 ^a) : 0.733 : 1 Relación del diferencial : 4.437 :1
Suspensión	Delantera independiente tipo McPherson Trasera tipo Multilink
Sistema Eléctrico	C.D. 12Volts negativo a tierra

Peso:

El peso del vehículo se ve afectado por la necesidad de retirar del vehículo el motor térmico, y se retiran los sistemas y elementos que estén asociados a este motor; de la misma manera se agregaran elementos para la impulsión eléctrica, como son el motor el sistema de baterías de tracción entre otros.

¹³ Nissan Sentra, Manual de servicio postventa, Nissan Mexicana S.A.

En la siguiente tabla se enumeran los elementos que se deberán retirar y el peso aproximado de ellos.

Tabla 4.2. Elementos retirados y peso ⁹

Elemento	Peso (Kg)
Motor térmico QG18	90
Sistema de enfriamiento (bomba, radiador, mangueras)	12
Sistema escape de gases (múltiple de escape, tubos silenciador, convertidor catalítico)	20
Tanque de combustible y accesorios	8
Calefacción (compresor, radiador, mangueras)	5
Marcha	8
Sistema eléctrico de 12 V (batería, regulador de voltaje, y arneses excluyendo iluminación)	20
Mangueras de vacío y canister	2
Llanta refacción	20
<i>Total peso reducido</i>	<i>185</i>

Ahora considerando los elementos que se agregaran para la impulsión eléctrica:

Tabla 4.3. Adición de peso ⁹

Elementos añadidos	Peso (Kg)
Motor eléctrico de 60 hp (aproximado)	60
Baterías de tracción (aproximado)	350
Controlador motor eléctrico	15
Arneses Eléctricos	10
Llanta refacción	10
<i>Total de peso añadido (aproximado)</i>	<i>450</i>

Considerando que se considero que la unidad transportaría 2 pasajeros adultos con un máximo de 20 Kg De equipaje, y un conductor se estima que el peso de los ocupantes sea de aproximadamente 250 Kg

Tabla 4.4. Peso final del vehículo ⁹

	Peso (Kg)
Peso vehículo vacío con motor térmico	1135 Kg
Peso vehículo vacío sin motor térmico	950 Kg
Peso vehículo vacío con motor eléctrico	1419 Kg
<i>Peso vehículo eléctrico con pasajeros</i>	<i>1669 Kg</i>

⁹ Figura de elaboración propia

IV.2.2 Calculo de Prestaciones

Aquí se realiza un análisis de prestaciones del vehículo considerado, para determinar la capacidad de los componentes a seleccionar, que estos sean los adecuados para cumplir con las expectativas planteadas al inicio. Para ello se realiza un estudio acerca de la resistencia al avance que genera el vehículo, la potencia necesaria, el par la relación de trasmisión, las curvas características del motor y el dimensionamiento energético del motor, en combinación de la información técnica del vehículo considerado.

IV.2.2.1 Resistencia al avance

La resistencia al avance se compone de resistencia a la rodadura (R_r) resistencia aerodinámica (R_a) y resistencia a pendientes (R_p)

$$R_T = R_r + R_a + R_p \quad (\text{Ecuación 4.1.})^4$$

La resistencia a la rodadura (R_r) es producida por la deformación del neumático, la forma de calcularla es :

$$R_r = \mu * P \quad (\text{Ecuación 4.2.})^4$$

Donde : μ = coeficiente de rodadura

P = Peso del vehículo (peso vacío + máxima carga útil) en Kg

Este coeficiente μ puede calcularse por dos métodos, de los cuales se suele elegir el más desfavorable.

A) Criterio válido para velocidades ≥ 100 Km/h

$$\mu = \mu_0 + k * v^2 \quad (\text{Ecuación 4.3})^4$$

donde μ_0 = Coeficiente de rodadura, dependiente del firme

Tabla 4.5. Coeficiente de rodadura ⁴

Superficie	Valor de μ_0
Cemento	0.0125
empedrado	0.0150
Asfalto	0.02 – 0.03
Natural duro	0.08
Natural blando	0.11
arenoso	0.15 – 0.3

$$k = \text{Constante } 0.5 \times 10^{-6} (\text{Km/h})^{-2}$$

⁴ Emilio Larrondé, Autos Eléctricos, UNIZAR

v = velocidad en Km/h

B) Por la formula recomendada por SAE.

$$\mu = \frac{k_j}{100} \left[5.1 + \frac{(5.5 + 9P_R)}{p_n} + \frac{(8.5 + 3P_R)}{p_n} * \left(\frac{v}{100} \right)^2 \right] \quad (\text{Ecuación 4.4})^4$$

Donde :

k_1 = coeficiente de constitución del neumático

= 0.8 neumáticos radiales

= 1.0 neumáticos diagonales

P_R = peso por rueda (t)

p_n = presión de neumáticos en Kg/cm²

v = Velocidad en Km/h

Utilizando los valores de μ_0 de la tabla 4.5 se obtiene:

$$\text{Asfalto } \mu_0 = 0.02 - 0.03 \approx 0.025$$

$$k = 0.5 \times 10^{-6} (\text{Km/h})^{-2}$$

$$v = 80 \text{ Km/h}$$

$$\mu_0 = (0.025 + 0.5 \times 10^{-6} * 80)$$

$$\mu_0 = 0.02504$$

Aplicando μ_0 a la ecuación 4.2 se tiene :

$$R_R = \mu * P$$

$$P = 1669 \text{ Kg}$$

$$R_R = 0.02504 * 1669$$

$$\boxed{R_R = 41.791 \text{ Kg}_f}$$

⁴ Emilio Larrondé, Autos Eléctricos, UNIZAR

IV.2.2.2 Resistencia Aerodinámica

Esta es debida al rozamiento con el aire y producida a altas velocidades. Esta está basada en el área frontal máxima proyectada²⁷

La fuerza de arrastre se calcula con la formula:

$$R_a = c_D \left(\frac{\rho * v^2}{2} \right) A \quad (\text{Ecuación 4.5})^{27}$$

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre del vehículo

ρ = Densidad del aire

v = Velocidad del vehículo

A = Área frontal máxima proyectada

El área frontal máxima proyectada en la mayoría de los vehículos de pasajeros, se puede aproximar a:

$$A = 0.85 (\text{altura} * \text{ancho}) \text{ del frontal del vehículo}$$

La potencia para contrarrestar el arrastre es:

$$P_D = F_D * v \quad (\text{Ecuación 4.6})^{27}$$

Donde: F_D = Fuerza de arrastre generada por el vehículo

v = Velocidad del vehículo.

Densidad del aire $\rho = 1.024 \text{ Kg/m}^3$

Área frontal del vehículo $A = 0.85 * (1.71 * 1.21) \text{ m}$

$$A = 1.7585 \text{ m}^2$$

$$R_A = 0.33 \left(\frac{1.024 * 22.22^2}{2} \right) 1.7585$$

$$\boxed{R_A = 146.69 \text{ N}}$$

$$\boxed{P_A = 146.69 \text{ N} * 22.22 \text{ m/s} = 3259.45 \text{ W} = 3.2594 \text{ kW}}$$

La potencia necesaria para vencer la resistencia aerodinámica se sumará directamente a la ecuación 4.8

²⁷ Mott Robert, Mecánica de fluidos, CECOSA

IV.2.2.3 Resistencia a las pendientes

Esta es debida al superar una pendiente del firme. La ecuación para obtener su valor es:

$$R_p = P * \operatorname{sen} \alpha = P * \frac{n}{100} \quad (\text{Ecuación 4.7.})^4$$

Donde :

P = peso del vehículo (peso vacío + carga útil) en Kg
n = pendiente a superar en %

La pendiente a superar se establece en un tramo de 100 metros. Así se suele denominar como “*pendiente del x%*”, al valor de x en un tramo de 100 metros. Ver pagina 30.

Aplicando la formula 4.7.

$$\begin{aligned} P &= 1669 \text{ Kg} \\ n &= 15 \% \text{ en estacionamientos} \\ &7 \% \text{ en puentes vehiculares.} \\ R_p &= 1669 \text{ kg} * 0.15 \\ R_p &= 250.35 \text{ Kg}_f. \end{aligned}$$

Aplicando los valores de $R_R + R_p$ a la ecuación 4.1

$$\begin{aligned} R_T &= R_R + R_p \\ R_T &= 41.316 \text{ Kg}_f + 250.35 \text{ Kg}_f \\ R_T &= 291.666 \text{ Kg}_f. \end{aligned}$$

IV.2.2.4. Potencia necesaria

Es la potencia que es necesario instalar en el vehículo para poder vencer la resistencia total al avance. Existen dos alternativas

1. Calcular la potencia necesaria para subir la máxima pendiente a la velocidad máxima.
2. Definir una velocidad máxima par subir la pendiente máxima, esta velocidad máxima será diferente a la velocidad máxima de crucero.

⁴ Emilio Larrondé, Autos Eléctricos, UNIZAR

La forma para calcularla es:

$$P_W = \frac{R_T * v}{75 * \eta_T} \quad (\text{Ecuación 4.8})^4$$

Donde:

P_W = Potencia en Hp

R_T = Resistencia al avance total en Kg

v = Velocidad en m/s

η_T = Rendimiento de la transmisión

Una vez calculada la potencia, se puede seleccionar un motor que pueda proporcionar dicha potencia.

En este caso se utilizará el segundo criterio donde la velocidad máxima en pendiente que será de 40 Km/h, la cual difiere de la velocidad máxima que es de 80 Km/h

$$P_{W1} = \frac{288.816 \text{ kg} * 11.11 \frac{m}{s}}{75 * 0.85} = 50.830 \text{ HP}$$

$$P_W = P_{W1} + P_A$$

$$1 \text{ kW} = 1.341 \text{ HP}$$

$$P_W = 50.830 \text{ HP} + 4.370 \text{ HP}$$

$$P_W = 55.2 \text{ HP} = 41.163 \text{ Kw}$$

Considerando los datos calculados hasta aquí, se requiere un motor de 45 – 80 kW (60 – 107 HP) para cubrir la demanda de potencia del vehículo. Sin embargo este requerimiento es el mínimo necesario para poder impulsar el vehículo; un sobre dimensionamiento del requerimiento de potencia podría beneficiar el desempeño de la unidad. Sin embargo debe considerarse que este aumento de potencia, también requerirá de un aumento en el consumo de energía; este incremento en la solicitud de energía a las baterías de tracción

Considerando una adición de un 20 % a la solicitud de potencia, se consideran los motores con rangos de potencia de entre 50 y 60 kW (72 a 84 HP)

⁴ Emilio Larrondé, Autos Eléctricos, UNIZAR

En los motores eléctricos la intensidad de la descarga de la batería es proporcional al par producido por el motor, proporcionando altos valores de par, permitiendo que se acoplen directamente los motores eléctricos a las ruedas impulsoras; sin embargo esto ocasiona que se requieran baterías de alta capacidad o que se limite la velocidad del vehículo.

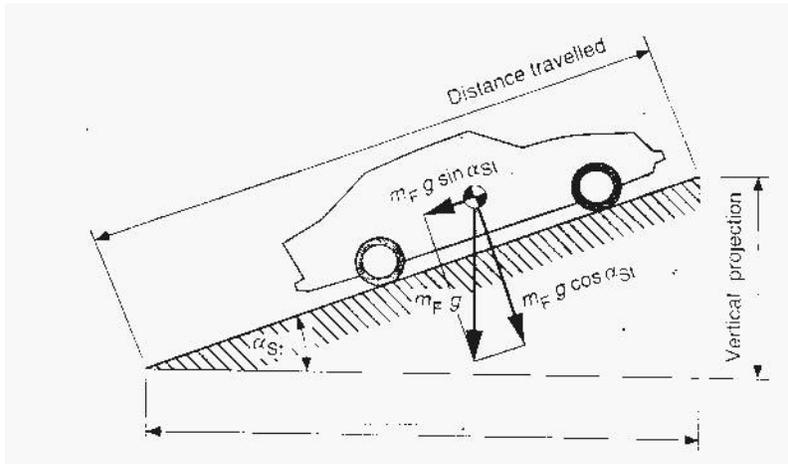
Sin embargo para la aplicación que se revisa aquí, es necesario acoplar una caja de velocidades que permita obtener una ventaja mecánica mayor, así como una mayor velocidad de crucero.

IV.2.2.5. Torque mínimo

La fuerza que proporciona el motor debe ser suficiente para poder lograr vencer la inercia del vehículo, esta fuerza se trasmite del motor a través de los elementos mecánicos de la cadena cinemática o transmisión.

