

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL PARA LA
PROPULSIÓN ELÉCTRICA DE AUTOS PARTICULARES EN LA
CIUDAD DE QUITO**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MASTER EN SISTEMAS
AUTOMOTRICES**

IVÁN ERNESTO YÁNEZ ZURITA, Ing.

ieyz2mil@hotmail.com

DIRECTOR: ALVARO AGUINAGA, PhD

alvaro.aguinaga@epn.edu.ec

Quito, Noviembre 2010

DECLARACION

Yo Iván Ernesto Yáñez Zurita, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Iván Ernesto Yáñez Zurita

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Iván Ernesto Yáñez Zurita bajo mi supervisión.

Dr. Álvaro Aguinaga, PhD
DIRECTOR DE PROYECTO

CONTENIDO

	Página
Resumen.....	6
 Capítulo I: Caracterización del parque automotor	
1.1. Introducción.....	7
1.1.1. Objetivos.....	8
1.1.2. Alcance.....	8
1.1.3. Justificación.....	9
1.2. Modelo de encuesta.....	10
1.3. Tamaño de la Muestra.....	14
1.4. Resultados de las encuestas.....	15
1.5. Caracterización técnica de los autos	28
 Capítulo II: Fuentes limpias de energía para un parque automotor con propulsión eléctrica	
2.1. Qué es la matriz energética?.....	32
2.1.1. Matriz Energética del Ecuador.....	34
2.2. Fuentes Primarias de Energía.....	35
2.3. Energía Hidráulica.....	37
2.4. Energía Solar.....	38
2.5. Energía Eólica.....	39
2.6. Energía Geotérmica.....	40
2.7. Subsidio de la Electricidad.....	40
 Capítulo III: Cuantificación de la demanda de Energía eléctrica para cubrir el requerimiento de un parque automotor con propulsión eléctrica en la ciudad de Quito.	
3.1. Distribución de Carga Eléctrica diaria en la ciudad de Quito.....	42
3.2. Consumo de Energía Eléctrica.....	44
3.3. Demanda de Energía Eléctrica del parque automotor eléctrico.....	46
 Capítulo IV: Medios de almacenamiento y distribución de Energía Eléctrica para el parque automotor eléctrico en la Ciudad	
4.1. Introducción a las Baterías.....	48
4.2. Análisis Físico-Químico del almacenamiento de la electricidad en Baterías.....	49
4.2.1. Análisis Físico.....	49
4.2.1.1 Configuraciones básicas de baterías.....	50
4.2.2. Análisis Químico.....	52

4.3.	Pilas primarias.....	52
4.4.	Pilas secundarias.....	53
4.4.1.	Acumulador de Plomo Acido.....	53
4.4.2.	Pila Alcalina.....	55
4.4.3.	Baterías de Ion Litio.....	56
4.4.4.	Baterías de Hidruro Metálico.....	59
4.4.5.	Pilas de Combustible.....	60
4.4.6.	Baterías de NiCd.....	62
4.4.7.	Red doméstica de energía eléctrica.....	63
4.5.	Síntesis de baterías eléctricas.....	63
4.6.	Impacto ambiental de las baterías.....	65

Capítulo V: Análisis de factibilidad técnica para la propulsión eléctrica de autos

5.1.	Vehículo Eléctrico (VE).....	66
5.2.	Motores Eléctricos para los VE.....	66
5.2.1.	Motor DC.....	68
5.2.2.	Motor AC.....	69
5.2.3.	Torque y Potencia de un ME.....	70
5.2.4.	Costo de motores eléctricos para VE.....	70
5.3.	Estado actual de la tecnología.....	71
5.3.1.	Oferta mundial de Vehículos Eléctricos.....	74
5.4.	Análisis de factibilidad.....	86
5.4.1.	Modelo teórico para el cálculo de la potencia de un VE para Quito.....	86
5.4.2.	Aplicación del modelo para VE con baterías de Ion – Li.....	88
5.4.3.	Aplicación del modelo para VE con baterías de Pb-secas.....	92
5.4.4.	Cálculo de la potencia con regeneración para VE con baterías de Pb-seca.....	94
5.5.	Costo de un auto eléctrico para uso en la ciudad de Quito.....	96

Capítulo VI: Impacto Ambiental del cambio de un parque automotor con motores de combustión interna con combustible fósil a un parque automotor eléctrico en la ciudad de Quito

6.1.	Cuanto de CO2 en Kg emiten los autos en la ciudad de Quito.....	98
6.2.	Insumos y costos existentes en un auto tradicional.....	100
6.3.	Insumos y costos existentes en un VE.....	101
6.4.	Factibilidad Ambiental.....	102

Conclusiones.....	103
-------------------	-----

Recomendaciones.....	106
----------------------	-----

Bibliografía.....	107
-------------------	-----

Referencias.....	108
------------------	-----

Anexos.....	110
Índice de figuras.....	116
Índice de Cuadros.....	119
Índice de Fórmulas.....	120

RESUMEN

Se caracterizó el parque automotor de la ciudad de Quito, únicamente en referencia a autos particulares. Para esto se diseñó una encuesta que fue utilizada para la medición en los centros de revisión vehicular. Luego de obtener los resultados de las encuestas se comparó con el diagnóstico técnico realizado por la Corpaire para los autos de los mismos usuarios encuestados. Se identificó las fuentes de energía eléctrica necesarias para cubrir la demanda del parque automotor eléctrico, se cuantificó la demanda. Se investigó los distintos medios de almacenamiento de energía eléctrica. En el capítulo 5 se investiga con gran amplitud la oferta nacional y mundial de autos eléctricos. Finalmente se realiza y analiza la factibilidad técnica y ambiental para cambiar el parque actual de autos con motor Otto a un parque automotor con motores eléctricos.

ABSTRACT

We characterized the fleet of the city of Quito, referring only to private cars. For this we designed a survey that was used for measurement in vehicle screening centers. After obtaining the results of the surveys were compared with the technical assessment made by the Corpaire for cars of the same users surveyed. It identified the sources of power necessary to meet the demand of the electric vehicle fleet, the demand was quantified. We investigated the various modes of electrical energy storage. In Chapter 5 we study a very broad national and global supply of electric cars. We carried out and analyzed the technical feasibility and environmental change the existing fleet of cars with a gasoline engine with an electric-powered vehicle fleet.

Capítulo I: Caracterización del parque automotor

1.1. Introducción

El objetivo general de este trabajo de Investigación es determinar la factibilidad técnica y ambiental de cambiar los autos con motores de combustión interna a autos con motores eléctricos en la ciudad de Quito. El estudio se ha realizado en una muestra de autos particulares, los usuarios de los autos se entrevistaron al azar en la cola de espera para la revisión automotriz en los centros de revisión.

El comportamiento y las preferencias de los usuarios de los vehículos es el principal factor que determinará las características y requerimientos de los autos eléctricos, la cantidad de personas que viajan diariamente, el consumo de combustible, la velocidad promedio con la que se desplazan los autos en la ciudad, el tipo de auto que la gente prefiere, etc.

En este trabajo de investigación se define como vehículo eléctrico (VE) a aquel móvil que es impulsado solo motores eléctricos (ME), ver capítulo 5.

Existe una fantasía con oscuros intereses respecto a la tecnología de VE, porque se piensa que es extremadamente costosa, sin embargo en el capítulo 5 se demuestra que esto no es tan cierto, el costo de producción de un VE ecuatoriano para satisfacer las necesidades de los usuarios de Quito como se demuestra en el capítulo 5 no es tan alto, comparado con el precio de los VE extranjeros. Esta afirmación se ajusta totalmente a los resultados del análisis técnico del presente trabajo de investigación, en donde se concluye que es totalmente factible construir un VE localmente con un precio accesible.

El reemplazo de los autos con motor Otto es una necesidad urgente, si se considera el alto impacto que para el medio ambiente significa la emisión de gases de efecto invernadero por un parque automotor totalmente ineficiente, no solamente en Quito sino en todo el mundo. El recuperar la estabilidad del medio ambiente es algo que tardará siglos, el efecto de la contaminación ya se lo puede constatar en la actualidad y solo falta algo de tiempo para que se presenten

eventos catastróficos sobre todo en las grandes ciudades que se encuentran en las costas.

1.1.1 Objetivos

Los objetivos específicos que se quieren alcanzar con este trabajo de Investigación son los siguientes:

1. Desarrollar una línea base del parque automotor particular que utiliza combustible fósiles.
2. Identificar la demanda, características y condiciones de la energía eléctrica para el uso en los vehículos eléctricos (VE).
3. Analizar y evaluar técnicamente la posibilidad de tener un parque automotor con propulsión eléctrica.
4. Evaluar la factibilidad ambiental de la propulsión eléctrica en el parque de autos particulares de la ciudad.

1.1.2. Alcance

7. Se caracterizará el parque automotor de acuerdo al tipo de autos, número de ocupantes, el cilindraje, distancias recorridas, etc. Según las preferencias indicadas por la muestra estudiada.
8. Se identificará las fuentes de energías limpias y renovables que pueden ser usadas en Quito para satisfacer la demanda del parque automotor eléctrico.
9. Se evaluará cuantitativamente la demanda de energía eléctrica para un parque automotor de vehículos particulares en Quito.
10. Se identificará los medios de almacenamiento (baterías, pilas de combustible, etc.) y oferta de Energía Eléctrica para el parque automotor eléctrico de la Ciudad.
11. Se realizará un análisis técnico y económico de la oferta de autos eléctricos en el mercado mundial.
12. Se determinará el impacto Ambiental de cambiar el parque automotor particular de combustible fósil a un parque automotor eléctrico.

1.1.3. Justificación

Desde 1769 fecha¹ en la que se inventó el automóvil muchas cosas están cambiando, sobre todo en los materiales que forman parte de los automotores, aunque en lo que se refiere a los procesos de propulsión, prácticamente no han existido cambios significativos en más de un siglo, sin duda esa resistencia al cambio se debió principalmente a motivos políticos y económicos.

Un claro ejemplo es la tecnología de los autos que se movían por aire comprimido, o eléctricos, principios totalmente desarrollados en los albores del siglo anterior, sin embargo estos sistemas de propulsión avanzados para su época y sobre todo amigables al ambiente fueron desechados, y se difundió otros sistemas menos amigables al ambiente, como son los propulsores de combustión interna. En la actualidad es crucial por tanto realizar proyectos relacionados con el uso en automotores de combustibles alternativos no fósiles.

Para todos es conocido que la contaminación del ambiente es un problema real y afecta principalmente al aire, el suelo y el agua. En lo que se refiere al aire, en la ciudad de Quito el principal agente de contaminación es el enorme parque automotor que tiene, con casi 400000 vehículos². Contaminación que se ve incrementada por la irregular topografía de la ciudad, en donde para circular por algunos sectores se necesita mucha potencia vehicular. Las ordenanzas municipales casi nada han logrado para controlar la polución, apenas son paliativos, no se ha emprendido en un cambio estructural de fondo; se requieren, más bien políticas ambientales claras y efectivas que permitan asegurar el buen vivir de todos los habitantes de la ciudad de Quito.

La urgencia de estas políticas se hace inminente debido a que desde el punto de vista científico técnico las emisiones vehiculares son extremadamente nocivas para la salud humana, se sabe que en las emisiones automotrices existen 180 componentes tóxicos, el 60 % de ellos son cancerígenos, y sorpréndase, las emisiones nocivas no son las humaredas negras que se ve ha simple vista, lo

¹ Fue el inventor francés, Nicholas Joseph Cugnot. Nace en Francia, el 25 de septiembre de 1725

² Plan de movilidad para Quito, 11/01/2010, Secretaría de Movilidad DMQ, pg. # 06, ref. [37]

mas nocivo son los contaminantes micro y nano_particulados existentes en las emisiones, nano_partículas en su mayoría monómeros y radicales libres de menos de 500 nanómetros, que no tienen problema de ingresar por la piel, los ojos y mucosas a los núcleos de las células. A la larga se tendrá muchos casos de mutación genética, o cáncer en sus distintas versiones. Estas nano_partículas provienen en mayor proporción según los estudios realizados de combustibles que hace poco se creía limpios, esto en referencia al etanol, los biocombustibles, o las gasolinas de alto octanaje. Recuerde y tenga pendiente siempre que, en el interior de la cámara de Combustión de un auto hay grandes presiones y temperaturas, es una verdadera refinería desordenada, que produce muchos compuestos, la mayoría de ellos invisibles a nuestra vista y que generalmente son los más peligrosos. La solución es optar por energías limpias como es la electricidad, el Hidrógeno, la energía solar, o el aire comprimido. ¿Cuanto más es de esperar? el peligro está presente, los grupos de mayor riesgo son: niños, mujeres embarazadas y ancianos.

El presente proyecto de investigación, trata por tanto de analizar la factibilidad técnica y ambiental de cambiar el parque automotor de la ciudad de Quito, hoy basado en combustibles fósiles, a autos con motores eléctricos que no emiten contaminantes de efecto invernadero a la atmósfera

1.2 Modelo de encuesta

La encuesta propuesta está orientada para satisfacer los requerimientos de los objetivos del presente proyecto de tesis, la idea es caracterizar el parque automotor en la ciudad de Quito de acuerdo al comportamiento de los propietarios de los autos particulares de la ciudad. El modelo de la encuesta se presenta en el anexo # 01 y se ha elaborado tomando en cuenta los siguientes requerimientos de información:

- Cual es su velocidad preferida al manejar en la ciudad?

Se percibe que la gente de la ciudad de Quito no maneja rápido, a pesar de que cuenta con vehículos cuya potencia le permite desarrollar fácilmente velocidades superiores a los 100 Km/h, es cierto que la topología de la ciudad, las calles y el tráfico impiden el incremento de la movilidad, sin embargo los

resultados que se obtendrán de esta pregunta confirmarán la hipótesis planteada, es decir que los usuarios de vehículos en Quito no manejan eficientemente, lo que implica un desperdicio de energía.

- Que distancia aproximadamente viaja en su auto cada día?

La topología de la ciudad de Quito es algo singular, tiene una longitud de 50Km y no más de 8Km de ancho. La hipótesis que se maneja es que la distancia que recorren los vehículos diariamente en la ciudad de Quito no parece ser de consideración debido a que sus propietarios usan los autos para dirigirse a su lugar de trabajo. Se espera confirmar con esta pregunta la presunción anterior, y confirmar por tanto que los autos durante el día pasan detenidos mucho tiempo.

- Cuanto gasta a la semana en gasolina?

La pregunta trata de averiguar cuanto se gasta en combustible, factor importante en el momento de analizar la factibilidad de cambiar la propulsión de los autos por electricidad, así se sabrá cuanta energía se necesita para mover el parque automotor de la ciudad, y con ello la potencial demanda de energía de los autos particulares.

- Cuantas personas viajan en el vehículo diariamente?

El número de personas que hacen uso del vehículo durante el día determinará el tamaño del mismo, si en el día solo se necesita a lo mucho un vehículo de dos plazas, es ineficiente tener vehículos grandes de cinco plazas.

- Cuando conduce, le gusta ganarles a los otros autos?

Si a los usuarios de vehículos les gusta superar a los colegas conductores habrá que incrementar la potencia de los vehículos, si la mayoría maneja pasivamente, los VE de poca potencia serán suficientes para cubrir la demanda.

- Usted cree que conduce rápido o despacio?

Esta es la percepción del conductor respecto a su forma de manejo, si a alguien no le gusta rebasar a otros vehículos y si percibe que maneja lento, entonces se confirma que al conductor no le gusta manejar rápido. La idea sería estar el menor tiempo posible en la carretera, esto permite ahorrar energía.

- Conoce sobre Vehículos Eléctricos?

Es importante saber si la población de Quito conoce sobre las nuevas tecnologías automotrices, la promoción de vehículos híbridos que se ha difundido últimamente ha permitido que la población tenga una idea general de lo que es un vehículo eléctrico.

- Estaría usted dispuesto a cambiar su vehículo a gasolina por uno que no contamine el ambiente, por ejemplo un eléctrico?

Si la mayoría de los usuarios de vehículos está dispuesta a cambiar su vehículo por un VE, entonces no habrá dificultad en la comercialización de los nuevos VE.

- Usted cree que su auto contamina el medio ambiente?

Si existe conciencia de que un auto con motor de combustión interna contamina el medio ambiente, entonces será muy fácil en el momento adecuado cambiar los vehículos actuales por VE.

- Que auto le gustaría comprar?

Esta pregunta está influenciada por el marketing existente, debido a que poco o nada se ha hecho para promocionar el VE, seguramente los usuarios de vehículos, se decidirán por autos de tecnologías conocidas, es decir vehículos híbridos o de combustión.

- En su casa cuantos autos existen?

Un auto para la ciudad, otro para el fin de semana. Este es el dilema que manejan las empresas comercializadoras de vehículos, porque la gente quiere

un auto que le sirva toda la semana, en la ciudad y en el campo, entonces la pregunta es pertinente, y el resultado es o debe ser complementario con los gustos por los distintos vehículos.

- Con cuantas personas comparte su vehículo?

Pregunta relacionada con el número de ocupantes del vehículo, permitirá pensar en el futuro en otras alternativas por ejemplo alquilar un VE. El tamaño del vehículo, la autonomía, la potencia y las prestaciones, si toda la semana solo usan el vehículo a lo mucho dos personas, no es nada eficiente que el auto tenga 5 plazas y sea todo terreno, de todas maneras el mercado se orienta a satisfacer las necesidades del cliente que no siempre son las más eficientes.

- Que tipo de autos le gusta?

El gusto del cliente es determinante en la comercialización de los productos, como el cliente que es el que paga, su satisfacción debe ser regulada de manera sostenible con el medio ambiente, el uso de autos grandes en la ciudad es algo que se debe regular, aún cuando las preferencias de la gente sea un derecho que se debe respetar.

- Que tipo de auto tiene?

Saber si el auto que prefiere es automóvil, camioneta, utilitario, o todo terreno, permite saber las preferencias de la gente sobre el tipo de auto, si la mayoría de la gente tuviera vehículos 4x4, entonces las nuevas tecnologías de VE deben incorporar estas preferencias.

- Le gustaría conducir un auto Eléctrico?

Si al cliente no le gusta el VE, no habrá poder en el mundo que haga que el usuario cambie de opinión. Si la mayoría afirma que quiere conducir un VE, esto será determinante a la hora de introducir la nueva tecnología de VE.

1.3 Tamaño de la Muestra

El estudio abarca autos de la ciudad de Quito, con placas no necesariamente de Pichincha pero con residencia en Quito, y que en la Base de Datos de la Corpaire mantenga información histórica de hace 3 años, esto para el cruce de información entre los resultados de las encuestas y la información online de la página web de la Corpaire.

El tamaño adecuado de la muestra para la Investigación está determinado por tres factores: i) frecuencia de uso del auto; ii) distancia media recorrida diariamente; y iii) margen de error aceptable.

El tamaño de la muestra [1] para un diseño de encuesta basado en una muestra aleatoria simple, puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \times p \times q}{(N - 1)(E / K)^2 + p \times q} \quad \text{F1}$$

Donde:

N= Tamaño de la población, N= 300000 vehículos particulares en Quito.

p= 0.5 probabilidad de éxito

q= 0.5 probabilidad de fracaso

E= 0.1 margen de error

K= 2 (coeficiente de corrección)

$$N \times p \times q = 300000 \times 0,5 \times 0,5 = 75000$$

$$(N - 1)(E / K)^2 = (299999)(0.05)(0.05) = 749, 9975$$

$$(N - 1)(E / K)^2 + p \times q = 750,2475$$

Entonces $n = 75000/750,25 = 100$ autos.

Es necesario hacer un ajuste en el tamaño de la muestra debido a errores que se introducen en las encuestas por información errada que el entrevistado emite, se tendrá un tamaño de muestra aconsejable de 200 autos. Esto generalmente sucede, porque algunos entrevistados no responden con veracidad a las preguntas que se les formula, ya sea por desconfianza o simplemente por no

comprometerse. Así duplicando el tamaño de la muestra habrá un 100% de confiabilidad en el trabajo de investigación.

1.4 Resultados de las encuestas

Las encuestas se efectuaron en los centros de revisión de la Corpaire en Quito, aprovechando las colas de usuarios que se producen mientras esperan la atención en el centro de revisión. El tiempo que se utilizó para cada encuesta fue aproximadamente de 6 minutos. Hubo alguna resistencia en algunas personas para proporcionar los datos de respaldo de la encuesta, sobre todo en lo que se refiere a los nombres, teléfonos y direcciones. Pero en general se puede decir que la gente colaboró con la toma de datos. Sin duda este trabajo habría sido imposible de realizar en otro lugar, debido a las ocupaciones que cada persona tiene, el estar esperando en la cola de la corpaire por mas de 30 minutos es un tiempo que pudo ser aprovechado para esta investigación.

Para obtener conclusiones y resultados inmediatos de la investigación realizada se usó una herramienta muy conocida, denominada ley de Pareto³ o 80/20, regla que permite diferenciar lo importante de lo trivial, conjuntamente con el histograma es muy usada en este trabajo.

³ Wilfredo Federico Damaso Pareto (París, 15 de julio de 1848 - Ginebra, 19 de agosto de 1923) fue un sociólogo, economista y filósofo italiano

1) Resultado de la primera pregunta:
 ¿Cual es su velocidad preferida al manejar en la ciudad?

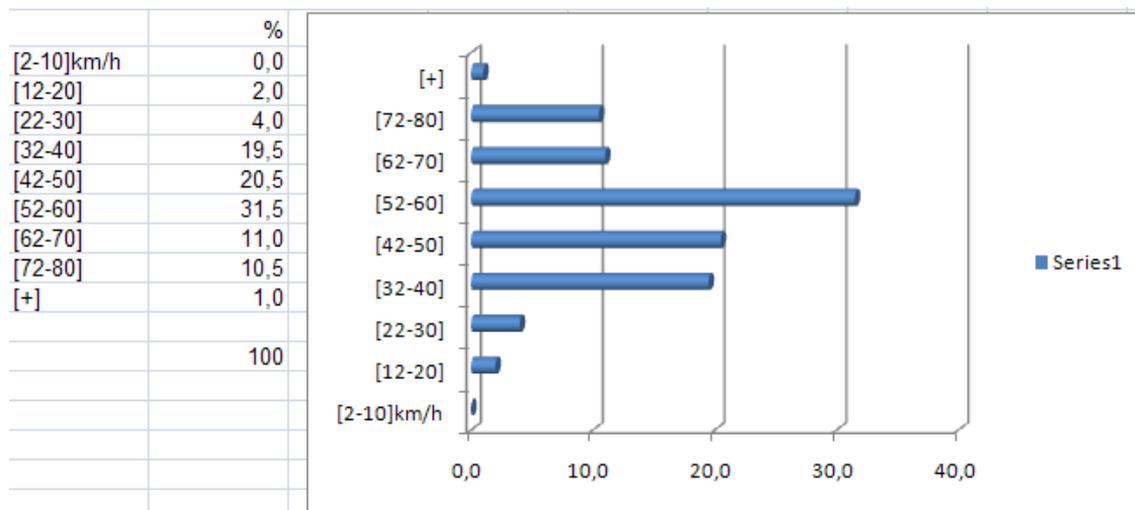


Fig. # 01, Velocidad preferida al manejar

El 32 % de la gente que maneja vehículo en la ciudad de Quito, que representa el mayor porcentaje de la muestra estudiada, prefiere conducir a un rango de velocidad de 50 a 60 Km/h. Aplicando la regla de Pareto, ver referencia [2], el 80% aproximadamente de la gente encuestada maneja en un rango de velocidad que va de 30 a 60 Km/h.

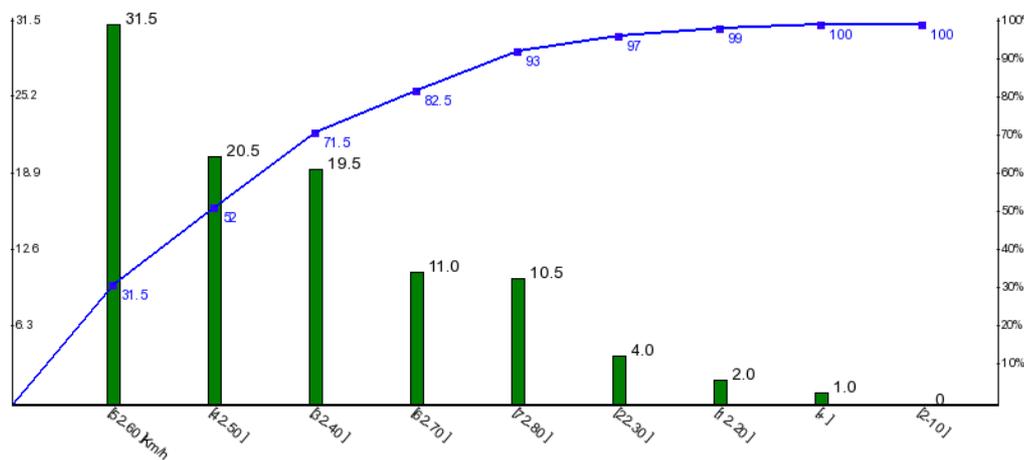


Fig. # 02, Histograma y Pareto de velocidad

Esto confirma la hipótesis que se asumió en la pregunta, la gente en la ciudad no maneja eficientemente. Realmente lo hace dentro de los límites permitidos por las leyes de tránsito. Esto es preocupante, porque en pleno siglo XXI una ciudad no puede tener un parque automotor con un movimiento de tortuga, es un

desperdicio del tiempo y recursos, también esto es coherente con el modo de vida de los habitantes de Quito, que en la última década después de la dolarización ha migrado de una economía productiva a una economía orientada al comercio y la burocracia, la gente compra y vende y no produce, es necesario recordar que en la productividad está inmerso el factor tiempo, si las cosas se hacen en menos tiempo y de mejor calidad es entonces una economía eficiente. En la economía comercial un producto puede estar almacenado meses y solo varía su precio.

2) Resultado de la segunda pregunta:

¿Que distancia aproximadamente viaja en su auto cada día?

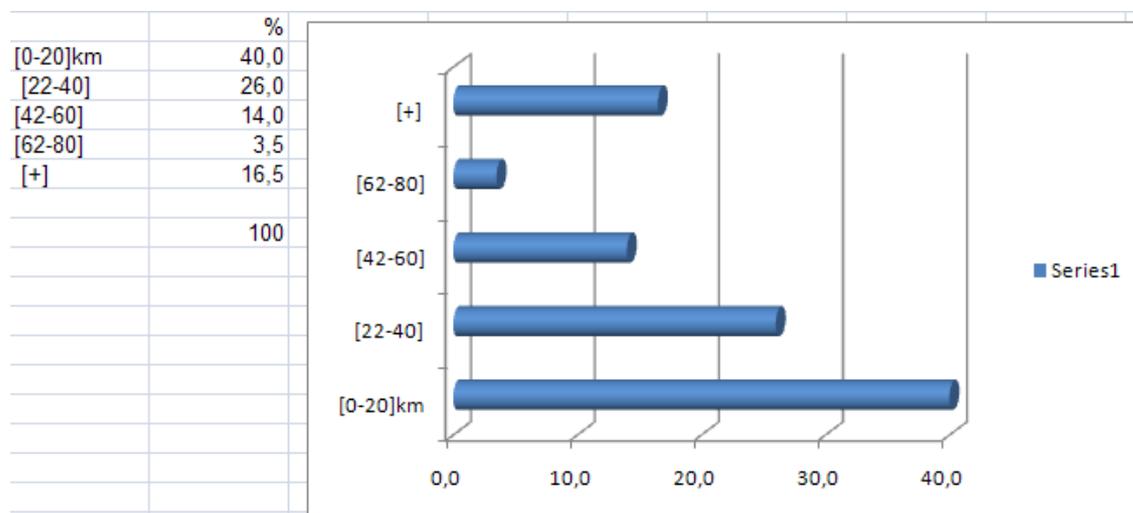


Fig. # 03, Distancia recorrida diariamente

Como se puede observar en los resultados de la medición, el 40% de los entrevistados que representa el mayor valor de medición, en su recorrido diario no supera los 20 Km. Aplicando Pareto a este caso, se tiene que mas del 80 % de propietarios de vehículos particulares no supera en su recorrido diario los 60 Km.