Utilizando los siguientes datos como iniciales :

Peso del vehículo $W = 1669 \text{ Kg}$
Pendiente a superar $P = 0.15$
Velocidad $V = 0$



Se aplican las siguientes ecuaciones: ²⁸

$$R_t = R_1 + R_2 + P * \text{sen} \alpha^4$$

$$F_t = F_1$$

y suponiendo que $R_t = F_t$, se tiene que

$$F_1 = R_1 + R_2 * P * \text{sen} \alpha$$

²⁸ Lechmar G. Automotive Transmission

Aplicando los datos iniciales se tiene:

$$\begin{aligned}R_1 + R_2 &= P * \cos \alpha * \mu \\R_1 + R_2 &= (1669 \text{ Kg}) * (\cos 8.6269) * 0.0250 \\R_1 + R_2 &= 40.848 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$P * \sin \alpha = 1669 * (\sin 8.6269) = 250.34 \text{ Kg}$$

$$R_t = 40.848 \text{ Kg} + 247.5 \text{ Kg}$$

$$\boxed{R_t = 291.197 \text{ Kg}}$$

Este valor es la resistencia que genera el vehículo en la situación planteada; la fuerza que proporciona el motor debe ser superior al valor de la resistencia para poner el vehículo en movimiento en dicha situación. Esta fuerza es convertida por la cadena de transmisión convirtiéndola en torque y en velocidad rotacional. Como el medio de aplicación de esta fuerza son las ruedas motrices, esta fuerza debe ser aplicada en sentido giratorio y tiene un brazo de palanca. Este brazo es el radio de la llanta.

$$\text{Torque} = F * D \quad r_d = 0.307 \text{ m} = D$$

$$\boxed{R_t = 291.197 \text{ Kg} * 0.307 \text{ m} = 89.397 \text{ Kg} * \text{m}}$$

Este es el torque necesario que debe ser entregado al final de la cadena de transmisión. Este torque disponible en el eje motriz, para el impulso del vehículo, esta en función del torque del motor, multiplicado por el convertidor de torsión, y la reducción de engranajes de la caja de velocidades y del radio de multiplicación del diferencial.

La ecuación que representa esta cadena cinemática es la siguiente:

$$T_E = T * R_C * R_T * R_F^{28}$$

Donde

T_E = Torque en el eje motriz

T = Torque disponible del motor

R_C = Radio de conversión del elemento de acoplamiento motor transmisión

R_T = Relación de caja de velocidades.

R_F = Relación de diferencial.

Con esta formula se puede obtener el valor del torque disponible en el motor, para superar la resistencia la avance.

²⁸ Breycha M. Automatic Tranaxels

$$T = \frac{T_E}{R_C \times R_T \times R_F} \quad (29)$$

El equipo original del vehículo comprende, como elemento de conexión/desconexión del tren de mando un embrague de fricción. Este tipo de elemento presenta la característica que no multiplica el torque, como lo hace un convertidor de torsión hidráulico (cajas automáticas); sino que transmiten únicamente el movimiento giratorio. El valor radio R_C los embragues tipo “seco” o de fricción es $R_C = 1.0$.²⁹

Aplicando los datos conocidos de la caja de velocidades del Sentra, y el valor de la resistencia al avance se tiene:

1era. Relación

$$T = \frac{877 \text{ N} \cdot \text{m}}{1.0 \cdot 3.333 \cdot 4.437} = 59.355 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T = 58.72 \text{ N} \cdot \text{m} = 6.05 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Por tanto las características que deberá cumplir el motor son:

Tabla 4.5 Características deseables del motor para el VE⁹

Potencia	Torque pico mínimo	Rango de rotación	Peso
50 a 60 kW	6.05 N * m	0 – 5000 rpm.	Menor a 70 Kg

²⁹ Breycha M. Automatic Tranaxels

IV.2.3. Selección de motor

Los motores eléctricos utilizados para la impulsión de vehículos eléctricos se dividen en 2 tipos:

- Motores eléctricos de Corriente directa (CD)
- Motores eléctricos de Corriente Alterna (CA)

Cada uno de ellos presenta características específicas,

Tabla 4.6. Comparación de características de Motores ⁹

Tipo de motor	Ventajas	Desventajas
Corriente Directa	Sistemas de control más sencillos Costos inicial menor que los de CA	Eficacia menor que los de CA. Mantenimiento frecuente en los equipados con escobillas. Sistemas de freno regenerativos mas complicados que los de CA Peso mayor que los de CA
Corriente Alterna	Menor peso que los CD Mayor eficiencia Mayor potencia por unidad de volumen que los de CD Curvas de rendimiento más planas = mayor eficiencia constante Larga vida útil Apto para la aplicación de sistemas de frenos regenerativos	Al arranque requieren de mayores corrientes. Sistemas de control más complicados y por tanto más caros. Mayor costo inicial.

Tomando en consideración las tablas 4.5. y 4.6. se muestra la siguiente tabla donde se concentran los datos técnicos de algunos motores preseleccionados.

⁹ figura de elaboración propia

Tabla 4.7 Cuadro de características ⁹

	Requerimiento mínimo de la unidad	Brusa T-40 Tipo DC	Siemens Pv5133ws18 Tipo CA	Solectria AC-42-A Tipo CA	Uqm 5R218N Tipo DC
Potencia máxima (kW)	45 kW	40 kW	78.4 kW	70 kW	53 Kw
Potencia constante (kW)	36 kW	15 kW	30 kW	21 kW	30 kW
Torque Máximo (N * m)	60.12 N*m	148 N*m	175 N*m @ 1000 rpm	150 N * m	240 N*m
Torque constante (N * m)		40 N*m	85 N*m @ 1000 rpm	42 N * m	150 N*m
Rango de Velocidad de Rotación	0 – 6000 rpm	0– 9000 rpm	0 - 9700 rpm	0–10000 rpm	0 – 8000
Velocidad nominal de Rotación	4000 rpm	0–4000 rpm	3500 rpm	4000 rpm	
Peso	Menor a 70 Kg	61.5 Kg	68 Kg	60.5 Kg	40 Kg
Eficiencia	> 85%	85 – 98 %	*****	85 – 98 %	94 %
Sistema de enfriamiento		Aire	Agua	Aire	Agua
Precio		US \$1600			

Para Datos completos de motores, dirigirse a Anexo 1A

⁹ Figura de elaboración propia.

Curvas de rendimiento

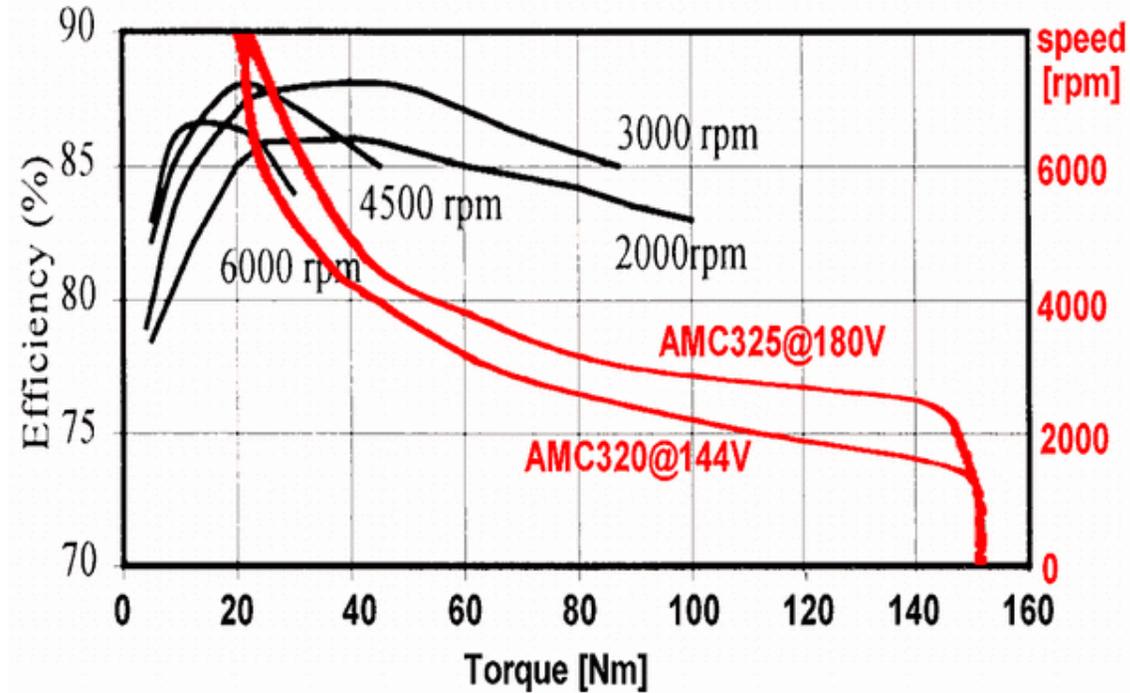
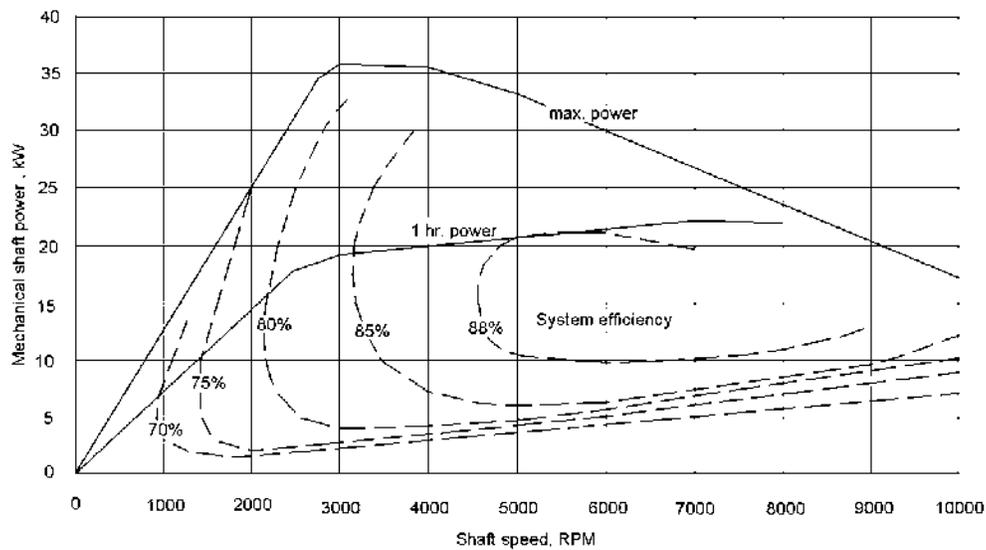


Fig. 4. 1 Curva de Rendimiento – torque del motor BRUSA –T40 acoplado a un controlador BRUSA AMC-325 ó AMC-320³⁰



Measured combined efficiency values for Simover 6SV inverter + 1PV5105WS12 motor at 130 VDC input

Fig. 4.2 Curva de rendimiento – potencia del motor Siemens Pv5133ws18 acoplado a un controlador Simover 6SV⁽³¹⁾

³⁰ www.brusa.it

³¹ www.metricmind.com

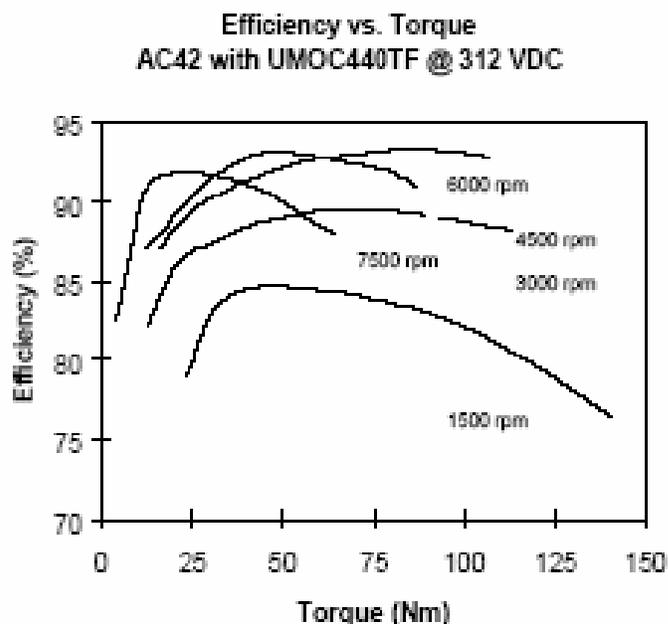
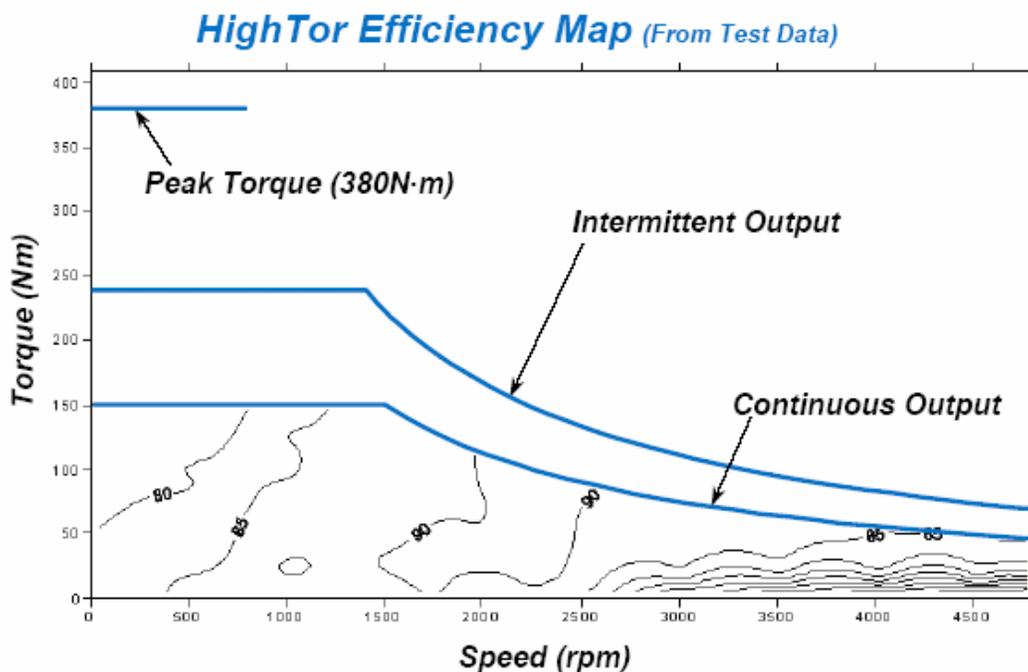


Fig. 4.3. Curva rendimiento de motor Solectria AC42, acoplado a controlador UMOC 440TF.³²



Testing Conditions

Continuous Output: 300 VDC input, 55 °C coolant
Peak Output: 300 VDC input, 55 °C coolant, duration 45-60 seconds
Torque Rating: Applications with high torque ripple should consult UQM Engineering. Rating is based on at least 1.5 in. of shaft engagement.