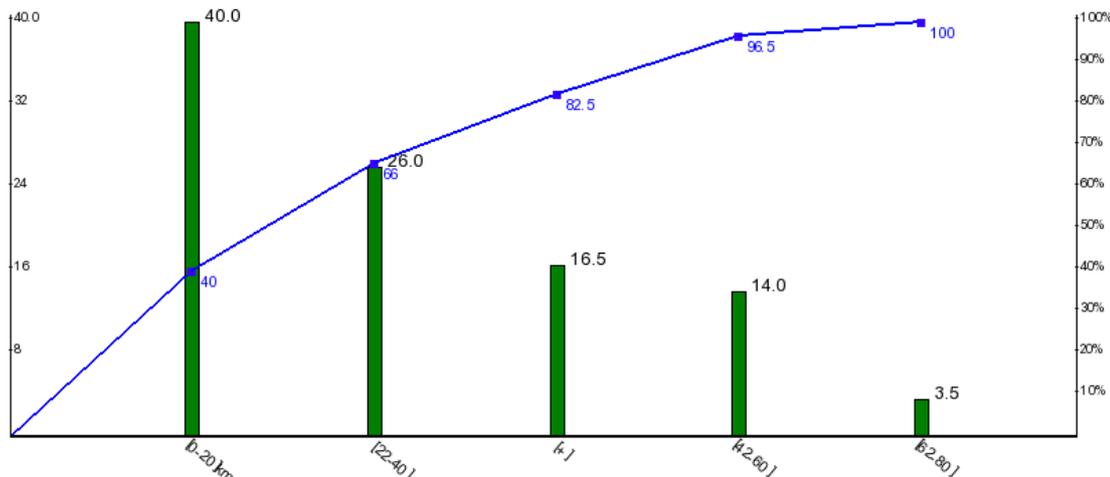


Fig. # 04, Histograma y Pareto

Como se verá mas adelante en este trabajo de investigación, este resultado es un indicador claro de que un auto con poca autonomía de recorrido como es el auto eléctrico puede ser usado perfectamente dentro de la ciudad.

3) Resultado de la tercera pregunta ¿Cuanto gasta a la semana en gasolina?

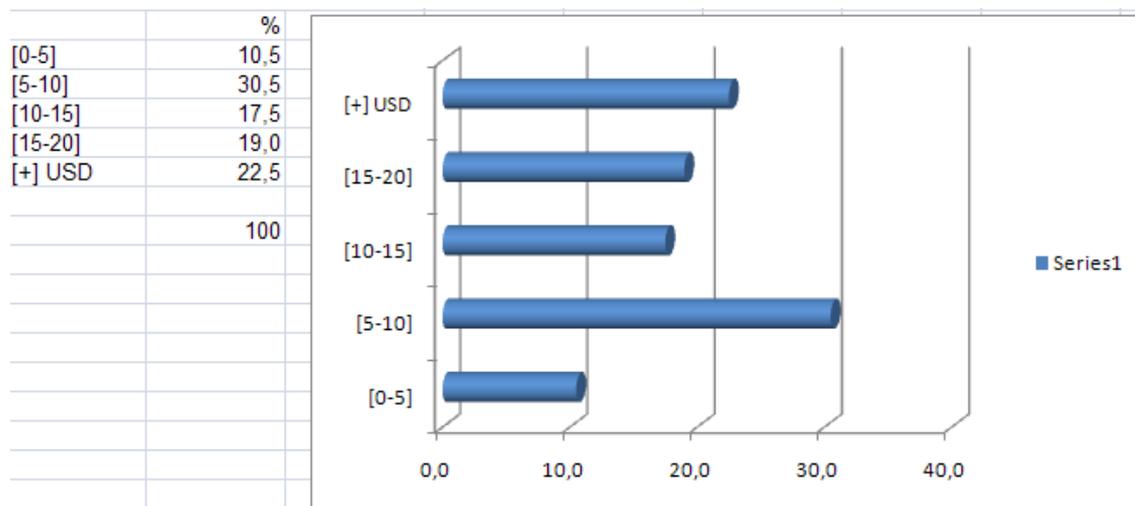


Fig. # 05, Gasto de Gasolina

El 31 % de los propietarios de vehículos entrevistados afirma que el consumo semanal de combustible no es mayor que 10USD. En este caso el Pareto no es muy útil, porque abarca casi todo el rango de medición. Como se puede apreciar en este resultado, si se compara con la distancia recorrida, se deduce que no está relacionado directamente el consumo de combustible con la distancia recorrida,

quizá se deba a un problema de mala calibración de los motores y a la relación de consumo vs. Kilometraje, que es diferente para cada vehículo según su cilindraje.

Otro detalle interesante de los resultados obtenidos es que si se relaciona consumo de gasolina y distancia, considerando que a la semana la mayoría de usuarios de vehículos no superan los 100 km de recorrido y su gasto en gasolina no es mayor a 10 USD. Se puede afirmar que en Quito la relación de distancia recorrida vs. Consumo de combustible es aproximadamente 15 Km/galón, suponiendo que se usa gasolina extra cuyo precio es 1.5 USD. Dato importante cuando se haga el análisis técnico de factibilidad de uso de autos eléctricos.

4) Resultado de la cuarta pregunta

¿Cuántas personas viajan en el vehículo diariamente?

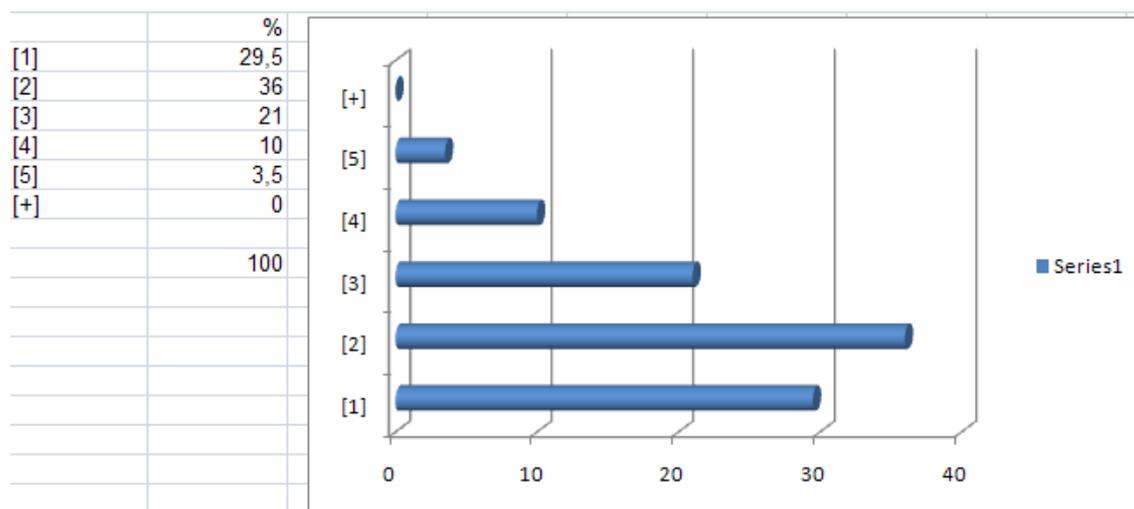


Fig. # 06, Número de personas

Observando los resultados de las encuestas respecto a este parámetro, el 36 % de los usuarios de vehículos afirma que en su vehículo diariamente no se transportan más de dos personas. Aplicando Pareto, se concluye que el 80 % aproximado de usuarios de vehículos transporta máximo 3 personas.

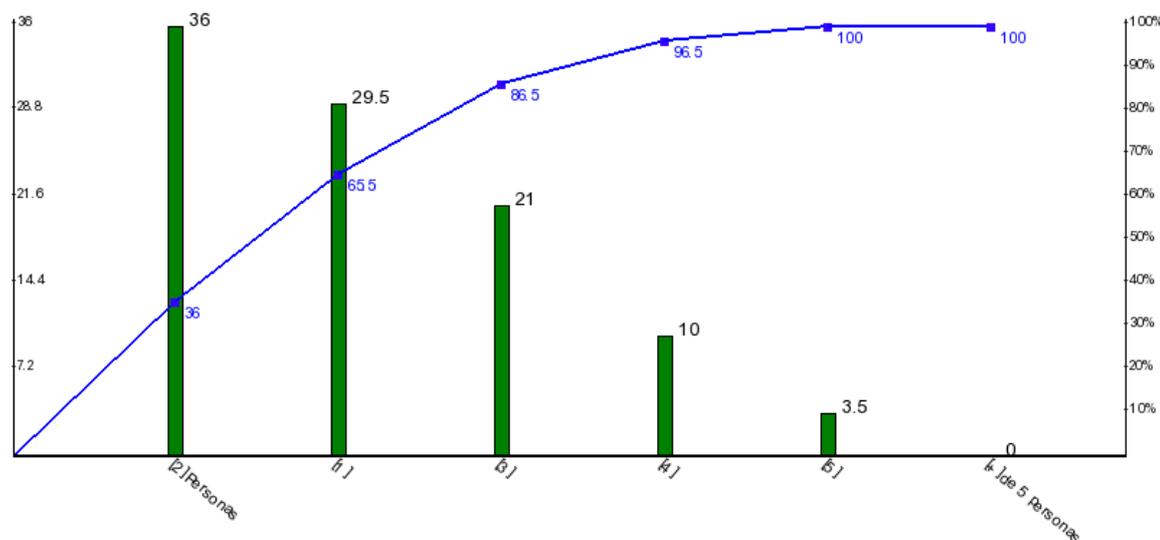


Fig. # 07, Histograma y Pareto de número de personas

Como se conoce la mayor parte de vehículos está diseñado para transportar 5 personas, de lo que se deduce que un buen porcentaje de vehículos en la ciudad de Quito está subutilizado. Hay que tomar en cuenta que los autos si bien entre semana están subutilizados, el fin de semana si son usados a su máxima capacidad, puesto que se transforman en vehículos familiares.

5) Resultado de la segunda pregunta

Cuando conduce, le gusta rebasar a los otros autos?

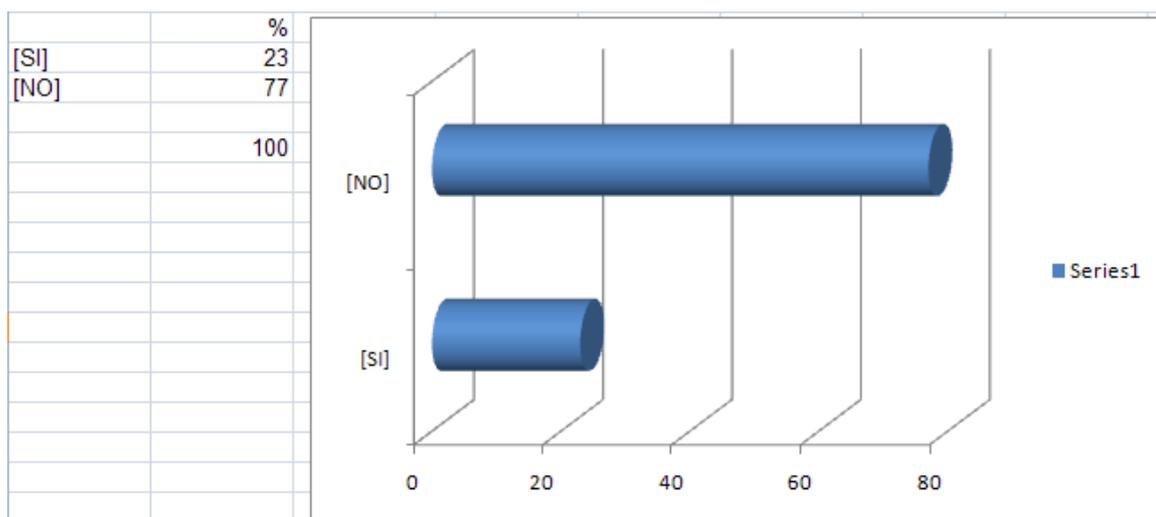


Fig. # 08, Le gusta ganarles a los otros autos

El resultado obtenido de la medición es coherente con la velocidad de manejo, es necesario recordar que el 80% de la gente no conduce más allá de 60 Km/h. Por tanto es lógico que el 70% de los usuarios de vehículos no les interese superar al resto de conductores. Como a la mayor parte de usuarios no les interesa superar a otro vehículo, significa que las prestaciones en cuanto a potencia dentro de la ciudad no deben ser mayores para los vehículos, factor que si es importante para un vehículo de carretera.

6) Resultado de la sexta pregunta

¿Usted cree que conduce rápido o despacio?

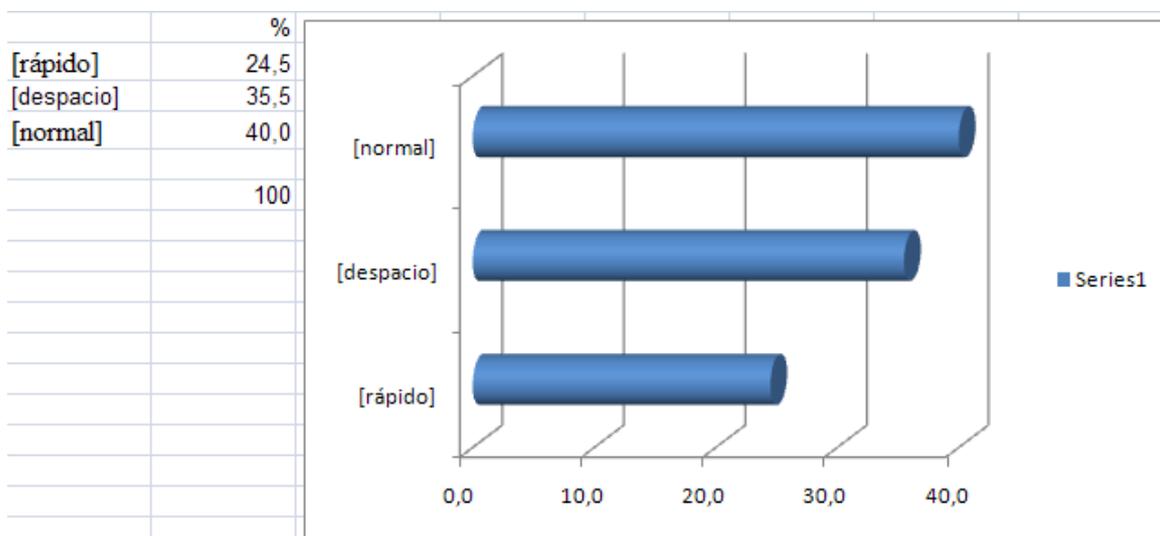


Fig. # 09, Rapidez de manejo

La percepción de si se conduce rápido o despacio es muy importante, porque permite identificar la necesidad de movilizarse con rapidez, en el caso de los usuarios de vehículos en Quito, se nota claramente aplicando Pareto que el 76 de la gente cree que se moviliza normalmente, tomando en cuenta la velocidad de conducción, para la gente de la ciudad de Quito sería normal conducir a 60 Km/hora o menos.

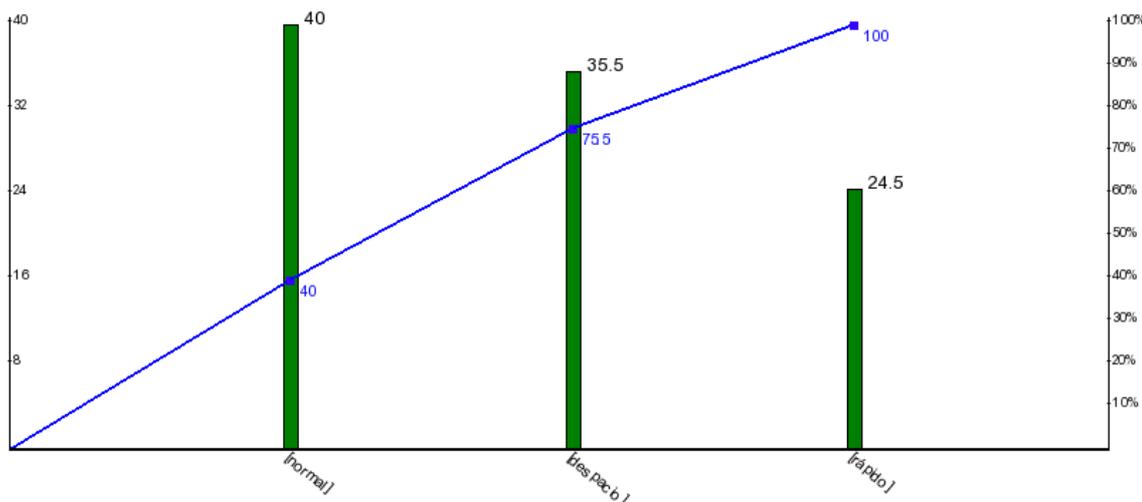


Fig. # 10, Histograma y Pareto de rapidez de manejo

7) Resultado de la séptima pregunta
¿Conoce sobre Vehículos Eléctricos?

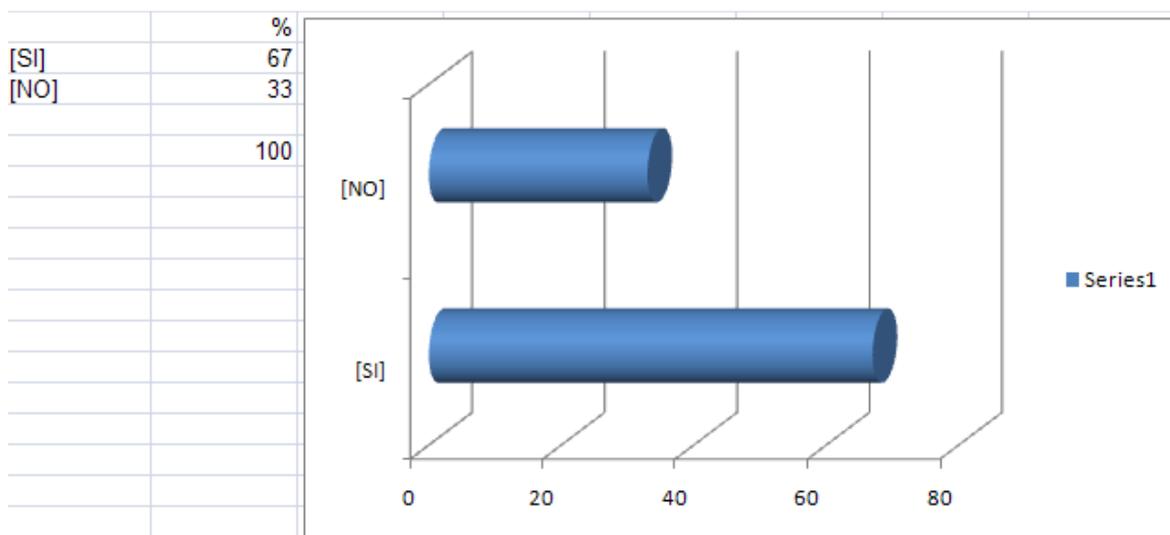


Fig. # 11, Conocimiento sobre vehículos eléctricos

El 67 % de los usuarios de vehículos particulares afirma no conocer sobre la tecnología de vehículos eléctricos. Lo cual es razonable puesto que no se ha difundido su existencia, la referencia mas cercana la tienen de las noticias que se escucha sobre los vehículos híbridos, los cuales al estar promocionándose en el mercado son mas conocidos.

- 8) Resultado de la octava pregunta
¿Estaría usted dispuesto a cambiar su vehículo a gasolina por uno que no contamine el ambiente, por ejemplo un eléctrico?

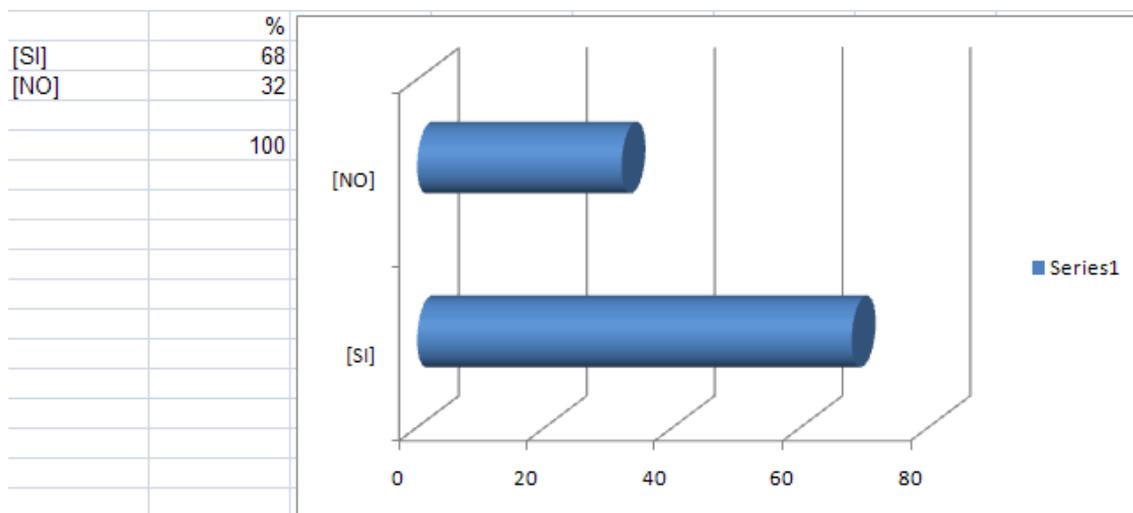


Fig. #12, Disposición a cambiar de auto

A pesar de que la gente no conoce sobre vehículos eléctricos, tienen una clara noción de que los mismos no contaminan el ambiente, y al ser preguntados si desearían cambiar su auto por uno eléctrico, casi el 70 % de los entrevistados afirma que si lo harían.

- 9) Resultado de la novena pregunta
¿Usted cree que su auto contamina el medio ambiente?

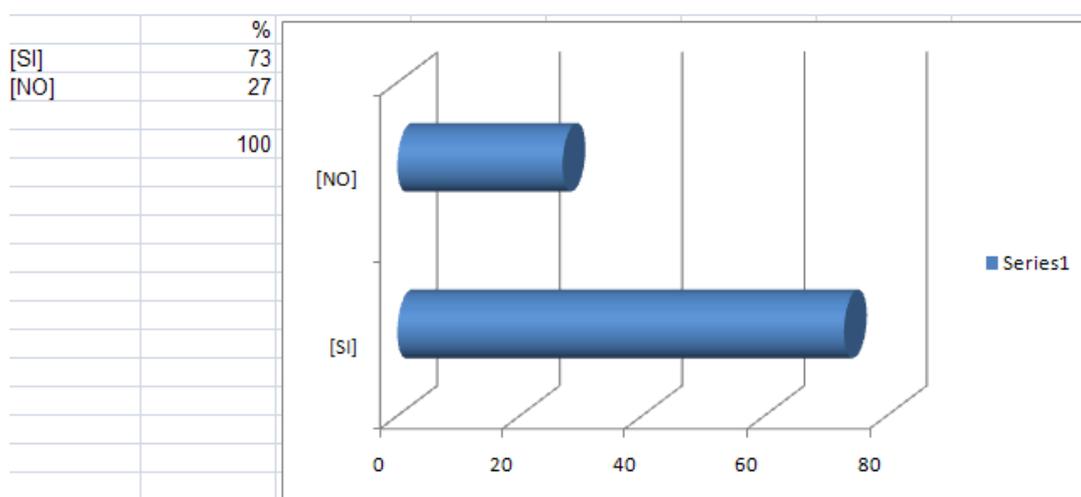


Fig. #13, Contaminación del ambiente

En esta pregunta se confirma la apreciación anterior, el 73 % de los propietarios de vehículos está convencido que su auto contamina el medio ambiente. Esto sin

duda es un resultado muy importante y será usado para demostrar que la implantación de un parque automotor eléctrico es factible desde el punto de vista ambiental.

10) Resultado de la décima pregunta ¿Que auto le gustaría comprar?

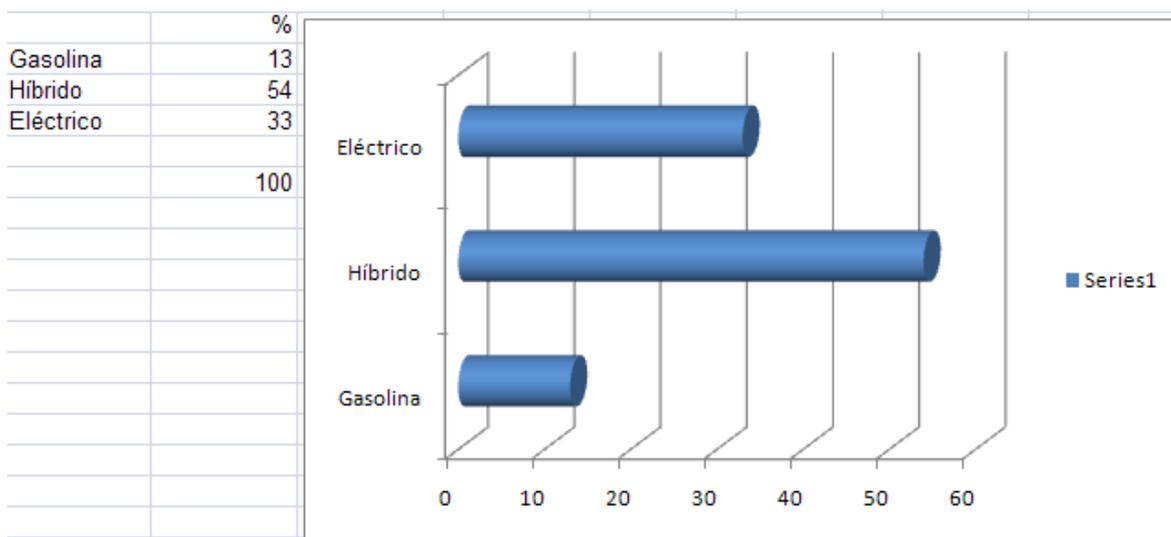


Fig. # 14, Preferencia de combustible

Lo que se preguntó exactamente fue, si en este momento usted se comprara un auto, por cual se decide?, el 54% de los propietarios de vehículos estaría dispuesto a comprar un auto híbrido, el 33% un auto eléctrico, y apenas el 13% se decidiría por comprar un auto a gasolina. Este resultado sin duda indica el efecto del marketing de los autos híbridos, están muy bien posicionados. Lo destacable de esta medición es que la gente no tiene problema en dejar de comprar autos clásicos a gasolina, sin duda que a los quiteños y como se observa de la medición les gusta las novedades tecnológicas, además considerando que los autos verdes son la mejor opción para el medio ambiente, punto que los propietarios de vehículos lo tienen claro, ver el resultado de la pregunta 9.

11) Resultado de la décima primera pregunta
¿En su casa cuantos autos existen?

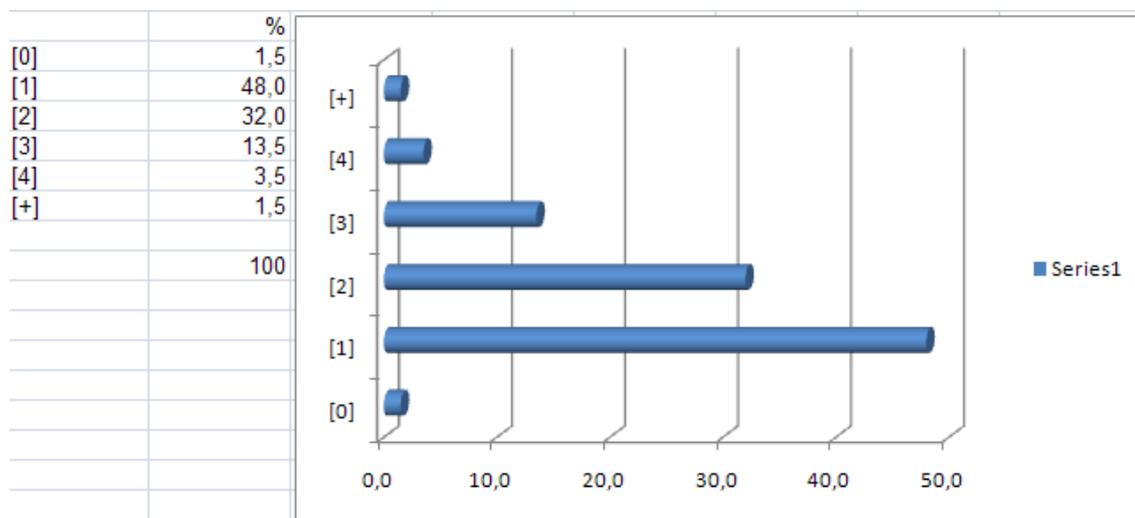


Fig. # 15, Número de autos en casa

La mayor parte de los usuarios de vehículos particulares, un 48 % exactamente de acuerdo a la medición no posee mas de 1 vehículo. Si se aplica Pareto, el 80 % de la gente tiene 2 vehículos en casa.