³² www.solectria.com

Fig. 4.4 Mapa de Eficiencia del motor UQM 5R218N ³³

Considerando la tabla 4.7. y las figuras de las curvas de rendimiento de los motores, elegimos al motor SOLECTRIA AC-42, en conjunción con un controlador UMOC440TF de la misma compañía, para integrar el grupo motor impulsor.

La selección se basa en las siguientes consideraciones:

- Es un motor de CA, que tienen una mayor eficiencia, en comparación de los motores de DC
- Cumple ampliamente con los requerimientos de potencia pico, potencia continua, torque continuo, y peso.
- Aunque el motor Siemens tiene valores mas altos, tiene la desventaja de estar refrigerado por agua, que requiere una bomba para el fluido y un radiador, lo que complica la instalación del motor; a diferencia del modelo de SOLECTRIA, que esta refrigerado con aire.
- La selección del controlador SOLECTRIA UMOC440TF, se baso en que esta combinación, representa una compatibilidad electrónica en el control y alta eficiencia, al ser este controlador específicamente diseñado para este motor.

³³ www.uqm.com

IV.3. DIMENSIONAMIENTO ENERGETICO

IV.3.1. Ciclo Urbano de Recorrido

Para poder conocer la cantidad y tipo de baterías necesarias para impulsar el V.E; se debe conocer la cantidad de energía que se utiliza para el recorrido propuesto. Esta cantidad de energía varía según el tipo de recorrido, las condiciones de tráfico, condiciones atmosféricas, etc.

Como se considero en el capítulo II , el posible mercado de este vehículo, sería el transporte de pasajeros, en la modalidad de taxi para el servicio del aeropuerto a la zona hotelera de la ciudad de México (Zona de Reforma - Chapultepec); de la misma manera su aplicación a en otras funciones o rutas de transporte podría contemplarse. Una situación como esta sería la utilización de este transporte en el centro histórico de la Ciudad de México, de manera exclusiva, en ciertas áreas donde la circulación de vehículos convencionales estaría restringida.

En USA, la EPA (Environment Pollution Agency) ha desarrollado una serie de normas, para evaluar las condiciones de emisión de contaminantes de los automóviles . Estas normas; llamadas FTP-72 y FTP-72 (Federal Testing Procedures) describen patrones de recorridos urbanos, (UDDS Urban Dynamometer Driving Shedule) que simulan las condiciones del tráfico en grandes urbes, como son frecuentes paradas, velocidades promedio de menos de 50 Km/ etc. Este ciclo de manejo, fue diseñado para los Estados Unidos; sin embargo ha probado reflejar los patrones de manejo adoptados en ciudades de otros países como San Paulo Brasil, o la misma ciudad de México

CICLO URBANO FTP-72 UDDS²⁰

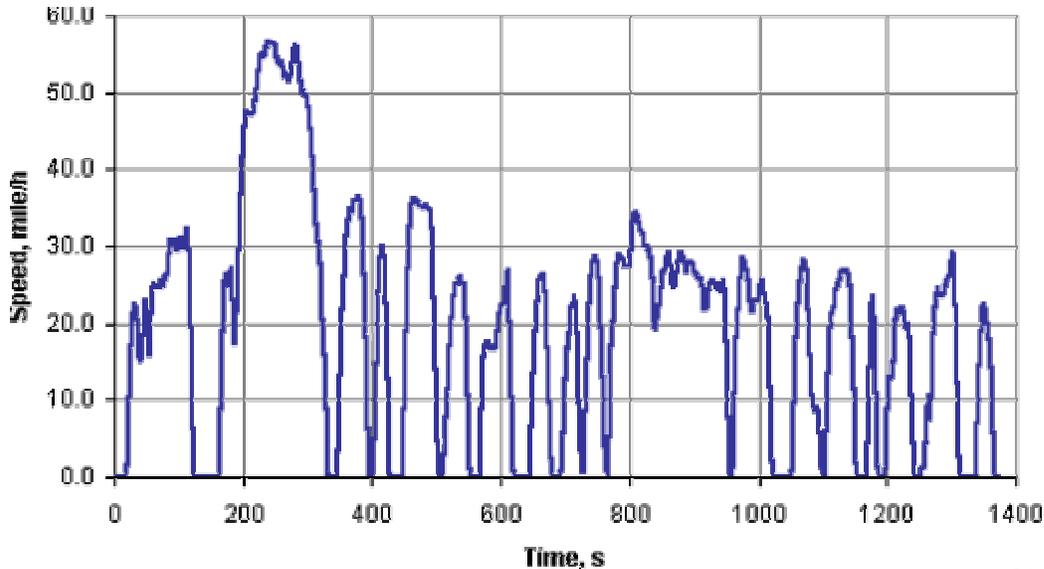
Principales Características:

Longitud del Ciclo: 7.5 millas (12.07 Km)
Tiempo de duración del ciclo: 1372 s.
Aceleración máxima: 1.5 m/s²
Velocidad media: 21.31 mph (34. 20 Km/h)
Velocidad Máxima: 53.7 mph (91.2 Km/h)

En México, las normas que miden la emisión de contaminantes no definen las condiciones de tránsito en la ciudad; estas pruebas dinámicas analizan dos condiciones; el vehículo es colocado en un dinamómetro y se le somete a una carga de 14 HP, a una velocidad de 25 Km/h , después se le somete a una carga de 9 HP a 45 Km/h. En ambos casos la duración de la prueba es de 1 minuto. Como se advierte; en esta prueba se considera un tiempo de recorrido, no una

²⁰ www.epa.doe.gov

distancia, de la misma manera la velocidad se mantiene constante durante las dos fases del recorrido. Como se nota, esta normatividad no describe el recorrido del vehículo, por lo que no es aplicable al tratar de determinar la energía necesaria para cubrir el recorrido.



Para el análisis energético del vehículo se decidió utilizar la FTP-72, extrapolando su recorrido, para cubrir el recorrido planteado en este trabajo.

Las condiciones resultantes fueron:

Extrapolación del Ciclo

Longitud del ciclo: 60 Km
Tiempo de duración del ciclo: 6805 s.
Aceleración máxima: 1.5 m/s²
Velocidad media: 40 Km/h
Velocidad máxima: 80 Km/h
Ciclos de 0 a 40 Km/h: 89.5 ≈ 90

Calculo de Aceleración, tiempo y distancia.

$$t = \frac{V_f}{a} \quad (\text{Ecuación 4.9})^{35}$$

³⁴ www.dieselnet.net

³⁵ Mosqueira Salvador, Física Preuniversitaria, CECSA

$$D = \frac{V_f^2}{2a} \quad (\text{Ecuación 4.10})^{35}$$

Para 40 Km/h :

$$V_f = 40 \text{ Km/h} = 11.11 \text{ m/s}$$

$$t_1 = \frac{(11.11 \text{ m/s})}{1.5 \text{ m/s}^2} = 7.4 \text{ s.}$$

$$D_2 = \frac{(11.11 \text{ m/s})^2}{2 * 1.5 \text{ m/s}^2} = 14.41 \text{ m.}$$

Para 80 Km/h :

$$V_f = 80 \text{ Km/m} = 22.22 \text{ m/s}$$

$$t_2 = \frac{(22.22 \text{ m/s})}{(1.5 \text{ m/s}^2)} = 14.813 \text{ s.}$$

$$D_2 = \frac{(22.22 \text{ m/s})^2}{2 * 1.5 \text{ m/s}^2} = 164.5761 \text{ m.}$$

Potencia:

P_1 = Potencia necesaria para alcanzar 40 Km/h

P_2 = Potencia necesaria para alcanzar 80 Km/h

$$P_n = \frac{R_T * D_n * g}{t_n} \quad \text{donde:}$$

R_T = Resistencia total al avance en la situación planteada

D_n = Distancia necesaria para alcanzar la velocidad deseada

T_n = Tiempo necesario para alcanzar la velocidad deseada

g = Aceleración de la gravedad local (9.81 m/s²)

Para la velocidad promedio de 40 Km/h (11.11 m/s) sustituyendo:

$$R_{40} = R_A + R_p + R_R$$

$$R_R = \mu * P$$

$$R_{R40} = \mu_{40} + (k * 40^2)$$

$$\mu_{40} = 0.0250 + (0.5 * 10^{-6} * 40^2)$$

$$R_{40} = 0.0258 * 1669$$

$$R_{40} = 43.06 \text{ Kg}$$

³⁵ Mosqueira Salvador Física Preuniversitaria, CECSA

$$R_{A40} = 0.33 \frac{1.024 * 11.11^2}{2} 1.7885 = 37.29 N = 3.802 \text{ Kg.}$$

$$R_{P40} = 1669 * 0.07$$

$$R_{P40} = 116.834 \text{ Kg}$$

$$R_{T40} = 43.06 + 3.08 + 116.83 = 163.962 \text{ Kg}$$

$$R_{T40} = 163.962 \text{ Kg}$$

$$P_{40} = \frac{(163.692 \text{ kg} * 41.14 \text{ m} * 9.81 \text{ m/s}^2)}{7.4 \text{ s}} = 8927 \text{ W}$$

En el caso de la velocidad de 80 Km/h (22.22 m/s) se tiene

$$R_{80} = R_A + R_R$$

$$R_R = \mu * P$$

$$R_{R40} = \mu_{40} + (k * 80^2)$$

$$\mu_{40} = 0.0250 + (0.5 * 10^{-6} * 80^2)$$

$$R_{40} = 0.0282 * 1669$$

$$R_{40} = 47.06 \text{ Kg}$$

$$R_{A80} = 0.33 \frac{1.024 * 22.22^2}{2} 1.7885 = 149.19 N = 15.2 \text{ Kg.}$$

R_{P80} = La resistencia a la pendiente, se considera nula, debido a que la velocidad del VE se limita a 40 Km/h al superar pendientes.

$$R_{T40} = 47.06 + 15.20 = 62.26 \text{ Kg}$$

$$R_{T80} = 62.26 \text{ Kg}$$

$$P_{80} = \frac{(62.26 \text{ kg} * 123.43 \text{ m} * 9.81 \text{ m/s}^2)}{7.4 \text{ s}} = 10187.5 \text{ W}$$

La energía necesaria para arrancar de 0 a 80 Km/h es:

$$E_{ARRANQUE} = \frac{1}{2}(T_{40} * P_{40}) + \frac{1}{2}(T_{80} * P_{80})^4$$

En nuestro caso , se tiene :

$$E_{ARRANQUE} = \left(\frac{7.4s * 8927W}{2} \right) + \left(\frac{7.4s * 10187w}{2} \right) = 70721W * s$$

La potencia que se debe suministrar al eje de tracción cada vez que hay un arranque hasta conseguir la velocidad de 40 Km/h se calcula como sigue:

$$\begin{aligned} R_{A40} &= 37.29 \text{ N} = 3.80 \text{ Kg} \\ R_{R40} &= 42.57 \text{ Kg} = 422.41 \text{ N} \\ R_{P40} &= 116.83 \text{ Kg} = 1146.1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{T40} &= R_{A40} + R_{R40} + R_{P40} = 37.29 \text{ N} + 422.41 \text{ N} + 1146.1 \text{ N} = 1605.8 \text{ N} \\ R_{T40} &= 1605 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_{40} = 1605.8 \text{ N} * 11.11 \text{ m/s}^2 = 17840 \text{ W}$$

Esta es la potencia que deben suministrar las baterías de tracción Sin embargo, esta cantidad se ve afectada por la eficiencia del motor y la del controlador. La eficiencia del motor varia, con respecto a la velocidad de rotación, esta eficiencia varia de 75 % a 93 %; esta eficiencia esta ligada al uso del controlador *UMOC440TF* de SOLECTRIA, lo que implica que esta eficiencia engloba ambos dispositivos. En este caso se considera una eficiencia promedio de 85 % para ambos dispositivos.

En el caso de la transmisión se considera una eficiencia del 83 %.⁴

$$\begin{aligned} P_{BAT} &= \frac{P}{\eta_{MOT} * \eta_{TRANS}} \\ P_{BAT} &= \frac{17840}{0.85 * 0.83} = 25287W \end{aligned}$$

Esta es la potencia que deben suministrar las baterías de tracción, cada vez que ocurra un arranque de 0 a 40 Km/h.

⁴ Emilio Larrondé, Autos Eléctricos, UNIZAR

La energía a utilizarse en cada arranque de 0 a 40 Km/h. se calcula a partir de la potencia utilizada y el tiempo que esta es utilizada. Para determinar el tiempo total utilizado en los arranques del ciclo FT-72, se utilizan el número de arranques del ciclo y el tiempo utilizado en cada arranque.