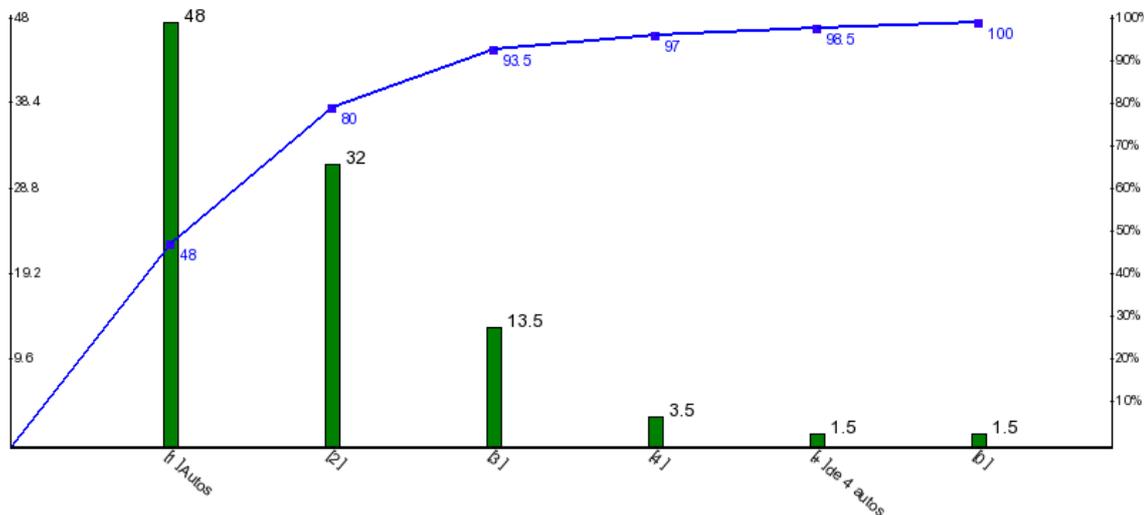


Fig. # 16, Histograma y Pareto de número de autos

Esto es algo importante, porque una buena opción sería tener dos vehículos, uno para movilizarse dentro de la ciudad y otro para la carretera el fin de semana.

12) Resultado de la décimo segunda pregunta
¿Con cuántas personas comparte su vehículo?

El 32% de los usuarios de vehículos particulares comparte con una persona adicional su vehículo.

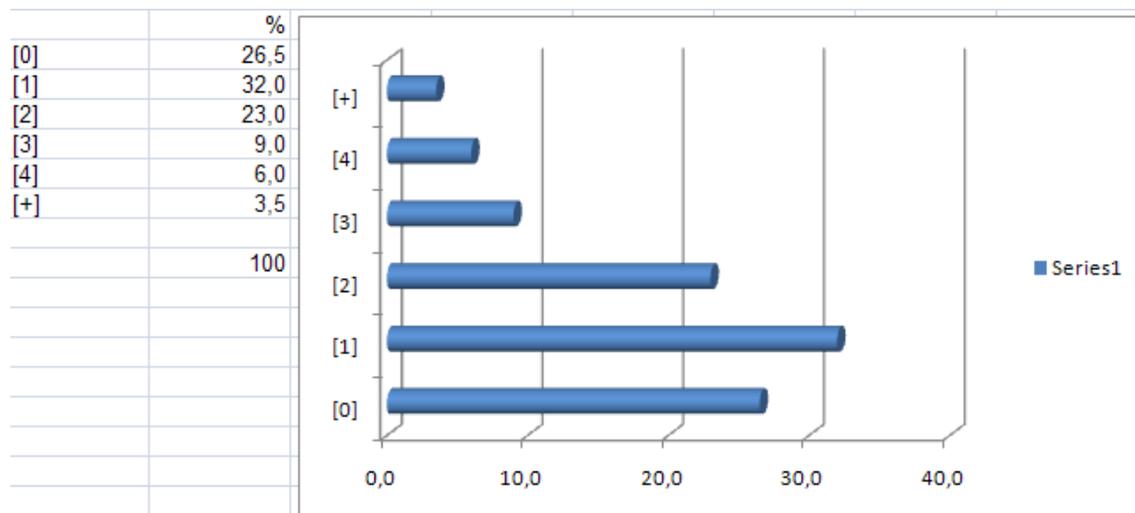


Fig. # 17, Cuántas personas comparten el auto

Según Pareto el 80% de la gente comparte con no más de 2 personas. Esto totalmente de acuerdo con los resultados de la pregunta 4.

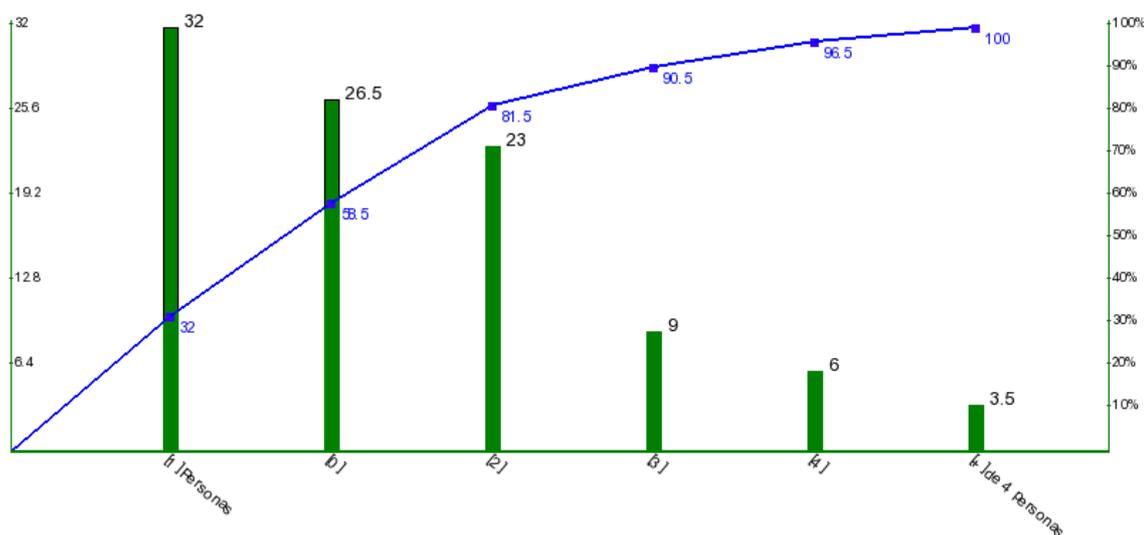


Fig. # 18, Histograma y Pareto de personas que comparten auto

13) Resultado de la décimo tercera pregunta
¿Que tipo de autos le gusta?

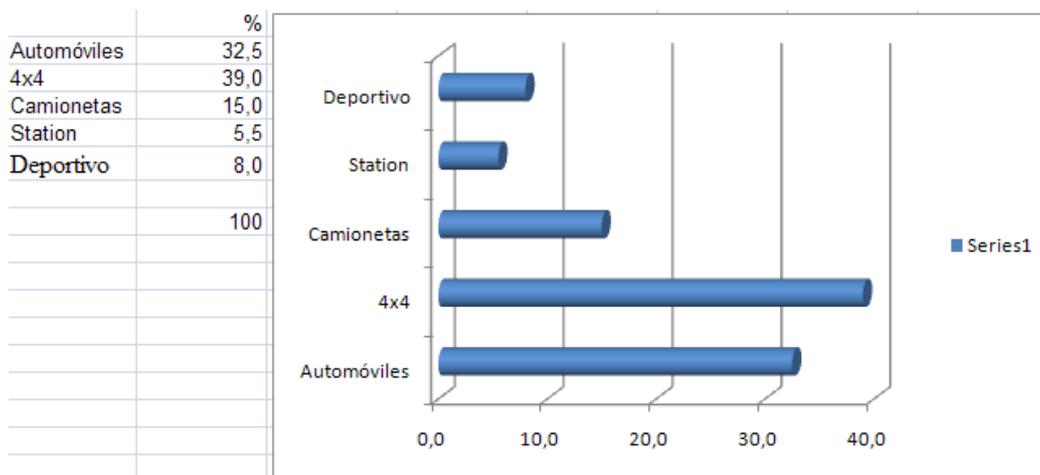


Fig. # 19, Gusto sobre autos

Al 39 % de los entrevistados les gusta autos todo terreno, y conjuntamente con los automóviles representan el 80% de la preferencia respecto al tipo de auto. Esto indica que existe un excelente mercado para este tipo de vehículos. En el capítulo V se investigará la oferta de vehículos eléctricos, y se aclarará respecto a la oferta de vehículos eléctricos no híbridos todo terreno. De lo contrario apenas el 33 % de la demanda sería cubierta con la oferta de automóviles eléctricos. Está claro que el uso de un todo terreno en la ciudad, otra vez significa subutilizar el vehículo.

14) Resultado de la décimo cuarta pregunta
¿Que tipo de auto tiene?

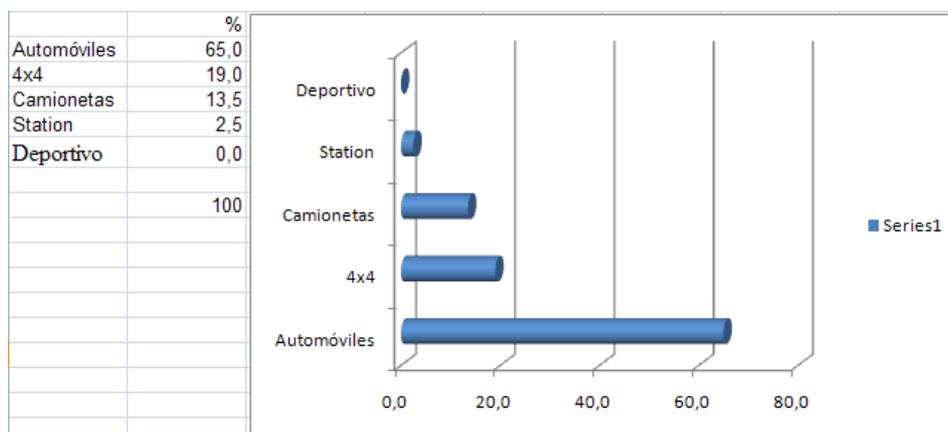


Fig. # 20, El auto que se tiene en casa

El resultado obtenido de la medición indica que el vehículo más apetecido por la gente es el automóvil, el 65 % de la gente tiene automóvil, que no necesariamente significa que es el vehículo que más le guste, si se recuerda el resultado de la pregunta anterior, a mucha gente le gusta 4x4, pero tiene automóvil. Esto está influenciado también por la diferencia de precio entre un automóvil y un 4x4, los automóviles tienen un costo que se acomoda más a la realidad de la economía de la mayoría de la población quiteña.

15) Resultado de la décimo quinta pregunta ¿Le gustaría conducir un auto Eléctrico?

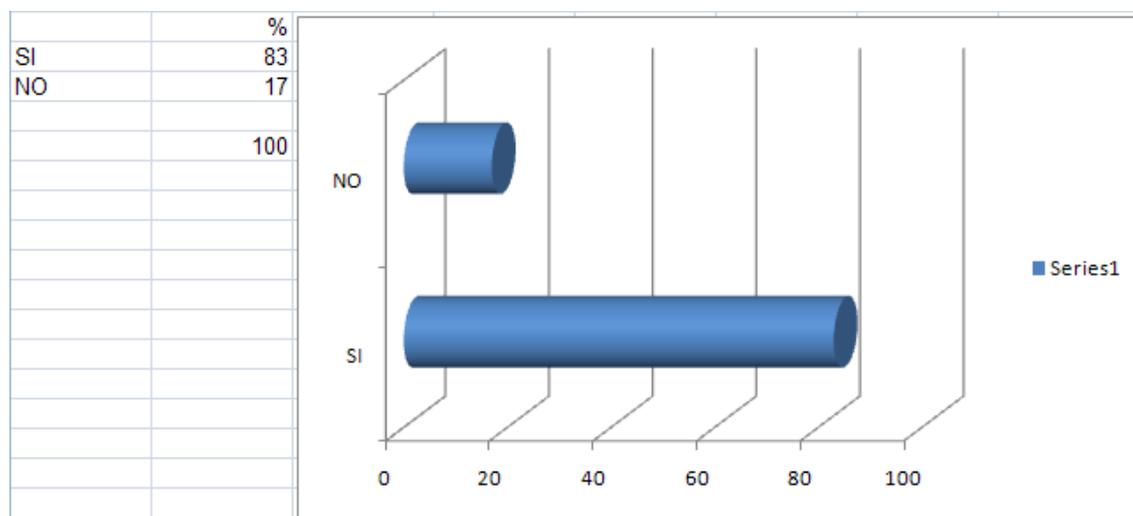


Fig. # 21, Gusto por conducir un VE

Al 83 % de los entrevistado les gustaría conducir un auto eléctrico, resultado muy importante a la hora de cambiar el parque automotor, existe una clara predisposición de la gente para conducir un auto eléctrico, y ese es un factor que se debe aprovechar para migrar el parque de autos contaminantes a un parque automotor con autos amigables totalmente con el medio ambiente.

1.5. Caracterización técnica de los autos

La caracterización del parque automotor se complementa con la información de la BDD de la Corpaire respecto a la frecuencia de fallas más comunes de los autos en Quito, y la incidencia de casos que no pasan la revisión por excesiva emisión de gases de efecto invernadero. Este análisis se lo hace para los autos de la muestra. Se ingresa el número de la placa en el sistema web de la Corpaire, para

los autos tomados como muestra y se hace una medición respecto a la frecuencia de falla que tiene mayor incidencia con el ambiente, esto es la emisión perjudicial de gases de efecto invernadero.