Tiempo de utilización

Ciclo FTP-72

Tiempo total del ciclo: 1372 s.
Recorrido total 12.06 Km
18 arranques de 0 a 40 Km/h
Aceleración (máxima) = 1.5 m/s²

Extrapolación del ciclo

Tiempo total de la extrapolación: 6825 s
Recorrido total 60 Km
90 arranques de 0 a 40 Km/h

El tiempo total de utilización del ciclo es de 6825 s

De este tiempo el 5% el automóvil se encuentra en $V = 0$; por lo que no se consume energía de las baterías de tracción.

$$\begin{array}{r} 6825.00 \text{ s} \\ - \quad \underline{341.25 \text{ s}} \\ \hline 6483.75 \text{ s} \end{array}$$

De este tiempo se descuenta el tiempo en que el automóvil se encuentra acelerando

El tiempo total utilizado en arrancar de 0 a 40 Km/h

$$\left(\begin{array}{l} \text{Tiempo empleado} \\ \text{para alcanzar } 40 \text{ km/h} \end{array} \right) * \left(\begin{array}{l} \text{Numero de} \\ \text{arranques} \end{array} \right) = \text{Tiempo empleado en arranques}$$

$$(7.40 \text{ s.}) * (90) = 666 \text{ s.}$$

$$\begin{array}{r} 6483.75 \\ - \quad \underline{666.00} \\ \hline 5817.75 \text{ s} \end{array}$$

Debido a las condiciones del tráfico, el VE deberá frenar para disminuir su velocidad, durante este periodo el automóvil no consume energía para su impulsión; se considera un tiempo igual al tiempo para aceleración de 0 a 40 Km/h.

$$\begin{array}{r} 5817.75 \text{ s} \\ - 666.00 \text{ s} \\ \hline 5151.75 \text{ s} \end{array}$$

Del tiempo restante se considera que el automóvil se encuentra el 80 % del tiempo a una velocidad igual a 40 Km/h y el 20 % igual o menor a 80 Km/h.

$$\begin{array}{ll} 40 \text{ Km/h} & 4121.4 \text{ s.} \\ 80 \text{ Km/h} & 1030.3 \text{ s.} \end{array}$$

Con estos tiempos se calcula la energía necesaria para cumplir el ciclo establecido.

Tabla 4.8 Resumen de tiempo de utilización del ciclo ⁹

Condición en el ciclo	Tiempo (s)	% del ciclo
Tiempo con V = 0	341.25	5 %
Tiempo en aceleración de 0 a 40 Km/h	666 s.	9.75 %
Tiempo con aplicación de freno	666 s.	9.75 %
Tiempo con velocidad igual a 40 Km/h	4121.4	60.4 %
Tiempo con velocidad igual o menor a 80 Km/h	1030.3	15.07
Total	6825	100 %

Energía utilizada en arranques

$$\begin{aligned} E_{\text{arranque}} &= (25287 \text{ W}) * (666 \text{ s}) = 16841142 \text{ W *s} \\ E_{\text{arranque}} &= 16841 \text{ kW*s} \end{aligned}$$

$$E_{\text{arranque}} = 4.678 \text{ kW * h}$$

Energía utilizada en arranques

Dentro del recorrido urbano se encuentran puentes o zonas donde existe una pendiente; un cálculo del recorrido que se efectúa en estas condiciones, es incierto, debido a que depende de la ruta considerada, por lo que supondremos que el 10% del recorrido se efectúa con una pendiente de 7%.

$$\begin{aligned} P_{40} &= (R_{T40} * V_{40}) \\ R_{T40} &= R_{A40} + R_{R40} + R_{P40} \quad R_{T40} = 163.692 \text{ Kg} = 1608.85 \text{ N} \end{aligned}$$

⁹ Figura de Elaboración propia

$$P_{40} = 1605.81 \cdot 11.11 \text{ m/s}$$

$$P_{40} = 17.84 \text{ kW}$$

Si no se considera la pendiente se tiene:

$$R_{T40} = R_{A40} + R_{R40} = 37.29 \text{ N} + 422.4 \text{ N}$$

$$R_{T40} = 459.69 \text{ N}$$

Entonces la potencia será:

$$P_{40} = 459.69 \text{ N} \cdot 11.11 \text{ m/s} = 5.107 \text{ kW}$$

En función de los tiempos de la tabla 4.8. :

Tabla 4..9. Relación tiempo – velocidad $\leq 40 \text{ Km/h}$ ⁹

Tiempo total con velocidad menor o igual a 40 Km/h	4121.4	100 %
Tiempo con velocidad igual a 40 Km/h y pendiente = 0	3709.3	90 %
Tiempo con velocidad menor o igual a 40 Km/h y pendiente $\leq 6 = 7 \%$	412.1	10 %

La energía utilizada a para ambos periodos de tiempo :

$$E_{40} = (T_{40}) \cdot (P_{40})$$

$$E_{40} = (3709.3) \cdot (5107.15) = 18943973 \text{ W} \cdot \text{s}$$

$$E_{40} = 5.26 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

En el caso de considerar la pendiente:

$$E_{40} = (T_{40}) \cdot (P_{40})$$

$$E_{40} = (412.1 \text{ s}) \cdot (17840) = 7351864 \text{ W} \cdot \text{s}$$

$$E_{40} = 2.04 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

Entonces la energía total (para el recorrido a 40 Km/h) sería de

$$E_{40} = 2.04 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$+ E_{40p} = 5.26 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$E_{40} = 7.30 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

⁹ Figura de elaboración propia

Energía cuando $V \leq 80$ Km/h

Cuando la unidad supera la velocidad de 11.11 m/s la resistencia la avance cambia también :

$$P_{80} = (R_{T80} * V_{80})$$

$$R_{T80} = R_{A80} + R_{R80} +$$

$$R_{A80} =$$

$$R_{R80} = \mu_{80} * w \quad \mu_{80} = \mu_0 + KV^2; \text{ en este caso } V = [\text{Km/h}]$$

$$\mu_{80} = 0.025 + (0.5 \times 10^{-6}) * (80^2) = 0.0282$$

$$R_{R80} = 0.0282 * 1669 \text{ Kg} = 47 \text{ Kg}$$

$$R_{A80} = 146.69 \text{ N} = 14.95 \text{ Kg}$$

$$R_{T80} = 47 + 14.95 = 61.95 \text{ Kg} = 607.73 \text{ N}$$

$$P_{80} = (R_{T80}) * (V_{80}) = (607.73 \text{ N}) (22.22 \text{ m/s})$$

$$P_{80} = 13503.74 \text{ W}$$

La energía utilizada según la fase del ciclo:

$$E_{80} = P_{80} * T_{80} = (13503.74 \text{ W}) * (1027.57 \text{ s})$$

$$E_{80} = 13876047 \text{ W} * \text{s} = 13876 \text{ kW} * \text{s}$$

$$E_{80} = 3.85 \text{ kW} * \text{h}$$

La energía total que deben suministrar las baterías durante el ciclo de manejo es la suma las anteriores.

$$E_B = E_{ARRANQUE} + E_{40} + E_{80}^{(4)};$$

$$E_B = 4.678 \text{ kW} * \text{h} + 7.30 \text{ Kw} * \text{h} + 3.85 \text{ kW} * \text{h}$$

$$E_B = 15.828 \text{ kW} * \text{h}$$

De esta cifra se debe considerar la eficiencia de las baterías de tracción, así como la de los elementos de control e impulsión del automóvil. En este caso el de las baterías, el motor y el controlador tienen una eficiencia conjunta de alrededor del 85%; la transmisión, tiene una eficiencia de cerca del 83 %, por lo que se tiene

$$E_{BAT} = \frac{E_B}{\eta_E * \eta_T} ; E_{BAT} = \frac{15.828kW * H}{.85 * .83} = 22.43kW * h^4$$

$$E_{BAT} = 22.43 kW*h$$

En el caso planteado se debe considerar que el grupo motor – controlador tiene la opción de regeneración de energía; es decir, el conductor al aplicar el freno, manda una señal al controlador; este a su vez deja de suministrar energía de impulsión al motor, y el motor empieza a funcionar como generador, alimentando de energía a las baterías de tracción; esta regeneración de energía es en el mejor de los casos del 30 al 40 % de la energía suministrada⁽⁴⁾, en nuestro caso consideraremos una regeneración del 30 % de la energía suministrada es decir :

$$\text{Regeneración (30\%)} = 6.73 \text{ kW}$$

$$E_{BAT} = 22.43 \text{ kW*h} - 6.73 = 15.7 \text{ kW*h}$$

Es decir el paquete de baterías de tracción deberá suministrar 16 kW*h como mínimo.

Para calcular la capacidad de la batería, se toma en cuenta la tensión de trabajo del motor:

$$C_{Ah} = \frac{E_{TOTAL}}{V_M} ; C_{Ah} = \frac{16300 \text{ W} * H}{312} = 50.32 \text{ Ah}$$

$$C_{Ah} = 50.32 \text{ Ah}$$

Esta es la capacidad de carga de la batería o baterías de tracción en su conjunto, para suministrar la corriente necesaria durante el ciclo de trabajo.

⁴ Emilio Larrondé, Autos Eléctricos, UNIZAR

IV.3.2 Selección de baterías de tracción.

La selección de las baterías de tracción se basa en los siguientes criterios:

- Cumplir con los requerimientos de Potencia, Capacidad y peso mínimo.
- Aspectos como ciclos de vida, tiempo de recarga, precio será considerados como aspectos a evaluar.

Se consideró comparar las diferentes tecnologías de baterías, para realizar una selección de la opción mas adecuada a los requerimientos.

Los requerimientos de potencia que deberá suplir el conjunto de baterías de tracción son los siguientes:

Potencia: 16 kW*h

Capacidad: 50 Ah.

Voltaje (CD): 312 V.

A partir de estos parámetros, se seleccionaron los siguientes tipos de baterías, evaluando la capacidad de cumplir con los parámetros.

Tabla 4.10. Cuadro –resumen de baterías ⁹

Características	Par electroquímico	Voltaje por celda	Capacidad Ah	Energía Especifica (Wh/Kg)	Peso (conjunto de baterías)	Sistema de Refrigeración
Modelo (tipo)						
Requeridos por el V.E. (En conjunto)	*****	312 V CD (Total)	50.2 Ah	45.30 Wh/Kg	350 Kg máximo	Aire preferente mente
Texaco Ovonic 12HEV50	Níquel – Hidruro de metal	12 V DC	50 Ah	50 Wh/Kg	317.2 Kg	Liquida
SAFT VL 45 E Modulo 6s	Ion - Litio	21.6 V	42 Ah	114 Wh/Kg	120 Kg	Liquida
Solectria 15.6 kWh	Plomo Ácido VRLE	312 V CD	50 Ah	20.8 Wh/Kg	750 Kg	Liquida – aire
SAFT NI-Mh	Níquel –Hidruro de metal	12 V CD	100 Ah	69 Wh/Kg	483.6 Kg	Liquida
SAFT Ni-Cd STH 520	Níquel - Cadmio	1.25 V CD	52 Ah	22.41 Wh/Kg	725 Kg	Aire
Texaco Ovonic NiMHax 336	Níquel – Hidruro de metal	336 V	8.5 Ah	700 Wh/Kg	600 Kg	Liquido integrado

Para información completa de conjunto de baterías, ver Anexo 1B

⁹ Figura de elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior, los diferentes conjuntos de baterías cumplen con al menos uno de las especificaciones necesarias para su aplicación en el V.E.; sin embargo, para su uso como sistema de baterías de tracción en el V.E. se requiere que cumpla con el máximo de especificaciones posibles,.

El conjunto de baterías Texaco Ovonic 12HEV50, es el más adecuado para cumplir con los requerimientos planteados. Las baterías SAFT VL 45, cumplen también con los requerimientos, a excepción de la capacidad. Sin embargo su bajo peso (120 Kg en total) hacen que se pueda reconsiderar el peso planteado. Al disminuir el peso, los requerimientos de energía disminuyen, por tanto, la capacidad también disminuye.

Para conseguir el voltaje de alimentación al controlador y por tanto al motor, se requieren 26 módulos del tipo 12HEV50 ($12\text{ V} \times 26 = 312\text{ V}$) conectados en paralelo; las dimensiones de cada modulo son las siguientes:

Largo 375 mm.
Ancho 102 mm.
Altura 120 mm.

Es decir cada una tiene un volumen de 5.0 L, el volumen total del conjunto sería de 130 litros. Según la tabla 2.2. el modelo seleccionado Nissan Sentra tiene una capacidad en la cajuela de 328 litros, suficiente para acomodar las baterías.

IV.4 Modificaciones a la unidad

IV.4.1 Sistema de Frenos

En el caso que nos ocupa, se presentan dos situaciones,

- El VE carece de motor de C.I. para generar el vacío parcial.
- El vehículo aumenta de peso debido a la adición de los componentes necesarios para la impulsión eléctrica.

El efecto de estas dos condiciones, es que el sistema de frenos no se encuentra en condiciones de operación adecuadas. Debido a esto se deben hacer las adecuaciones necesarias para permitir la operación adecuada y segura del vehículo. Una de estas modificaciones implica montar una bomba de vacío eléctrica para generar el vacío necesario para la operación del sistema de frenos.

Las características de esta bomba son las siguientes:

- Deberá ser capaz de proporcionar el vacío necesario para la operación del booster de frenado. Generalmente para automóviles con pesos de hasta 2500 Kg de P.B.V. se requieren de 11" a 16" hg de vacío.
- Obviamente deberá ser de impulsión eléctrica; 12 Volts CD.

A partir de estas dos condiciones se encontraron los siguientes modelos:

Bomba de vacío Brusa

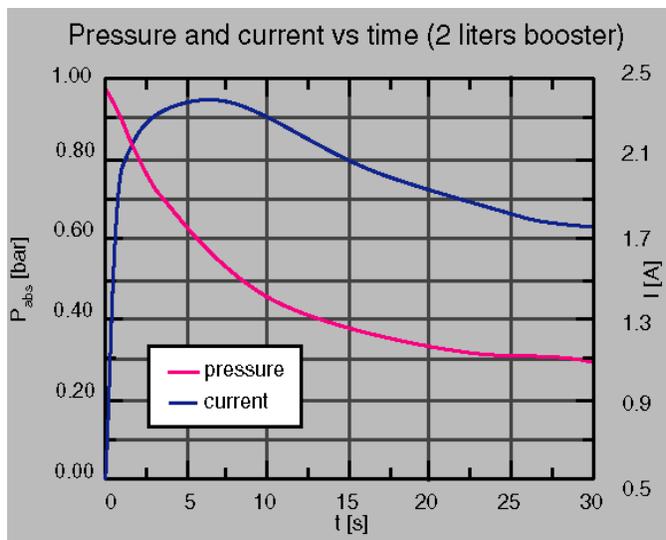


Fig. 4.7. Bomba de vacío eléctrica marca Brusa. Curvas de desempeño y modelo³⁰

³⁰ www.brusa.it

Las características de este modelo son las siguientes:

Tabla 4.11 Características de bomba Brusa⁹

Voltaje Nominal	12 VDC
Corriente Máxima	< 2.1 A
Tiempo en lograr -0.5 bar (en un tanque de 2 litros)	< 12 sec
Vacío máximo recomendado	-0.65 bar
Presión mínima de histéresis para encendido	0.05 bar
Temperatura de operación	-20 a 80 ⁰ C
Nivel de ruido	< 58 dBA
Peso	1.2 Kg

Esta bomba tiene un precio de 576 Francos suizos (4500 pesos mexicanos aprox.)

Bomba PM Brakes



Fig. 4.9. Bomba eléctrica PM Brakes³⁷

Tabla 4.12 Características de bomba PM Brakes

Voltaje Nominal	12 VDC
Corriente Máxima	3.0 A
Presión operativa	21 inch de vacío
Peso	1.5 Kg

Esta unidad tiene un costo de US \$389.95 (\$ 3900 pesos mexicanos aprox.)

⁹ Figura de elaboración propia

³⁷ www.pmbreaks.com

Bomba de vacío GM



Fig 4.10 Bomba eléctrica de vacío de GM

Esta opción es una bomba desarrollada por GM en la década de 80's, para suplir la demanda de vacío en ciertos modelos; en este caso el motor de CI. no generaba el suficiente vacío para permitir la operación de los frenos. Las unidades disponibles, se consiguen como piezas remanufacturadas, o como piezas usadas en des-huesaderos, desgraciadamente en México no se fabricaron modelo con esta bomba.

Sus características son:

Tabla 4.13 Características de bomba GM ⁹

Numero de parte	22034995
Presión de nominal de vacío	22 inch mg
Presión de vacío mínima al arranque	12 inch mg
Tiempo para pasar de 12 a 22 inch mg	12 seg.
Precio	Usadas US \$15 Remanufacturadas US \$ 150 Nuevo (OEM) US \$ 450

De manera adicional la bomba estará conectada a un tanque de vacío, que hará las veces de "deposito de vacío", para permitir el funcionamiento intermitente de la bomba.

La otra modificación necesaria es el cambio de componentes de fricción, por otros con una coeficiente de fricción más elevado. Esto permitiría poder manejar el aumento de peso en el vehículo.

IV.4.2 Sistema de Suspensión

Otro de los sistemas de suma importancia en la conducción del automóvil es el sistema de suspensión. Este es el encargado de mantener en permanente contacto del tren de transmisión, con la superficie de rozamiento para que de esta manera el conductor tenga el control del tren de transmisión; otra de sus funciones es la de permitir salvar las irregularidades de la superficie de rodamiento y la de absorber las variaciones en la carga.

El funcionamiento se basa en 3 elementos básicos; un elemento de unión del conjunto de la rueda con el chasis del vehículo; este mecanismo esta compuesto o por una serie de brazos y tirantes que establecen un determinado tipo de geometría y que determina la inclinación de la rueda en sus movimientos verticales hacia arriba y hacia abajo.

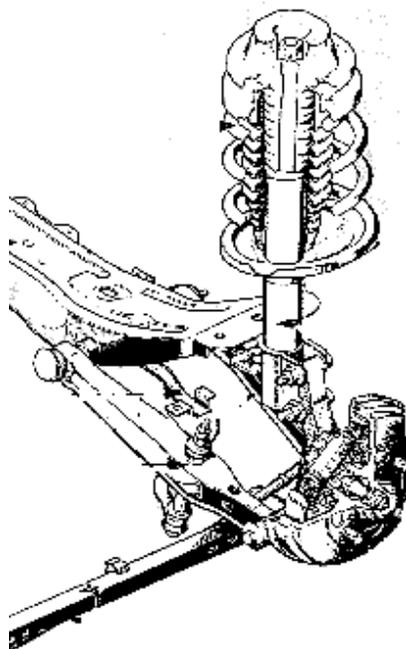


Fig. 4.11 Diagrama de sistema de suspensión.²⁵

El elemento elástico (resortes helicoidales o barras de torsión) se encarga de mantener la altura de la carrocería, absorbiendo las irregularidades del asfalto en mayor o menor medida, en función de la dureza más o menos firme que determine el fabricante.

La tarea específica de los resortes es soportar el peso del vehículo y de la carga. Son ellos los que mantienen nivelado al vehículo e impiden que las vibraciones sufridas por las ruedas se transmitan a los pasajeros, ya sea cuando el mismo esta detenido o en marcha.

²⁵ www.mecanicoweb.com

Cuando una rueda supera un obstáculo, el resorte es comprimido acumulando energía que hará distender al resorte y oscilar varias veces hasta encontrar su equilibrio. Justamente para evitar un número excesivo de oscilaciones, se utilizan los amortiguadores. Aumentando la resistencia a los movimientos bruscos del resorte, los amortiguadores limitan las oscilaciones, restableciendo rápidamente el equilibrio del vehículo.

Finalmente tenemos un elemento de dispersión de energía (los amortiguadores), que son los encargados de limitar las oscilaciones de carrocería que provocan los resortes al producirse los apoyos en curva y al abordar las ondulaciones de la carretera.

La mayor o menor firmeza de la amortiguación es responsable de que la suspensión trabaje en un menor o mayor recorrido, circunstancia que, en el caso de suspensiones con geometrías poco favorables, es determinante en la estabilidad. Independientemente de la eficacia de la geometría, la disminución de las oscilaciones siempre repercute positivamente en la estabilidad, al disminuir de manera importante los cambios de carga entre las ruedas y, consecuentemente, obtener una mayor uniformidad en la fuerza de apoyo de los cuatro neumáticos sobre el asfalto.



Fig. 4.12 Amortiguadores³⁸

La configuración de estos elementos depende de cada caso específico, y existen múltiples configuraciones y modelos, diseñadas a la medida de cada caso.

La mala amortiguación influye negativamente en la estabilidad en curva. Al producirse un apoyo provocado por la inclinación de la carrocería en un viraje, el resorte tiende a rebotar.

³⁸ www.blistein.com

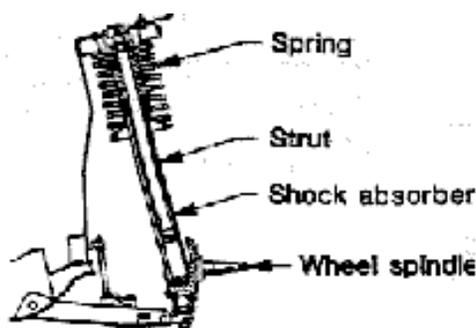
Si el amortiguador no controla las oscilaciones con eficacia éstas van aumentando y provocan unas variaciones de la presión ejercida por el neumático (llanta) con la consecuente pérdida de adherencia, lo que produce variaciones de la trayectoria derivadas de deslizamientos del tren delantero y trasero, lo cual puede resultar muy peligroso, sobre todo en piso deslizante.

El sistema de suspensión del vehículo es el encargado de controlar el comportamiento de las ruedas en contacto con el suelo. Los amortiguadores son los mecanismos que proporcionan seguridad y confort durante la conducción y que aportan estabilidad al vehículo, al controlar la vibración y rebote de las ruedas, producidas por el movimiento del auto y las condiciones del camino.

En el interior de un Amortiguador trabaja un sistema hermético compuesto de émbolos y anillos, que al ser movidos por la suspensión impulsan un fluido hidráulico a través de válvulas de doble acción. Esto absorbe las vibraciones de la suspensión, evitando que pasen al vehículo y a sus ocupantes.

El caso del modelo elegido (Nissan Sentra), se utilizan 2 configuraciones; una llamada "suspensión McPherson" en el eje delantero y una llamada "Multi Link Beam" en el eje trasero.

En el caso de la suspensión delantera, el esquema McPherson, esta formado por un amortiguador telescópico que cumple la función de elemento de dispersión de energía. Un resorte helicoidal que es el elemento elástico, este se encuentra en posición axial con respecto al eje longitudinal del amortiguador.



PARTS OF A McPHERSON STRUT
TYPE SUSPENSION

Fig. 4.13 Esquema de una suspensión tipo McPherson ²⁵

Los elementos de unión en esta configuración, son uno o mas brazos de seguimiento a el conjunto rueda; estos brazos conectan este conjunto con la estructura autoportante o chasis del vehículo.

²⁵ www.mecanicoweb.com

Este tipo de suspensión fue introducido en muchos vehículos de la década de 1980 y 1990; es un sistema de suspensión muy compacta, adecuada para automóviles pequeños y medianos, muy adaptable en sistemas de tracción delantera.

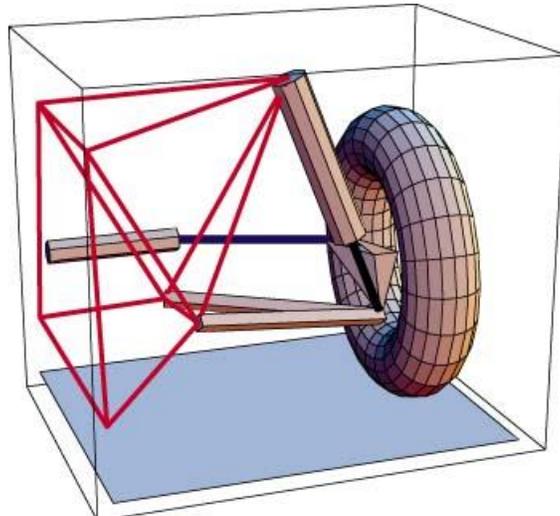


Fig 4.14 Esquema de Suspensión McPherson.²⁵

Sus componentes realizan funciones, que en otros sistemas requieren componentes separados; por ejemplo, el resorte, que proporciona soporte y un eje a la suspensión.

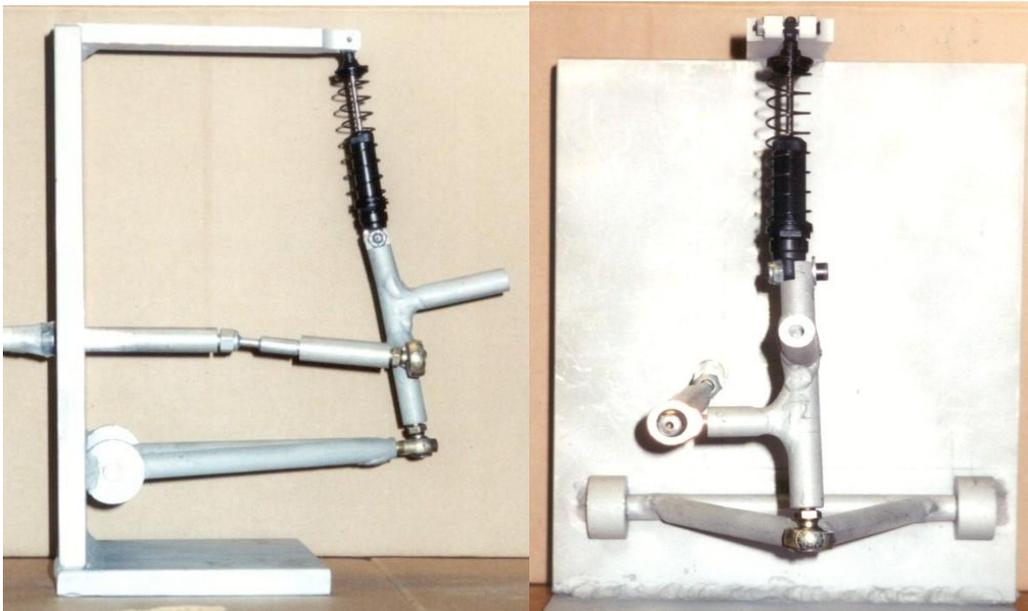


Fig 4.15 Modelo de Suspensión McPherson. Vista Trasera (izq.) y lateral (der.)²⁵

²⁵ www.mecanicoweb.com

El sistema de suspensión Multi - Link Beam; este se denomina así debido a que se tienen multiples brazos que conectan el conjunto de ruedas con el marco autoportante del automóvil.