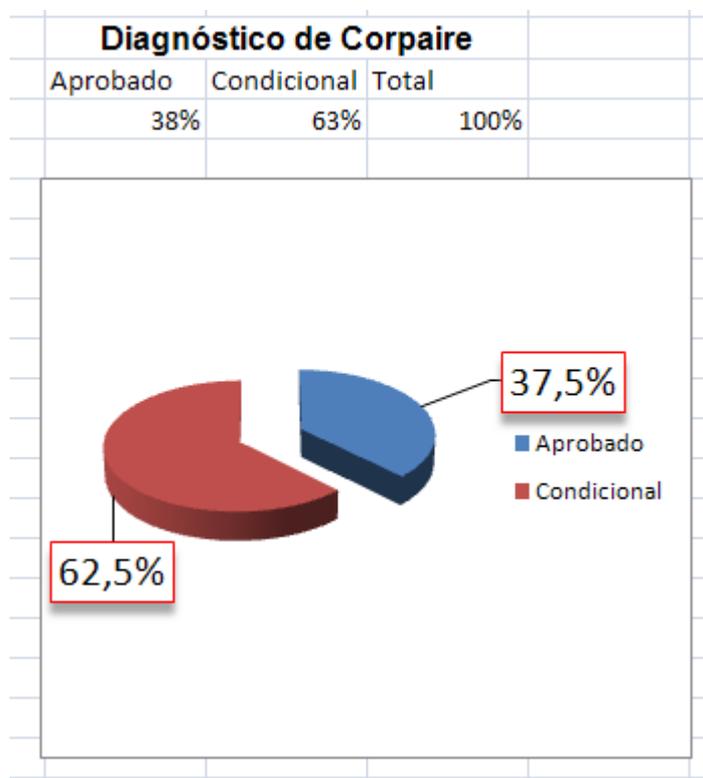


Fig. # 22, Diagnóstico de Corpaire, elaboración Autor

En el momento que un usuario llega a la Corpaire su auto es sometido a un diagnóstico visual y mecatrónico, luego de la revisión correspondiente en el centro de diagnóstico automotriz, existen dos posibilidades respecto al resultado de la pruebas mecánicas: que el auto salga aprobado, o si tiene alguna falla que ponga en peligro al usuario y al resto de la población, entonces el auto no aprueba y se lo cataloga como un auto con falla, y por tanto está "Condicional" y debe presentarse en el plazo que fija la corpaire para una nueva revisión, si es la primera vez la segunda revisión es gratis, si es la segunda el costo es del 50% del valor de la revisión. De acuerdo a la investigación realizada, se observa que del total de la muestra investigada el 62,5% de autos no aprueba, es decir está en un estatus condicional. Esto debido a fallas mecánicas en los autos, fallas que está relacionada con defectos mecánicos, por el normal deterioro de las partes de los autos, conforme se los usa. Como consecuencia de esto, existe una clara relación

entre el uso del auto y las fallas que van apareciendo, en el caso del deterioro del motor, la consecuencia se observa en el incremento de las emisiones contaminantes. Por lo que a medida que el auto aumenta su recorrido es necesario, hacerle un frecuente mantenimiento, y en ciertos caso la reparación. Muchos autos tienen un resultado condicional tipo 3 por emisión de gases HC, CO y significa un claro factor que contribuye en forma nociva a la contaminación del ambiente.

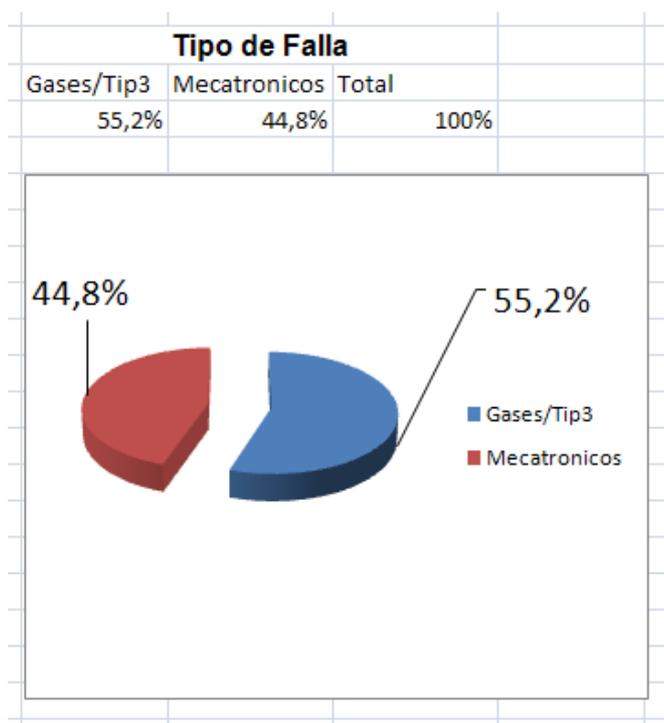


Fig. # 23, Tipo de falla en un vehículo con motor Otto, fuente Autor

Tener en cuenta que en la reacción teórica de combustión de la gasolina, los productos son anhídrido carbónico y agua. Los gases HC y CO son productos de una mala combustión, y justamente por la presencia de estos gases es lo que los autos no pasan la prueba en el centro de revisión. Como se puede ver en el gráfico, de los autos que no aprobaron, es decir los que están en estatus condicional el 55,2% tiene fallas relacionadas con la emisión de gases contaminantes, CO y HC. Es bueno insistir en que el motor OTTO, en un funcionamiento normal sin fallas emite CO₂, que es un gas de efecto invernadero, este gas obviamente no es monitoreado por el centro de revisión. Las fallas relacionadas con daños en el motor comparadas con las del resto del auto están

en una relación casi similar, como se puede observar en el gráfico, los daños mecánicos no de motor representan el 44,8%, en este tipo de fallas están defectos de suspensión, frenos, sistema eléctrico, y las observaciones que visualmente hacen los técnicos en el momento de la revisión, por ejemplo mal estado de la carrocería, llantas, parabrisas, cinturones de seguridad, etc.

Si un auto no aprueba la revisión tiene un plazo para volver a presentarse, en la investigación se comprueba que la mayoría de los condicionales, al final luego del mantenimiento correctivo realizado al auto aprueba la revisión, solo el 7% de los usuarios no regresa o desiste de aprobar la revisión, lo que representa un buen indicador para la Corpaire. Es probable que dentro de este porcentaje estén autos que al no aprobar en Quito, hayan salido a otras provincias donde no existe control.

Los gastos que tienen que realizar los usuarios que no aprobaron la revisión son enormes, una reparación de un motor puede fácilmente superar los 1000 USD, esto se aliviaría sin duda con la incorporación de motores eléctricos a los vehículos. Como se ve prima el interés de los grandes importadores en detrimento del medio ambiente, esto se explica si se considera el gran negocio que existe alrededor de los autos actuales. Por ejemplo, un alto valor de HC y CO implica a veces el cambio de sensores actuadores, bandas de distribución, válvulas, etc., reparaciones, que por lo general son extremadamente costosas. Solo el TPS, IAC, Sonda Lambda, y sensores de temperatura pueden superar los 200 USD. Si se multiplica por 400.000 autos solo de Quito, se tiene un gran ingreso (80.000.000USD) para la Industria Automotriz de repuestos que no es nacional, la mayor parte de repuestos viene de China, Europa, y USA.

Todo ese dinero se podría ahorrar si se usa propulsores eléctricos, que tienen larga vida y sobre todo son amigables al medio ambiente, este tema se lo tratará detenidamente en el capítulo 6.

Capítulo II: Fuentes limpias de energía para un parque automotor con propulsión eléctrica

2.1 Qué es la matriz energética?

La Matriz Energética requiere de tres características importantes: eficacia, para proveer de energía a la totalidad de la demanda, eficiencia para optimizar recursos y equidad en generación, acceso y distribución.

Una buena Matriz debe ser descentralizada de zonas geográficas específicas, diversificada en diferentes recursos y tipos de energía, limpia de contaminación para establecer un equilibrio entre Medioambiente y Sociedad; y finalmente, renovable para su proyección, regeneración y durabilidad en el tiempo.

Para que sea posible empezar esta transición hacia una matriz eficaz, eficiente, equitativa, desconcentrada, diversificada, limpia y renovable se necesitan tres ejes para su viabilidad:

- Conocimiento. Porque posibilita generar investigaciones y visiones estratégicas en torno a las Energías Alternativas, y porque genera proyectos a futuro que permiten abrir nuevas perspectivas y mejorar las actuales.
- Tecnología. Porque para lograr un diseño y una apropiación de los recursos existentes y de aquellos a generar es indispensable contar con los instrumentos y herramientas estratégicas que generan las tecnologías.
- Políticas de estado. Porque son imprescindibles para sostener el proyecto en el tiempo, para lograr una acción sinérgica entre agentes económicos, gobiernos y ciudadanía, para lograr el desarrollo de políticas que auspicien diferentes energías alternativas.

Las Energías Alternativas en el Ecuador representan un gran potencial, debido a los distintos pisos climáticos. Dentro de este conjunto de energías se encuentra:

energía hidráulica, energía geotérmica, energía solar, energía eólica, energía mareomotriz, biocombustibles.

En el Ecuador el ente rector en políticas energéticas renovables es el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, es así que dentro de su planificación presenta la matriz energética del Ecuador. Para cumplir este propósito se necesita conocer la situación actual energética y su evolución histórica.

La oferta energética compuesta por la producción doméstica más las importaciones, muestra una tendencia a la baja, con cada vez más dependencia de las importaciones. En el período 2006-2011, la oferta total promedio es de 234 millones de BEP (210 millones de BEP de producción nacional y 24 millones de BEP de importaciones). En el período 2012-2020 la oferta total promedio baja a 198 millones de BEP (166 millones de producción nacional y 32 millones de importaciones). Esta reducción se explica por la disminución de la producción petrolera.

De acuerdo al esquema de la nueva matriz energética, la participación del petróleo en la oferta energética se reducirá en 10 puntos porcentuales (de 92% a 82%), a favor de las energías renovables (hidro-energía, energía eólica y solar, geotérmica y biomasa) que se incrementarán del 4% al 15% en el nuevo escenario. El comercio exterior caracterizado por la exportación de petróleo y la importación de productos refinados cambiará a partir del 2013.

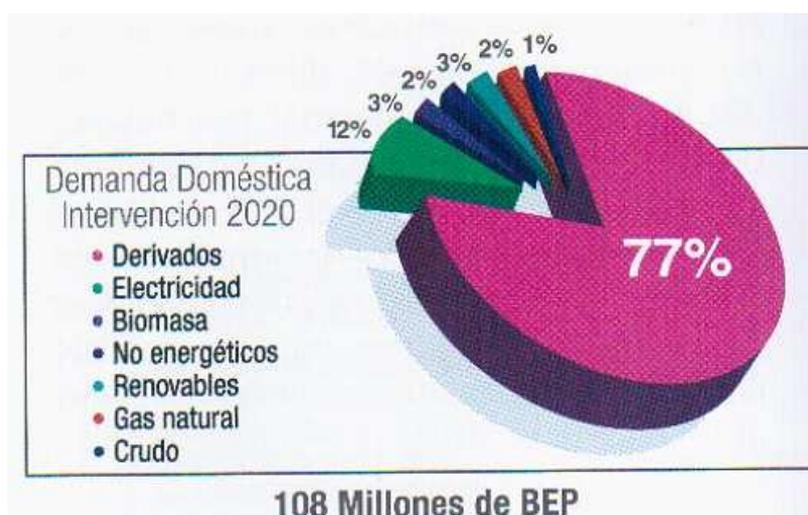


Fig. # 24, Fuente MEER, Matriz Energética

En relación a la energía eléctrica, la matriz energética muestra claramente que los proyectos hidroeléctricos son de fundamental importancia para cubrir las necesidades del sector productivo. Los grandes proyectos Mazar, Sopladora, Toachi, Ocaña, Coca Codo Sinclair son los mas importantes que proveerán una energía adicional de alrededor de 17600 GWh para el 2015 y permitirán además reducir los costos de la electricidad. A pesar del crecimiento hidrológico, será necesario contar también con el aporte térmico, y con el gas natural será posible contar con una oferta inclusive para exportación. Bajar los subsidios que para el país representa casi 500 millones de dólares por año. La producción de electricidad se duplicará de 13,8 a 30,4 miles de Gwh al año 2020, con el mayor aporte de energía hidroeléctrica, disminución de combustibles fósiles en centrales térmicas, por tanto produciendo un ahorro considerable al país, hasta el 2025 se espera una reducción de 20 millones de barriles de combustibles por año,. Lo que generará un ahorro de 2000 millones de dólares por reemplazo de 12000 Gwh de hidroelectricidad, lo que representa un ahorro por día de 5 millones y medio de dólares. [3]

2.1.1. Matriz Energética del Ecuador

La siguiente tabla se elabora usando información de la tabla disponible en el documento del CONELEC denominado Inventario de Recursos Energéticos, página 58. [4]

TIPO DE ENERGIA	Total Efectivo(Mw)	Distribución Porcentual (%)
Hidráulica	2032.56	43.43
Térmica, Turbotas	756.20	16.16
Térmica MCI	826.73	17.66
Térmica Turbovapor	537.50	11.48
Fotovoltaica	0.02	0.00
Importación	25.00	11.22
Eólica	2.40	0.05
TOTAL	4680.41	

Cuadro # 01, Fuente: CONELEC 2009[5], Matriz Energética

En esta matriz no consta importantes fuentes de energía primaria como es la geotérmica, mareomotriz, biocombustibles, energías que serán descritas y

analizadas a continuación como parte de las energías primarias, y que están en proceso de pre factibilidad en el país.

2.2 Fuentes Primarias de Energía

En el presente estudio se hace un análisis de la oferta energética tomando en cuenta el impacto que su uso produce en el medio ambiente, por este motivo no se ha considerado como potencialmente amigable al ambiente la energía de la biomasa. El Ecuador es un país rico en fuentes de energía alternativa, limpia y renovable, por estar en una situación geográfica única, debido a su topografía que va de los 0 m sobre el nivel del mar a las altas cumbres andinas (+ de 4000 m) y además por encontrarse en la línea ecuatorial, cuenta con varias de las energías consideradas primarias: hidráulica, solar, mareomotriz, geotérmica, eólica. La principal contribución a la matriz energética está representada por la fuente hidráulica que está dentro de las energías renovables, a continuación se presenta una tabla con información de cuanto contribuyen en la matriz energética las renovables y las no renovables:

Fuente de Energía	Tipo Central	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
Renovable	Hidráulica Embalse	1.361,00	1.361,00
	Hidráulica Pasada	695,42	671,56
	Solar	0,02	0,02
	Eólica	2,40	2,40
	Térmica Turbovapor (1)	106,80	94,50
Total Renovable		2.165,64	2.129,48
No Renovable	Térmica MCI	1.137,59	826,74
	Térmica Turbogas	807,14	756,20
	Térmica Turbovapor	446,00	443,00
Total No Renovable		2.390,72	2.025,94
Interconexión	Interconexión	650,00	525,00
Total Interconexión		650,00	525,00
Total general		5.206,37	4.680,42

(1) Dentro del tipo de Central Térmica Turbovapor Renovable se consideran las Centrales cuyo combustible es BIOMASA (Bagazo de caña)

Cuadro # 02 Fuente: CONELEC2010 [5], Producción por fuente

La hidráulica puesta junto a las energías alternativas, aporta en más de un 90% al total de la energía renovable. De acuerdo a la información presentada en la tabla anterior se desprende que la potencia efectiva renovable supera aunque en poco pero supera a la producción no renovable, eso es bueno desde todo punto de vista.