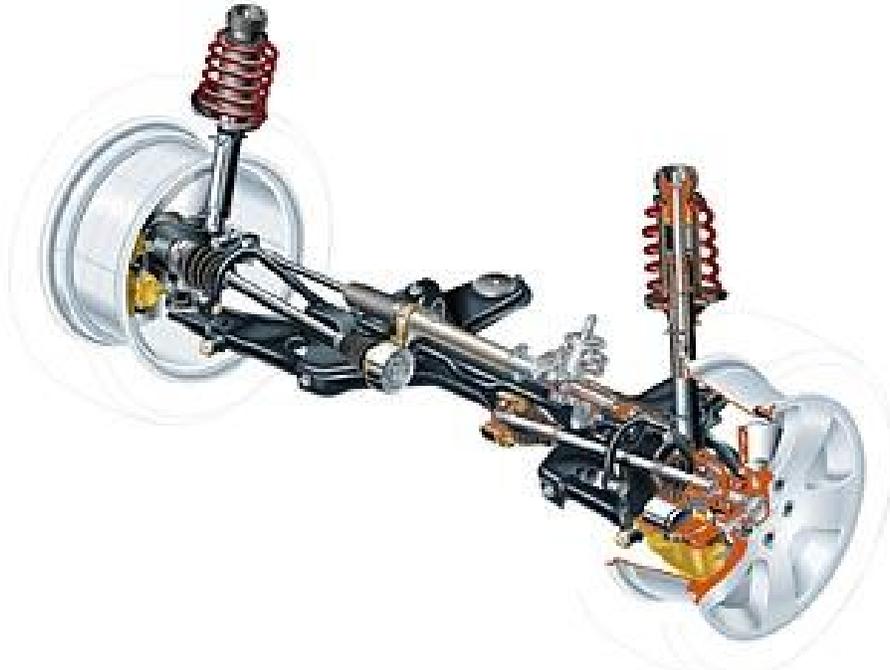


Fig 4.16 Esquema de un sistema de suspensión “Multi Link” ³⁹

Debido a los cambios necesarios en el V.E. para su impulsión, serán necesarias diversas modificaciones en el sistema de suspensión. El aumento de peso y el cambio de su distribución, afectan al sistema de suspensión y frenos.

Por tanto los cambios necesarios a la suspensión, se centran en el aumento de la capacidad de carga de ambos ejes, delantera y trasera, cambiando los elementos elásticos y disipadores de energía (resortes y amortiguadores). La adición de peso es de aproximadamente de 100 Kg sobre el P.B.V., es decir un aumento de 20 % en la capacidad de carga.

La sustitución los elementos de suspensión involucrados, se puede realizar con elementos de la misma casa armadora. La suspensión del modelo Nisan Sentra GTS presentan mayor capacidad de carga, así como una longitud mayor en los resortes.

El cambio de los amortiguadores hidráulicos, por unos de gas permitiría mejorar el control de la unidad ante el aumento de peso.

La adaptación de estos elementos al vehículo, no presenta mayor problema; la estructura autoportante, presenta los mismos puntos de anclaje, por lo que la modificación, representaría solo la sustitución de elementos.

³⁹ www.bmwusa.com

Capitulo V

Evaluación Económica

V.1 Evaluación económica

V.1.1 Introducción de Vehículos Eléctricos en el sector auto transporte en el DF

Para convencer a un inversionista de aportar capital para un proyecto de inversión es necesario demostrar las posibilidades de realización del mismo a través de bases económicas. Por ello el propósito del estudio económico que se presenta es demostrar la factibilidad para la introducción de VE en el segmento del auto transporte de pasajeros; este es un sector de gran importancia, no solo para la ciudad de México; sino también para muchas de las grandes ciudades.

Para plantear la evaluación económica y financiera se definirán parámetros del escenario de utilización (tamaño de la flotilla, gastos fijos, ingresos esperados, costos de inversión de unidades, etc) y finalmente obtener una relación costo-beneficio que nos permita conocer el tiempo de recuperación de la inversión. Para propósitos de simplicidad, el estudio presentado en este documento se limita a una previsión de los gastos esperados y las utilidades generadas en la operación de un V.E, como vehículo de alquiler, si tomar en cuenta aspectos como la inversión en infraestructura, la depreciación de la unidad, etc.

Para propósitos de comparación, se incluyen los gastos de inversión y operación de un automóvil operado a gasolina, bajo las mismas circunstancias de operación para permitir una comparación entre ambos modelos.

V.1.2. Escenario

El marco planeado para la utilización de los VE en este trabajo, es como se menciono anteriormente, el transporte de pasajeros, particularmente dentro de recorridos limitados. Está fue establecido en 60 Km, en total (30 Km de radio), se puede cubrir una buena parte del área metropolitana. En un caso mas específico, se planteo un recorrido de la zona del aeropuerto a la zona de hoteles de Av. Reforma, (un radio de 28 Km aprox.); esto es debido a que este trayecto presenta muchas condiciones favorables para la utilización de los VE (recorrido limitado, vialidades de circulación preferencial, pocas pendientes); las unidades al regresar a alguna de las 2 bases pueden recibir carga a sus baterías y mantenimiento; sin embargo tendrían la capacidad de realizar recorridos hacia cualquier otra parte de la ciudad que se encuentre dentro del rango de utilización (30 Km de radio)

Se plantea utilizar una flotilla inicial de 30 vehículos: 2 bases de operación, recarga y control, una en la zona del aeropuerto donde estarían situados 5 módulos de recarga y el área de mantenimiento menor.; en este lugar la mayoría de las unidades pernoctarían. El otro modulo estaría situado en la zona de Reforma, donde existirían 2 módulos de recarga de baterías y otra zona de pernocta, de menores dimensiones (5 vehículos); esto con la finalidad de permitir que el servicio Reforma – Aeropuerto, pudiera ser prestado en ambas direcciones en las primeras horas de la mañana.

V.2. Inversión Inicial

V.2.1 Vehículo Eléctrico

Basado en las especificaciones técnicas presentadas en el capítulo anterior el costo del VE presentado en el presente trabajo es de \$ 447,537, sin incluir gastos de mano de obra.

Tabla 5.1. Presupuesto para la conversión del VE⁹
Presupuesto para conversión del vehículo eléctrico

DESCRIPCION	PROVEEDOR		COSTO UNITARIO	COSTO UNITARIO (MEX \$)	COSTO CONJUNTO (MEX \$)
Nissan Sentra XE 2004	NISSAN MEXICO	MEX	\$135,900.00	\$135,900.00	
Controlador UMOC445TF	SOLECTRIA Corp.	CHF	\$7,875.00	\$69,063.75	
Motor Electrico AC 42	SOLECTRIA Corp.	CHF	\$2,616.00	\$22,942.32	
Conjunto de 26 baterias Ovonic 5500 (US\$ 650) C/U	TEXACO -OVONIC	US	\$16,900.00		\$192,660.00
Medidor Amperios- hora	BRUSA	CHF	\$637.00	\$5,586.49	
Bomba de vacio	PM BRAKES	US	\$389.55	\$4,285.05	
Miscelaneos (nota 2)	Diversos	US	\$1,500.00	\$17,100.00	
Total Aproximado					\$447,537.61
EQUIVALENCIAS:					
1 CHF = MEX	\$8.77	NOTA 2: Incluye cableado, estructura de banco de baterias, Adecuaciones al sistema de embrague y plato de adaptacion y soporte de motor.y otros			
1 US = MEX	\$11.40				
AL 22/DIC/03					

V.2.2. Módulos de Recarga

Se requieren 6 módulos de recarga de baterías de tracción, 4 situados en la base Aeropuerto y 2 en la base Reforma, cada modulo tiene un costo de \$ 78,140 pesos con una capacidad de 35 A; a un voltaje de 440 V se tendría una demanda de 60kWh en total, si los 4 módulos estuvieran funcionando, o 31 kWh, en el caso de 2 módulos.



Fig. 5.1 Modulo de recarga³⁰

⁹ Figura de elaboración propia.

³⁰ www.brusa.it

V.2.1.3. Subestación Eléctrica

Para proporcionar la energía necesaria a los módulos de carga es necesario contar con una subestación eléctrica; esta deberá tener una capacidad de 60 kVA, utilizando voltaje trifásico de 440V. y un costo de \$ 400,000.00

V.2.2 Vehículo Convencional

En el caso de la unidad operada a gasolina los costos de inversión se reducen:

Tabla 5.2. Costo de inversión de un vehículo convencional⁹

DESCRIPCION	PROVEEDOR		COSTO UNITARIO	COSTO UNITARIO (MEX \$)	COSTO CONJUNTO (MEX \$)
Nissan Sentra XE 2004	NISSAN MEXICO	MEX	\$135,900.00	\$135,900.00	
Pintura y logotipos	Varios		\$7,000.00	\$7,000.00	
Total				\$142,900.00	

⁹ Figura de elaboración propia.

V.3. Costos de Operación

V.3.1 Vehículo Eléctrico

Dentro del rubro de gastos de operación, se contemplan los siguientes egresos:

Tabla 5.3. Gastos de operación de VE⁹

Descripcion	Proveedor	Eventos Anuales	Costo del Evento	Costo Anual	Observaciones
Sueldo operador		296	\$200.00	\$59,200.00	
Suministro Eléctrico	CFE	296	\$41.22	\$14,893.76	
Llantas	llantera	4	\$700.00	\$2,800.00	1 Juego, 4 llantas
Alineacion y balanceo	Agencia Nissan	2	\$300.00	\$600.00	
Frenos	Agencia Nissan	2	\$300.00	\$600.00	
Embrague	Agencia Nissan	1	\$4,700.00	\$4,700.00	
Insumos Diversos	Varios	1	\$1,000.00	\$1,000.00	
Tenencia	SCHP	1	\$0.00	\$0.00	
Revista SPF	SCT	1	\$0.00	\$0.00	
Seguro	Diversos	1	\$8,000.00	\$8,000.00	
Total				\$91,793.76	

⁹ Figura de Elaboración propia.

V.3.2. Vehículo convencional

Tabla 5.4. Gastos de operación de un vehículo convencional.⁹

Descripción	Proveedor	Eventos Anuales	Costo del Evento	Costo Anual	Observaciones
Sueldo del operador		296	\$200.00	\$59,200.00	
Gasolina	PEMEX	296	\$200.00	\$59,200.00	
Afinaciones	Agencia Nissan	2	\$1,500.00	\$3,000.00	
Cambio de Aceite y filtro	Agencia Nissan	6	\$550.00	\$3,300.00	
1 juego de llantas	Llantera	4	\$700.00	\$2,800.00	1 Juego, 4 llantas
Alineación y Balanceo	Agencia Nissan	2	\$300.00	\$600.00	
Frenos	Agencia Nissan	1	\$2,800.00	\$2,800.00	Cambio y ajuste
Embrague	Agencia Nissan	1	\$4,700.00	\$4,700.00	
Insumos Diversos	Diversos	2	\$500.00	\$1,000.00	
Tenencia Federal	SHCP	1	\$4,000.00	\$4,000.00	
Verificación de emisiones	Diversos	2	\$480.00	\$960.00	
Revista SPF	SCT	1	\$2,500.00	\$2,500.00	
Seguro	Diversos	1	\$8,000.00	\$8,000.00	
Total				\$152,060.00	

Como se puede apreciar los costos de operación se reducen de manera significativa; la operación del VE es 60 % menor a su contraparte de gasolina.

⁹ Figura de elaboración propia.

V.4. Relación costo-beneficio

V.4.1 Ingresos

Los ingresos del proyecto, se basan en 2 fuentes; la tarifa cobrada por servicio, e ingresos por publicidad.

Pasajes:

Se contempla que la unidad reciba ingresos de alrededor de \$1000.0 diarios, al realizar 10 viajes de alguna de las dos terminales hacia la otra, con un promedio de \$ 100.0 por viaje durante las 12 horas del turno.

Publicidad:

La posibilidad de portar publicidad generaría un ingreso extra, esta ganancia se contempla sea de alrededor de \$ 6,000 mensuales, por unidad.

V.4.2 Relación Costo Beneficio

Reuniendo los datos se tiene:

Tabla 5.4.A. Gastos de operación de un vehículo convencional⁹

Inversion									
Inversion Inicial									
147,200									
Gastos Operativos									
Sueldo operador	Gasolina	Afinacion	Aceite	Frenos	Alineacion y balanceo	Embrague	Llantas (Juego 4)	Diversos	Total
57,600	57,600	3,000	1,500	2,800	600	5,000	2,800	1,000	131,900

Esta tabla incluye los gastos de operación generados durante el transcurso de un año; (48 semanas en operación, 6 días a la semana) tales como:

- Salario del operador \$ 200.0 diarios
- Costo por gasolina diario \$ 200.0 diarios
- 2 eventos de servicio (afinación) \$ 1,500.0 promedio por evento.
- 4 cambios de aceite \$ 350.0 promedio por evento.
- 2 eventos de servicio a frenos, \$1,400.0 por evento.
- 1 evento de cambio de embrague \$ 5,000.0 por evento.
- 1 juego de llantas \$ 700.0 por pieza
- 1 evento de alineación y balanceo \$ 600.0 por evento.
- \$ 1,000.0 en gastos diversos, (consumibles)

⁹ Tabla de Elaboración propia.

Tabla 5.4.B Ingresos ⁹

Ingresos

Pasajes	Publicidad	Total
288,000	72,000	360,000

Los ingresos también toman en cuenta 48 semanas de 6 días,

- \$ 1,000.0 diarios por concepto de pasajes
- \$ 1,500 semanales por concepto de publicidad.

Con estos datos calculamos la utilidad neta

Utilidad neta = Ingresos totales – gastos de operación.

Utilidad bruta	235,900
----------------	---------

Para establecer si el proyecto es redituable y para determinar el tiempo de retorno de la inversión, se debe calcular la relación costo - beneficio, este es el cociente de la utilidad neta dividido entre la inversión inicial. Si el resultado es mayor a 1, la inversión se recupera dentro del 1er. año de operación del proyecto. Si el cociente es menor a 1 el tiempo de recuperación de la inversión será mayor a 1 año.

Relacion costo/beneficio :	1.60258
----------------------------	---------

En el caso del vehículo con motor operado a gasolina, la relación costo-beneficio, es de 1.60, lo que indica que la inversión se recupera en menos de un año.

El caso del VE se presenta a continuación:

Tabla 5.5.A. Gastos de operación de un vehículo Eléctrico.⁹

Inversión								
Inversión Inicial								
447,537								
Gastos Operativos								
Sueldo operador	Suministro Eléctrico	Afinación	Frenos	Llantas (juego 4)	Embrague	Alineación y balanceo	Diversos	Total
57,600	11,871	3,000	2,800	2,800	5,000	600	1,000	84,671

⁹ Tabla de elaboración propia.

Los ingresos son iguales al del vehículo convencional

- \$ 1,000.0 diarios por concepto de pasajes
- \$ 1,500 semanales por concepto de publicidad.

TABLA 5.5.B INGRESOS⁹

Ingresos		
Pasajes	Publicidad	Total
288,000	72,000	360,000

Utilidad neta del vehículo eléctrico:

Utilidad bruta	275,329
----------------	---------

En la relación costo / beneficio se tiene:

Relación costo / beneficio :	0.61521
------------------------------	---------

En este caso la relación costo – beneficio, indica que el retorno de la inversión (RI) se logra en el 2do. año de operación. Esto es debido al costo de inversión inicial del vehículo convencional es menor que el VE.

Sin embargo es de notar que en el apartado del costo por suministro de energía el VE es 350 % más económico que su contraparte convencional (además de los beneficios ecológicos derivados); y de igual manera el costo de operación del VE permiten tener utilidades mayores; el VE genera \$ 39,429 más que la unidad con propulsión convencional.

Esto permite que después de la amortización en la inversión, los ingresos sean mayores que en el automóvil convencional.

⁹ Tabla de elaboración propia.

Conclusiones:

Las actuales condiciones mundiales de deterioro de el medio ambiente; en especial del aire, implican la necesidad de desarrollar e implementar, tecnologías de locomoción que permitan la reducción de los niveles de emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

De la misma manera, las reservas actuales de petróleo, tienen una duración estimada de 50 años al ritmo de consumo actual; esto hace que sea benéfica cualquier reducción en el ritmo de consumo de los recursos petroleros. Adicionalmente a esto, la dinámica del desarrollo económico y social de las sociedades, no permite restringir las actuales capacidades de los sistemas de autotransporte.

Debido a esto, la popularización de los sistemas de propulsión alternativos a la combustión de combustibles fósiles, se vera incrementada en las próximas décadas y por consiguiente el desarrollo de proyectos específicos (de conversión ó diseño de VE) también. El desarrollo de este tipo de proyectos, es un mercado virgen en nuestro país, presentando buenas perspectivas para el crecimiento de la industria automotriz nacional.

Durante el avance de este trabajo observamos diversas circunstancias que influyen en el desarrollo de este tipo de proyectos:

1. La tecnología necesaria para la implementación de sistemas de propulsión eléctricos se encuentra en una fase de desarrollo muy madura; la mayoría de los componentes tienen características similares e incluso mejores que su contraparte de gasolina. Esto es debido a que ya existe un mercado establecido de VE, carros para campos de golf, montacargas, vehículos de reparto de mercancías, etc.
2. El talón de Aquiles de los actuales V.E. son las baterías de tracción; al día de hoy los sistemas asequibles económicamente, (sistemas de plomo – ácido, o VRL) tienen el inconveniente de presentar limitaciones en cuanto a autonomía, densidad energética, etc.; los sistemas con mejores características (Ni-Cd o HiM) presentan precios mas altos y por tanto requieren inversiones mayores para su implementación. Sin embargo el desarrollo de sistemas como el de “Fuel Cell” permitirían subsanar estas deficiencias y permitir la introducción de los sistemas de propulsión eléctrica en gran escala; la tecnología de los sistemas de “Fuel Cell” es tecnológicamente viable en este momento; resta hacer que esta tecnología sea más accesible económicamente e implementar la infraestructura necesaria para su uso.
3. En términos económicos, el desarrollo de un proyecto de este tipo puede resultar oneroso para un usuario particular en las condiciones planteadas en el presente trabajo, sin embargo para el sector del transporte de pasajeros,

después del retorno de la inversión, las utilidades generadas son superiores en 19.3 por ciento con respecto a las generadas por una unidad convencional.

El planteamiento de un proyecto de conversión específico, requeriría del estudio de un caso particular, debido a las diferencias de cada automóvil.

El presente estudio pretende ser un análisis general de los elementos necesarios para iniciar el diseño de un proyecto para un automóvil específico, por lo que temas como el diseño de ciertas piezas necesarias para la conversión, no son tratados dentro de él.

Bajo estas circunstancias la hipótesis planteada al inicio del trabajo, “es viable técnica y económicamente la adaptación de una automóvil convencional a propulsión eléctrica; enfocado al sector del auto transporte de pasajeros en la Ciudad de México” resulta cierta bajo las condiciones planteadas en el mismo.

Anexo A1.1 Motor Solectria AC-42



Solectria Motors

AC42-A & B

Overview

The Solectria AC42 is a single output, 70kW 3-phase AC induction motor with a nominal speed of 4k rpm and a maximum speed of 10k rpm. It is available in two standard configurations:

AC42-A – Smooth shaft version that can be operated in single or, using the Solectria AT661 motor reduction box, dual motor systems. (See the AT661-AC42-2 data sheet for details.)

- **AC42-B** – Splined-shaft version designed for use with the Solectria AT1200 motor reduction box.

Applications and Features

The Solectria AC42 motor design is suited to large sedans, trucks, shuttle buses, industrial plant vehicles and other applications where low speed torque is important.

- High-efficiency brushless design
 - Sealed motor casing
 - Compact, lightweight construction
 - Low rotating losses
 - Low electrical resistance
 - Cost effectiveness and high reliability
- When used in conjunction with a Solectria UMOC, the motor functions as an “electronic transmission,” eliminating the need for a multi-speed gearbox. It also can directly drive a vehicle’s wheels with a fixed ratio.

Available and Custom Options

- Power and sensor lead and length options
 - Available for use as a hybrid generator (Custom)
 - Customized features such as end bells and shafts based on customer specifications.
 - AT1200 motor reduction box with a 10:1 ratio.
 - Optional cooling shroud
 - Interface package includes mating connectors (not required if purchasing a Solectria motor controller)
- An engineering fee applies to all customized orders.

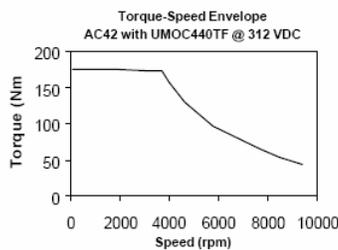
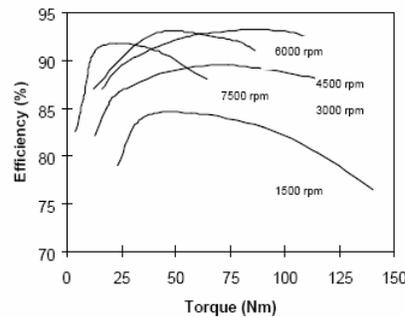


Shown with Optional Cooling Shroud

Specifications

Peak Torque	150Nm
Maximum Current	240A rms
Continuous Torque	42Nm
Continuous Power	21kW
Peak Efficiency	93%
Motor Controller	UMOC440TF
Peak Electrical Power	78kW
At Voltage of	312 VDC
Nominal Speed	4k rpm
Maximum Speed	10k rpm
Weight	60.5kg
Diameter	248mm
Length	368mm

Efficiency vs. Torque
 AC42 with UMOC440TF @ 312 VDC



Solectria Corporation, 33 Industrial Way, Wilmington, MA 01887 USA
 Tel 978-658-2231 / Fax 978-658-3224 / sales@solectria.com / www.solectria.com
 All specifications subject to change.
 Revised September 2000

Anexo A.1.2. Motor UQM 5R218N



Traction Drive System

UQM® PowerPhase™ System

Liquid cooling - Enhanced thermal management

System Specifications

SR218N Motor		
Dimensions		
Length x Diameter	8.55 in x 11.00 in	216 mm x 280 mm
Weight	105 lb	47.6 kg
Performance		
Peak power	71 hp	53 kW (75 kW optional)
Continuous power	43 hp	32 kW
Max. torque	176 lbf-ft	240 N-m
Continuous Torque	110 lbf-ft	150 N-m
Max. speed	8000 rpm	
Motor/inverter efficiency	90%	
Motor/inverter peak efficiency	94%	
Power density (based on 53 kW)	0.68 hp/lb	1110 W/kg
Max. torque duty cycle	25% (e.g. 1 min/4 min)	
Characteristic curve	Constant torque to base speed, constant power	
CD40-400L Inverter		
Operating Voltage		
Nominal battery input range	270 to 336 V _{dc}	
Full performance voltage input range	250 to 400 V _{dc} (meets rated specs)	
Minimum voltage limit	180 V (with derated power output)	
Minimum voltage limit	180 V (with derated power output)	
Input current limitation	300 A	
Inverter Type		
Control type	PWM and phase advance, 3-phase brushless dc	
Applicable max. current	475 A peak	
Power device	IGBT module half bridge x 3	
Switching frequency	20 kHz	
Standby power consumption	17 W (inverter and microprocessor)	
Cooling System		
Minimum inlet coolant flow		7.5 l/min
Max. inlet temp of controller	131 °F	55 °C
Inner diameter of hose	5/8 in	16 mm
Max. inlet pressure	10 psig	0.7 bar
Dimensions		
Length x Width x Height	14.96 in x 13.78 in x 4.64 in	380 mm x 350 mm x 118 mm
Weight	28.8 lb	13.1 kg
EV Transaxle		
Input torque	177 lbf-ft	244 N-m
Max. input speed	8000 rpm	
Fixed ratios available	4:1 to 8:1	
Lubricant	Hydraulic transmission fluid type C-3	
Mounting	± 15° from vertical	
Weight (wet)	102 lb	44.4 kg

(All data subject to change without notice)

Conversión de un automóvil con motor a gasolina a un motor eléctrico

Estudio de factibilidad técnica

Anexo A.1.3 Motor T-40 BRUSA

BRUSA
Elektronik AG

Products

Home > Products > AC-Drive Systems > Motor > Motor T40
Deutsch | English

Home
Company
Products
Development
Applications
Download
Jobs
Contact

Motor T40

air cooled, 61.5 kg, 148 Nm (AMC 325)

Nom. power (2000 rpm)	15 kW
Max. power (AMC 325, 180 V)	40 kW
Nom. torque	40 Nm
Max. torque (AMC 325)	148 Nm
Nom. speed	2000 rpm
Max. speed	9000 rpm
Connection mode	delta
Weight	61.5 kg

Efficiency (%)

speed (rpm)

3000 rpm
4500 rpm
2000 rpm
6000 rpm

AMC325@180V
AMC320@444V

Anexo B.2.1 Sistema de baterías solectria



Solectria Battery Systems

15.6kWh Lead Acid with Thermal Management

Overview

Solectria's Battery System provides energy storage of 15.6 kilowatt-hours using maintenance-free lead acid batteries and an automatic battery thermal management system. Solectria's battery thermal management system maintains the batteries at their optimal operating temperature.

Applications

The Solectria Battery System is designed for electric trucks, buses, vans or distributed power generation applications.

Features

- Maintenance-free gel-cell technology eliminates the need for any watering.
- No releasing of gasses during normal operation.
- To keep the vehicle in service throughout the day, Solectria battery packs are designed for easy "swap-out" using a standard forklift.
- Temperature sensors are built in for accurate measurement and precise charging control.
- Built in cooling fan and heating system
- Interface includes power and temperature leads.

Available and Custom Options

- Please contact Solectria to discuss your specific custom options needs.

An engineering fee applies to all customized orders.