Tipo de Energía	Tipo Central	Energía Bruta (GWh)
Renovable	Hidráulica	11.293,33
	Eólica	2,68
	Solar	0,03
	Térmica Turbovapor *	208,32
Total Renovable		11.504,37
No Renovable	Térmica Turboagas	1.355,90
	Térmica MCI	3.460,45
	Térmica Turbovapor *	2.287,80
Total No Renovable		7.104,16
Interconexión	Interconexión	500,16
Total Interconexión		500,16
Total general		19.108,69
*Se refiere a la energía producida por las centrales que utilizan la Biomasa (Bagazo de caña como combustible)		

Cuadro # 03, Fuente: CONELEC2010 [5], Energía Bruta por fuente

Del total de producción de energía a continuación se presenta una estadística que compara entre la producción de energía térmica e hidráulica que son las representativas y la actual proyección de las energías alternativas, Eólica, Solar (celdas), y térmica solar.

Sistema	Tipo de Empresa	Tipo Central	Energía Bruta (GWh)	Energía Disponible (GWh)	Energía Para Servicio Público (GWh)	Energía Para Servicio No Público (GWh)
S.N.I.	Generadora	Hidráulica	9.924,39	9.817,47	9.924,39	-
		Térmica	4.448,06	4.251,36	4.448,06	-
	Total Generadora		14.372,46	14.068,83	14.372,46	-
	Distribuidora	Hidráulica	719,36	718,56	719,36	-
		Térmica	162,39	156,68	162,39	-
	Total Distribuidora		881,75	875,24	881,75	-
	Autogeneradora	Hidráulica	632,70	606,73	577,32	55,39
		Térmica	292,39	102,21	101,31	191,09
	Total Autogeneradora		925,10	708,94	678,62	246,48
	Importación		500,16	500,16	500,16	-
	Total Importación		500,16	500,16	500,16	-
Total S.N.I.			16.679,47	16.153,18	16.432,99	246,48
No Inc.	Generadora	Eólica	2,68	2,68	2,68	-
		Total Generadora		2,68	2,68	2,68
	Distribuidora	Hidráulica	16,88	16,73	16,88	-
		Térmica	44,26	43,37	44,26	-
		Solar	0,03	0,03	0,03	-
	Total Distribuidora		61,17	60,13	61,17	-
	Autogeneradora	Térmica	2.365,37	2.293,66	1,55	2.363,83
Total Autogeneradora		2.365,37	2.293,66	1,55	2.363,83	
Total No Inc.			2.429,22	2.356,47	65,40	2.363,83
Total general			19.108,69	18.509,66	16.498,39	2.610,30
En la energía de Servicio Público y No Público, no se ha discriminado los consumos de auxiliares ni autoconsumos						

Cuadro # 04, Fuente: CONELEC 2010[5], Energía Servicio Público

Como se puede apreciar, el aporte de energías alternativas respecto a la matriz clásica representada por la hidráulica y térmica es el 15%.

2.3. Energía Hidráulica

En el Ecuador hay un desarrollo respetable de la energía eléctrica proveniente de generadoras hidráulicas, a continuación se tiene las siguientes centrales con su capacidad;

Central Hidroeléctrica	Mw
Loreto	2.1
El Carmen	8.2
Marcel Laniado	213.0
Pucará	70.0
Sibimbe	14.5
Agoyan	156
San Francisco	216.0
Paute	1075.0
Saucay	24.0
Saimirin	14.4
TOTAL	1754

Cuadro # 05, Fuente: CONELEC, 2010[5], Producción Hidráulica

El nivel de producción de energía eléctrica se estima puede llegar a mas de 9000 Mw, con varios proyectos hidroeléctricos muchos de ellos se encuentran en la etapa de prefactibilidad:

Central Hidroeléctrica	Mw
Mazar	160
Toachi Pilaton	228
Minas-La Unión	353
Coca Codo Sinclair	1500
Sistema Integrado Guayllabamba	1670
TOTAL	3911

Cuadro # 06, Fuente: CONELEC, 2010[5], Nuevos proyectos Hidroeléctricos

En la siguiente tabla se presenta una lista de proyectos pequeños entre comillas pero que todos en conjunto representan una importante contribución de energía.

No.	Nombre del proyecto hidroeléctrico	Río	Potencia a instalar (MW)	Nivel de estudio	Sistema hidrográfico
1	Verdeyacu Chico	Verdeyacu	1,173	Inventario	Napo
2	Naiza	Namangoza	1,039	Inventario	Santiago
3	Zamora San Juan Bosco	Zamora	1,028	Inventario	Santiago
4	Zamora Salto 3	Zamora	1,015	Inventario	Santiago
5	Zamora Salto 1	Zamora	924	Inventario	Santiago
6	Zamora Salto 2	Zamora	917	Inventario	Santiago
7	San Antonio	Zamora	760	Inventario	Santiago
8	Gualaquiza	Zamora	661	Prefactibilidad	Santiago
9	Catachi	Mulatos	748	Inventario	Napo
10	San Miguel	Zamora	686	Inventario	Santiago
11	Cedroyacu	Chalupas	270	Inventario	Napo
12	El Retorno	Zamora	261	Inventario	Santiago
13	Lligua - Muyo	Pastaza, Muyo	170	Prefactibilidad	Pastaza
14	Marcabelfí	Puyango	163	Factibilidad	Puyango
15	Parambas	Mira	145	Prefactibilidad	Mira
	SUBTOTALES	15	9,958		

Cuadro # 07, Fuente: CONELEC, 2010[5], Producción hidro de Centrales pequeñas

2.4. Energía Solar

El Ecuador por encontrarse en la línea ecuatorial tiene un factor de iluminación extremadamente alto, casi todo el año. La energía que se recibe en la superficie de la tierra durante un año es aproximadamente de 178000TWh.

La utilización práctica de la energía solar, un recurso renovable y limpio, para generación eléctrica, tiene como objetivos principales: la contribución a la reducción de gases de efecto de invernadero, la disminución de la generación con energías no renovables con el consecuente ahorro en combustibles fósiles, y la posibilidad de llegar con electricidad a zonas alejadas de las redes de distribución. El Ecuador por estar situado sobre la línea Ecuatorial tiene un potencial solar que sin ser el mejor del planeta, se sitúa en niveles muy importantes, de acuerdo a las observaciones realizadas los valores de radiación oscilan entre 3,35 kWh/m² en el mes de Mayo y los 4,33 kWh/m² [4].

2.5. Energía Eólica

Su potencial no es mayor, por estar el Ecuador en la zona tórrida, de todas maneras hay algunos pequeños proyectos ubicados en zonas alejadas de la línea ecuatorial que son fuentes potenciales de energía eólica. El gradiente eólico en el Ecuador se produce por efecto de la presencia de los Andes y de la cercanía del Océano Pacífico. El dimensionamiento de los sistemas eólicos dependen de factores como, velocidad del viento, las estaciones del año, siendo este recurso uno de los mas variables e indeterminados. La potencia que se puede generar depende del cubo de la velocidad, y para fines de generación eléctrica hay recursos en las crestas de las montañas, en la costa. A continuación una tabla con los sitios de interés en cuanto a generación.

Provincia	Localidad
Carchi	El Ángel
Imbabura	Salinas
Pichincha	Machachi, Malchingui, Páramo Grande
Cotopaxi	Minitrac, Tigua
Chimborazo	Chimborazo, Tixán, Altar
Bolívar	Salinas, Simiatug
Azuay	Huascachaca
Loja	Saraguro, el Tablón, Villonaco, Chinchas
Galápagos	San Cristobal

Cuadro # 08, Fuente: CONELEC, 2009[5], Sitios de interés para proyectos Eólicos

En cuanto a la capacidad máxima de energía que se puede generar con recurso eólico en el Ecuador, se presenta la información en la siguiente tabla:

PROYECTO	POTENCIA(MW)	ESTADO
Las Chinchas	10.5	En estudio
Salinas	15.0	Trámite
Villonaco	15.0	Contrato firmado
Ducal Wind	5.2	Certificado otorgado
Santa Cruz	3.0	Contrato firmado
San Cristóbal	2.4	En operación
Huascachaca	30.0	En estudio
Villonaco Fase 2	2.6	En estudio
Villonaco Fase 3	3.4	En estudio
Membrillo	45.0	En estudio
TOTAL	132.1	

Cuadro # 09, Fuente: CONELEC, 2009[5], capacidad de generación Eólica

2.6. Energía Geotérmica

Está dentro de la tierra y puede ser recuperada hasta un máximo de 30T_w al año, en el caso Ecuatoriano se estima que la reserva potencial es de 500 MW. Es una de las fuentes de energía limpia y renovable que presenta las mayores ventajas y que ha sido menos desarrollada, quizás por la gran cantidad de recursos que exige para la etapa de preinversión. Considerando que la Energía Geotérmica es uno de los mejores candidatos en cuanto a recursos energéticos se refiere, la SENACYT apoya la fase de preinversión para el proyecto de Chachimbiro, se espera que el proyecto termine en el primer trimestre del 2011. Además de Chachimbiro existen otros lugares de interés en Energía: Tufiño-Chiles, Chalupas, Cuenca, Chimborazo, Chacana y Alcedo. De la información que se tiene disponible, a continuación una tabla con el potencial estimado de potencia energética.

FUENTE	TEMPERATURA	POTENCIAL (MW)
Tufiño-Chiles	250	138
Chachimbiro	200	113
Chalupas	Nd	283
	TOTAL	534

Cuadro # 10, Fuente: CONELEC, 2009[5], Sitios de interés Geotérmico

2.7. Subsidio de la Electricidad

El costo de la electricidad en el Ecuador es competitivo en la región andina, esto se lo puede constatar en la siguiente tabla [6]. El precio final depende de muchos factores, como por ejemplo el transporte, la pérdida, y los impuestos.

PAIS	USD/Kw-h
Perú	0.139
Ecuador	0.083
Colombia	0.087
Venezuela	0.050

Cuadro # 11 Fuente: Elaboración Autor, Precio del KWh en algunos países

En el caso de la provincia de Pichincha, el precio medio del Kw-h es de 7,83 centavos de dólar, sin impuestos.

Grupo de Cliente	Tipo de Cliente	Cliente	Grupo de Consumo	Energía Entregada (MWh)	Factura Energía (USD)	Factura Peajes (USD)	Total Facturado (USD)	Precio Medio (USD q/kWh)	Recaudación (USD)	Recaudación (%)
Regulado	Regulado	Regulado	Residencial	1.187.592	99.747.719	-	99.747.719	8,40	96.557.559	98,81
			Comercial	634.720	48.894.667	-	48.894.667	7,70	48.308.955	98,80
			Industrial	775.322	52.634.545	-	52.634.545	6,79	51.966.637	98,73
			A.Público	167.987	15.878.661	-	15.878.661	9,45	15.691.191	98,82
			Otros	176.771	13.107.855	-	13.107.855	7,42	12.951.835	98,81
Total Regulado				2.942.393	230.263.448	-	230.263.448	7,83	227.476.178	98,79
No Regulado	Gran Consumidor		Incase	12.598	-	110.766	110.766	0,88	110.766	100,00
			Lanefit	2.736	-	28.889	28.889	1,06	28.889	100,00
			Tesalia	5.875	-	65.422	65.422	1,11	65.422	100,00
	Consumo Propio		Alambrec	13.939	-	68.772	68.772	0,49	68.772	100,00
			EBC Quito	13.118	-	125.795	125.795	0,96	125.795	100,00
			Enermax Quito	34.164	-	358.949	358.949	1,05	358.949	100,00
			Gus Uvumbicho	1.357	-	13.695	13.695	1,01	13.695	100,00
			HCJB	2.457	-	26.523	26.523	1,08	26.523	100,00
			Intarfibra	15.337	-	135.841	135.841	0,89	135.841	100,00
			KFC Finca Laicas	26	-	412	412	1,61	412	100,00
			KFC Planta Avícola	214	-	4.403	4.403	2,06	4.403	100,00
			Tambillo	18.283	-	169.835	169.835	0,93	169.835	100,00
			Novopan	17.461	-	142.291	142.291	0,81	142.291	100,00
			Pintex	13.005	-	102.592	102.592	0,79	102.592	100,00
			Plasticsacks	14.328	-	112.921	112.921	0,79	112.921	100,00
			Sintofil	14.328	-	112.921	112.921	0,79	112.921	100,00
Total Solo Peajes				164.897	-	1.467.106	1.467.106	0,89	1.467.106	100,00
Total No Regulado				164.897	-	1.467.106	1.467.106	0,89	1.467.106	100,00
Total general				3.107.289	230.263.448	1.467.106	231.730.553	7,46	228.943.283	98,80

Cuadro # 12 Fuente: CONELEC [7], Precio medio de Energía en Quito

- ❖ La gran variedad de energías renovables que posee el Ecuador hace totalmente factible la conversión del parque automotor no solamente en el DMQ sino en todas las ciudades del país. Solo la oferta geotérmica sería un importante aporte para cubrir la demanda de un parque automotor eléctrico en Quito. No hay que olvidar que se cuenta con una enorme riqueza en energía hidráulica. Por estar en la mitad del mundo se tiene energía solar y en la costa mucha energía mareomotriz.

Capítulo III: Cuantificación de la demanda de Energía eléctrica para cubrir el requerimiento de un parque automotor con propulsión eléctrica en la ciudad de Quito.

En el año 2009 se ha alcanzado una producción neta de energía de 16418,33GWh, de la cual 9037,54 GWh corresponden a producción hidroeléctrica, 6250,55 GWh a producción térmica, 1058,20 GWh a la importación de energía de Colombia y 62 GWh a la importación de energía de Perú. La producción hidroeléctrica en el año 2008 fue de 11077,2 GWh frente a una producción neta total de 16086,76 GWh.

3.1. Distribución de Carga Eléctrica diaria en la ciudad de Quito

En la ciudad de Quito, la oferta de energía eléctrica está cubierta por la Empresa Eléctrica Quito (EEQ). 70% hidráulica y 30% térmica, con una producción propia de energía anual de 590950 MWh.