Specifications

Nominal Voltage	312V DC nominal or 336V DC nominal
Nominal Capacity	50Ah
Capacity @ 1 hr rate	14kWh (312V DC) 15kWh (336V DC) 45Ah
Peak Current	150A
Internal Contactor	rated
Weight	1543.5lb / 700kg (312V DC) 1653.7lb / 750kg (336V DC)
Dimensions (per box)	48.25" x 22.75" x 11.75"
Thermal Management System	Cooling: 12V input, 2A input Heating: 220V AC, 3A

Solectria Corporation, 9 Forbes Road, Woburn, MA 01801 USA
 Tel 781-932-9009 / Fax 781-932-9219 / sales@solectria.com / www.solectria.com
 All specifications subject to change.
 Revised November 2001



Anexo B.1.2 Sistema de baterías SHAFT



Designed in partnership with the automotive industry, Saft's Nickel-Metal Hydride (Ni-MH) provides very attractive performance to electric vehicle battery systems. Saft NickelMetal Hydride are available in either 12V or 24V configurations and feature a liquid cooling system. With enhanced specific energy and energy density, Saft Ni-MH batteries help electric vehicles to extend their range up to 150 km.

Applications

- All electric vehicles

Main advantages

- Maintenance-free operation
- High power/energy ratio
- Excellent safety and flawless
- Resistance to abuse testing
- Easy fast charging
- Fully recyclable
- Liquid cooling
- More than 1,200 charge/discharge cycles
- Monoblock design

Technology

- Nickel foam positive electrode
- AB_x hydride on steel foil negative electrode

Electrical characteristics

Nominal voltage (V)	12	24
Rated capacity at C/3 rate (Ah)	100	100
Specific energy (Wh/kg at C/3)	69	69
Typical energy density (Wh/dm ³ at C/3)	145	147
Typical specific power (W/kg at 80% DOD, 30 sec, 2/3 U ₀)	160	160
Typical power density (W/dm ³)	332	340

Mechanical characteristics

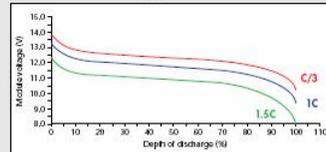
Dimensions (mm): L x W x H	390x120x195	760x120x195
Weight (kg)	19.6	37
Typical volume (dm ³)	9.9	17.3

Operating conditions

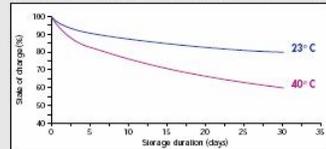
Operating temperature range (°C)	as given by the thermal management system	
Transport or storage temperature range (°C)	-10/+45 in charge	-10/+60 in discharge
	-40/+65	



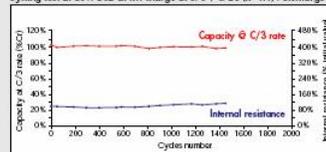
100 Ah Ni-MH Module - Discharge at various rates at +23°C



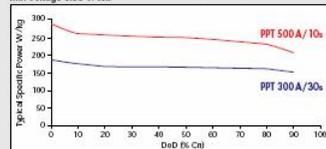
100 Ah Ni-MH Module - Charge retention at temperatures from 0°C to 60°C



100 Ah Ni-MH Module electrochemistry - Capacity at C/3 cycling test at 80% DoD at RT; charge at C/3 + C/20 (k=1.1) / discharge at 1C



100 Ah Ni-MH Module - Specific Power during PPT at +23°C Min Voltage 0.85 V/cell



12, rue Sadi Carnot
93170 Bagneux (France)
Tel. +33 (0)1 49 93 17 69
Fax +33 (0)1 49 93 19 55
http://www.saftbatteries.com
DOC.NPHH12.3 - 0206

Data in this document is subject to change without notice and become contractual only after written confirmation by Saft.

Anexo B.1.3. Sistema de baterías TROJAN

THE LEU STORY:
 BATTERY SELECTION, MADE EASY

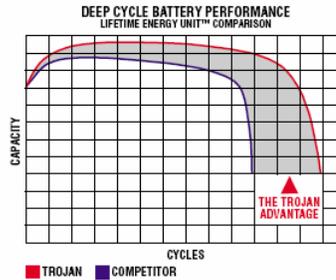


Choosing a deep cycle battery should not be a complicated process. To make things simple, Trojan Battery Company pioneered a new tool called Lifetime Energy Units™ - LEUs for short. Here is how this new concept works for you...

Engineers know the value of a battery is based on the total energy it contains. They measure this in kilowatt-hours. Now, Trojan has replaced these calculations and graphs with a single number. Lifetime Energy Units are an accurate, convenient way to compare the relative value of one deep cycle battery to another. Simply stated, Lifetime Energy Units signify the number of kilowatt-hours of energy a battery delivers over its useful life. The bigger the number, the more work the battery can perform.

The Trojan Advantage

Ordinary deep cycle batteries rapidly degrade. Over the long haul, Trojan deep cycle batteries deliver more performance and value. We call that difference the Trojan Advantage.



PRODUCT SPECIFICATIONS

Type	LEUs ¹	Reserve Capacity			20 Hour Rate AH	5 Hour Rate ² AH	Overall Dimensions inches (mm)			Approx. Weight lbs. (kg.)	Color Cover/Case
		Minutes @ 25 Amps	Minutes @ 56 Amps	Minutes @ 75 Amps			Length	Width	Height		
DEEP CYCLE 6 VOLT BATTERIES											
T-605	383	383	-	105	190	155	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	11 3/16 (284)	58 (26)	MAR/MAR
T-105	438	447	-	115	225	171	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	11 3/16 (284)	62 (28)	MAR/MAR
T-125	492	488	-	132	235	192	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	11 3/16 (284)	66 (30)	MAR/MAR
T-145	673	530	-	145	244	209	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	11 1/2 (292)	72 (33)	MAR/MAR
DEEP CYCLE 8 VOLT BATTERIES											
T-875	438	295	117	75	150	143	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	11 3/16 (284)	63 (29)	MAR/MAR
T-890	511	340	132	90	165	146	10 3/8 (264)	7 1/8 (181)	11 3/16 (284)	69 (31)	MAR/MAR

¹Lifetime Energy Units.
²Based on IEC (International Electrotechnical Commission) temperature standard of 30°C (86°F).



12380 Clark Street, Santa Fe Springs, CA 90670. Phone: 562-946-8381, 800-423-6569, Fax: 562-906-4033.
 In Georgia: 770-981-8674, 800-246-2550, Fax: 770-981-7717. www.trojanbattery.com
 Trojan manufactures specialty deep cycle batteries for a variety of applications, including golf, floor machine, marine, RV, EV, aerial work platform, medical/mobility and renewable energy. Trojan-Your Lifetime Energy Source™

AB-5/01

Anexo B.1.3. Sistema de baterías Ovonic - Texaco

Texaco Ovonic Battery Systems LLC Nickel Metal Hydride Batteries

Specification Sheet



13-EV-85



12-EV-110



12-HEV-50



12-HEV-12



48-HEV-10 + 12-HEV-10*

<u>Characteristics:</u>	<u>13EV85</u>		<u>12EV110</u>		<u>12HEV50</u>		<u>12HEV12</u>		<u>12HEV10</u>	
Application	EV		EV		HEV		HEV		HEV	
Nominal Voltage (V)	13.2		12		12		12		12	
Capacity (C/3, Ah)	85		110		50		12		10	
Nominal Energy (C/3, Wh)	1,200		1,360		600		155		125	
Dimensions (mm/in)										
Length	409	16.1	390	15.4	375	14.8	167	16.6	323	12.7
Width	102	4.0	120	4.7	102	4.0	103	4.1	45	1.8
Height	176	6.9	195	7.7	120	4.7	125	4.9	86	3.4
Weight (kg/lbs)	17.6	37.7	21.5	47.4	12.2	26.9	3.5	7.7	2.7	6.0
Volume (IL)	7.3		9.1		5.0		2.2		1.25	
Specific Energy (Wh/kg)	68		65		50		45		45	
Energy Density (Wh/L)	165		150		125		70		100	
Specific Power										
50% DOD (W/kg)	200		240		750		1,000		1,000	
80% DOD (W/kg)	150		210		650					
Power Density										
50% DOD (W/L)	480		580		>1,600		1,590		2,240	
80% DOD (W/L)	430		510							
Thermal Management	Air		Liquid		Air		Liquid		Liquid	

* 12HEV10 batteries come in flexible modular sub-packs consisting of 12 Volt multiples, ie 10 Ah @ 48 Volts.

TXOB-02/15



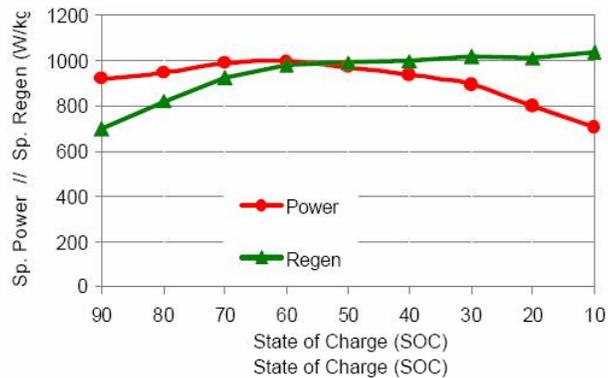
High Power & High Energy!

Hybrid Electric Vehicle Battery

Key Features:

- High power (up to 1,000+ W/kg)
- Long life (>100,000 miles)
- Efficient packaging
- Air and liquid cooled designs
- Maintenance free
- Recyclable
- Suitable for a variety of HEVs
 - Series
 - Parallel
 - Charge sustaining
 - Charge depleting

System Power and Regen Versus State of Charge
 Typical Ovonic NiMH HEV Battery @ 35°C (95°F)

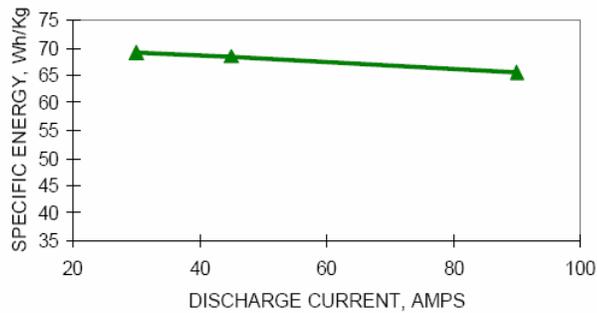


Electric Vehicle Battery

Key Features:

- High energy density (up to 70 Wh/kg)
- Fast recharge (>80% in 15 min)
- Long life (1,000+ cycles)
- Rugged
- Maintenance free
- Recyclable
- Liquid & air cooled designs

Specific Energy vs Constant Current Discharge
 Typical Ovonic NiMH EV Battery @ 21.1°C (70°F)



Texaco Ovonic Battery Systems LLC
 1334 Maplelawn Dr.
 Troy, MI 48084 USA

Phone: (248) 637-7400
 Fax: (248) 637-7474
 Email: NIMH@TXOBattery.com
 Web: www.ovonic.com

TXOB-02/15

Bibliografía

- 1 Manual de capacitación de verificadores
SMA Gobierno del DF 1998
- 2 Ley de equilibrio Ecológico edición 2002
- 3 Censo de población y vivienda 1998
INEGI
- 4 Larrondé Emilio
Autos Eléctricos
Universidad de Zaragoza
- 5 Encuesta de elaboración propia
- 6 Fernandez Casado Carlos
Puentes y pasos a desnivel.
- 7 Reglamento de construcción
1998 Secretaria de obras, GDF
- 8 Wayne H. Kitrly
Manual de motores eléctricos
Limusa 1999
- 9 Figura de elaboración propia
- 10 Tech brochure
ZOXY Ag.
- 11 Renault 18
Centro de Formación Postventa.
- 12 Tabla de Elaboración propia
- 13 Renault Sentra.
Manual de Servicio Post-venta
Nissan Motors S.A.
- 14 Cuadri de la Torre Gabriel
La Cd. De México y la contaminación atmosférica
Limusa 1992
- 15 Gutierrez Gonzalez Ernesto
Sistema de Inyección no cartografico...
Laboratorio de Motores Termicos ESTEI Barcelona
- 16 Estudio Integral del Transporte y Calidad del aire
SMA GDF 1998
- 17 Enciclopedia Alfa Nauta
Tomo Geografía.
18. www.didik.com Asociación de constructores de Vehículos Eléctricos
19. www.eva.com Electric Vehicle Association (Sociedad de Vehículos Eléctricos)
20. www.epa.doe.gov Agencia de protección ambiental EUA
21. www.vtech.edu Tecnológico de Virginia EUA
22. www.trojanbatteries.com (fabricante de baterías para VE)
23. www.aisin.com.tw (fabricante de motores eléctricos para propulsión)
24. www.howstuffworks.com (Información técnica)
25. www.mecanicoweb.com (información técnica)
26. www.fuellcells.com (información técnica de celdas de combustible)

27. Mott Robert
Mecánica de Fluidos
Ed. CECSA
28. Lechmar G.
Automotive Transmission
29. Breycha M.
Automatic Transaxels.
30. www.brusa.it (Fabricante de motores, controladores y tecnología para VE)
31. www.metricmind.com (Suministros para VE.)
32. www.solectria.com (Fabricante de motores, controladores y tecnología para VE)
33. www.uqm.com (Fabricante de motores, controladores y tecnología para VE)
34. www.dieselnet.net (Información técnica)
35. Mosqueira Salvador
Física preuniversitaria
Ed. CECSA
36. www.brembo.it (fabricante de frenos)
37. www.pnbrakes.com (fabricante de frenos)
38. www.blistein.com (fabricante de sistemas de suspensión)
39. www.bmwusa.com (fabricante de automóviles)