PRODUCCION DE ENERGIA NETA AÑO 2009		
CENTRAL	KWh	%
Generación Hidráulica		
CUMBAYA	160.191.858,11	27,11%
NAYON	131.236.039,95	22,21%
GUANGOPOLO	76.813.778,76	13,00%
PASOCHOA	23.332.793,39	3,95%
LOS CHILLOS	13.161.043,45	2,23%
Total Hidráulica	404.735.513,66	68,49%
Generación Térmica		
G. HERNANDEZ	180.783.917,96	30,59%
LULUNCOTO	5.431.014,76	0,92%
Total Térmica	186.214.932,72	31,51%
TOTAL GENERACION EEQ	590.950.446,39	100,00%

Cuadro # 13, Fuente EEQ, 2009, Producción de energía neta 2009

El resto de la energía se compra a otros agentes generadores, tanto privados como públicos:

USD	ENERO	FEBRERO (1)	MARZO (2)	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL (KWh)
HIDROPAUTE	1.024.453,02	1.054.287,04	1.053.263,80	1.036.570,77	1.089.933,00	1.159.152,43	6.417.660,05
HIDROAGOYAN	682.031,40	679.151,94	700.304,93	683.014,30	679.710,09	713.800,16	4.138.012,81
HIDRONACION	330.525,48	341.578,80	421.821,48	407.732,97	397.040,60	398.921,92	2.297.621,25
HIDROPASTAZA	295.501,55	301.392,44	325.067,97	302.999,11	311.481,20	333.862,50	1.870.304,77
EMAAP-Q	45.273,76	44.953,41	43.083,42	50.478,07	85.359,82	97.958,42	367.106,89
ELECAUSTRO	286.928,57	238.938,14	224.424,11	218.167,38	219.816,45	230.099,84	1.418.374,50
TERMOESMERALDAS	840.408,24	790.338,82	538.221,43	315.717,92	206.251,22	283.721,03	2.974.658,66
ELECTROGUAYAS	3.711.460,80	2.917.500,37	4.108.509,62	3.546.567,43	2.731.073,55	2.551.525,59	19.566.637,37
TERMOPICHINCHA	1.204.200,63	826.950,76	1.072.043,83	837.691,94	382.679,21	452.931,72	4.776.498,10
Total	8.420.783,44	7.195.091,72	8.486.740,59	7.398.939,89	6.103.345,15	6.221.973,60	43.826.874,40

Cuadro # 14, Fuente: EEQ, 2010, Compra a empresas generadoras públicas

USD	ENERO	FEBRERO (1)	MARZO (2)	ABRIL	MAYO	JUNIO	TOTAL (KWh)
ECOLUZ	19.412,73	15.712,54	17.027,80	18.227,54	32.413,45	36.022,46	138.816,53
ENERMAX	38.343,79	57.571,76	66.492,20	62.946,46	64.860,01	32.464,13	322.678,36
HIDROABANICO	125.825,12	84.714,60	24.627,57	28.489,54	70.104,24	92.034,12	425.795,19
SIBIMBE	100.665,22	99.659,27	104.903,37	77.194,94	96.097,79	106.823,34	585.343,93
LAFARGE	4.901,85	13.595,36	11.851,98	9.758,68	7.305,64	10.259,57	57.673,08
TERMOGUAYAS	940.315,44	792.629,30	902.867,81	895.416,03	707.720,98	739.484,76	4.978.434,32
ELECTROQUIL	2.297.738,14	1.572.856,68	2.214.925,85	1.376.433,20	856.734,97	693.666,24	9.012.355,09
GENEROCA	244.303,73	239.741,92	266.460,93	267.813,53	240.041,83	237.363,13	1.495.725,06
MACHALA POWER	1.364.858,20	1.246.068,00	1.368.154,15	1.274.723,48	1.228.945,12	1.064.129,69	7.546.878,64
INTERVISA	1.549.001,34	835.085,07	1.333.285,41	666.725,25	288.913,98	180.390,68	4.853.401,73
Total	6.685.365,56	4.957.634,50	6.310.597,06	4.677.728,66	3.593.138,02	3.192.638,13	29.417.101,92

Cuadro # 15, Fuente: EEQ, 2010, Compra a empresas generadoras privadas, en el 2010

C. Particulares	62.774.312,59	1,9
CR. ESTADO	2.416.571.174,59	72,1
CR. PRIVADOS	265.090.284,45	7,9
Mercado Ocasional	612.186.644,51	18,3
Excedentes	-4.361.872,51	-0,1
TOTAL COMPRA (KWh)	3.352.260.543,64	100,0%

Cuadro # 16, Fuente, EEQ. Resumen de compra de Energía en el 2009

La producción propia como se vio es de 591.000 MWh, que representa el 17% de la demanda local adquirida a generadores estatales, privados, particulares y el mercado ocasional.

3.2. Consumo de Energía Eléctrica

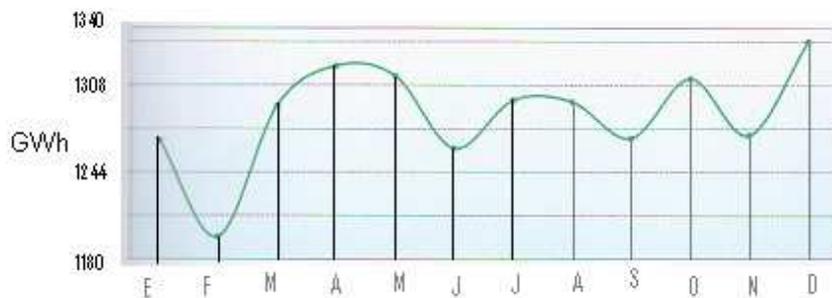


Fig. # 25. Fuente CENACE, Consumo Anual de energía, 2008

En el 2008, se presentan valles de baja demanda de energía, en los meses de Febrero, Julio, Septiembre y Noviembre. Obsérvese la gráfica del 2009 es algo parecida pero tiene un valle en Abril. De todas maneras, la oferta de energía es suficiente para cubrir meses de alta demanda. En el 2008 el mayor consumo se produjo en Diciembre. En el 2009 el consumo fue más o menos regular y alto todo el año, y el consumo en Diciembre fue más bien bajo [8].

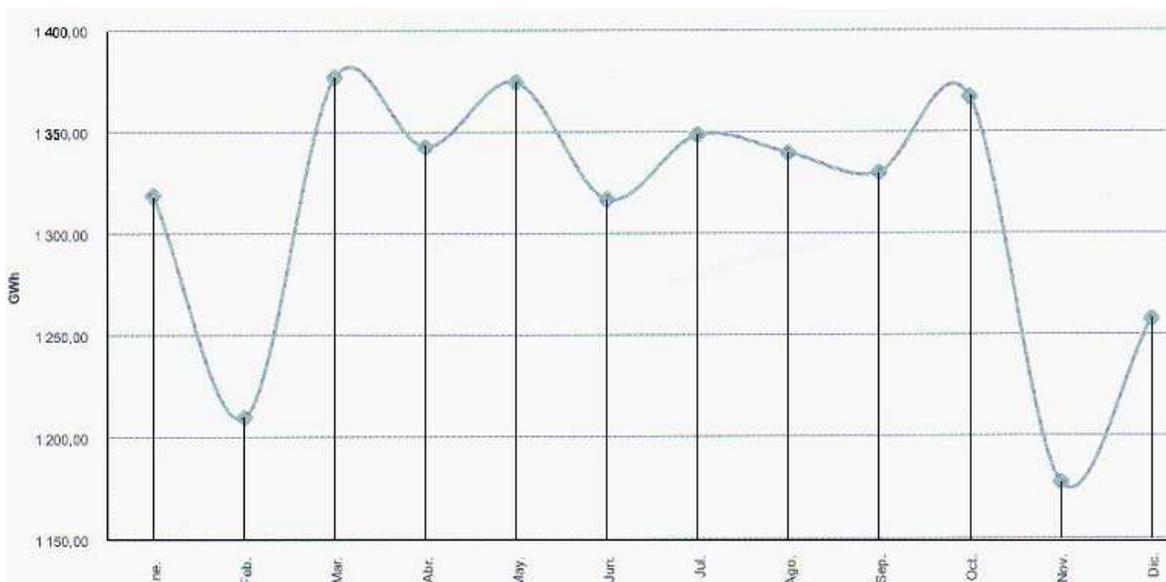


Fig. # 26. Fuente CENACE. Consumo Anual de energía, 2009

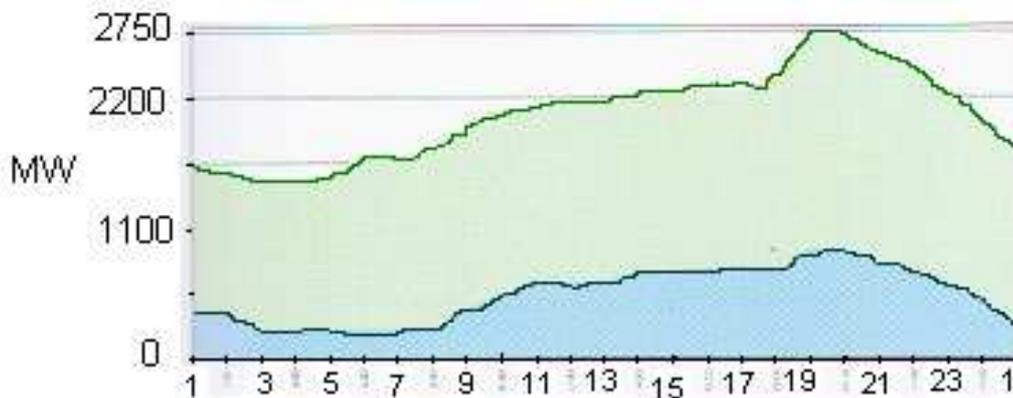


Fig. # 27. Fuente CENACE. Consumo diario de energía, 2008

El comportamiento diario del consumo de energía es parecido en el 2008 y en el 2009, en la fig. 27 la zona azul es energía producida por generadores térmicos, y la verde es hidroeléctrica. En la gráfica del 2009, la producción de energía es mas diversificada, la verde es térmica la celeste es hidráulica y la azul es la importación de Colombia. En el 2008 prácticamente no se importó energía de Colombia.



Fig. # 28. Fuente CENACE. Consumo diario de energía, 2009

A partir de las 20:00 hs la demanda de energía en la ciudad comienza a decaer hasta la madrugada, mas o menos las 5:00 hs. Se tiene prácticamente 8 horas para usar la energía para la carga del parque automotor eléctrico. Es decir los

usuarios de VE pueden cargar sus autos pasadas las 20:00 hs sin ningún inconveniente.

3.3. Demanda de Energía Eléctrica del parque automotor eléctrico

Tomando en cuenta que al 33% de la gente le gustaría adquirir un auto eléctrico, conociendo que el número de autos particulares en Quito es de 300.000 vehículos. Se tendría un mercado de 90.000 vehículos eléctricos.

En la medición realizada, ver pregunta 1, se obtuvo que el 80% de los propietarios de autos manejan a 60km/h, y según los resultados de la pregunta 2, los usuarios de vehículos no recorren mas de 20Km al día. Por lo que el tiempo de uso del automóvil es de 0,33 horas diarias. Como se demostrará en el capítulo 5, para satisfacer los parámetros de velocidad, distancia y por lo menos superar pendientes de 20 grados, la potencia media del auto eléctrico debe ser de 40HP conforme también a los resultados del capítulo 5, esto es unos 29828 Watts⁴.

Si se multiplica el tiempo diario de uso del VE, por su consumo de energía se tiene: Energía diaria del VE = 29828Watts * 0,33 h = 9843 Wh

Como existen 90000 vehículos que atender, se necesitaría una energía para todos ellos de: 9843 Wh* 90000 = 885870000Wh, diariamente, es decir 886 Mwh. Esta demanda puede ser cubierta por los nuevos proyectos hidroeléctricos y nuevas plantas de energía como es por ejemplo la Geotérmica (Ver 2.5)

Cada día el VE necesita 9843Wh, es decir 9,843Kwh. De acuerdo a lo establecido en el capítulo anterior, el costo en la Provincia de Pichincha del Kwh es de 7,83 centavos de dólar sin impuestos, por lo que el gasto diario del propietario del vehículo para movilizarse por lo menos 20 km a una velocidad de no más de 60 km/h será:

⁴ 1 KWatt = 1,341022 HP; 1 HP=0,7457 KWatt

$(0,0783 \text{ USD/Kwh}) * 9,843 \text{ Kwh} = 0,77 \text{ USD} + \text{Reserva para reposición de baterías}$, en el capítulo 5 se demuestra que ésta reposición es de 88 centavos de dólar diarios.

Como se vio en el primer capítulo, el 31 % de los propietarios de vehículos entrevistados afirma que el consumo semanal de combustible no es mayor que 10USD. Es decir que diariamente usando gasolina extra su gasto es de 2 USD en promedio, por tanto el uso del VE eléctrico le permitirá ahorrar 1,23 USD diarios. Esto es realmente significativo. Hay que tomar en cuenta que en el costo de la gasolina no está incluido el efecto nocivo que su combustión produce en el medio ambiente, lo cual haría que su precio sea mucho mayor que el valor actual.

Capítulo IV: Medios de almacenamiento y distribución de Energía Eléctrica para el parque automotor eléctrico en la Ciudad

En los autos eléctricos, está generalizado el uso de baterías como medio de almacenamiento de la energía, el principal limitante de las baterías es la relación energía almacenada vs peso conocida también como densidad de energía, a medida que evoluciona la tecnología el peso de las baterías disminuye y su capacidad de almacenamiento aumenta. Anteriormente se había determinado que al día se necesita usar una batería por lo menos 0,33 h para lograr una autonomía en el VE de por los menos 20 Km, todo esto de acuerdo a los resultados obtenidos de la medición. Este tiempo actualmente es superado fácilmente por las baterías actuales, tal como se presenta a continuación.

4.1 Introducción a las Baterías

Para todos es conocida la presencia en el mercado de varios tipos de pilas, baterías, acumuladores. Pero en realidad la diferencia entre los términos no es mayor, por ejemplo en el caso de la típica pila es frecuentemente desechable, luego de usada se la desecha esto provoca un alto grado de contaminación en el ambiente por su contenido alto de materiales pesados. Existen pilas secas y pilas alcalinas. Sin embargo para uso automotriz no se las usa, y en este capítulo se las cita solo como una referencia. Debido precisamente al alto impacto ambiental producido por la frecuente eliminación de las pilas se hizo necesario introducir dispositivos de almacenamiento que tengan la capacidad de reutilizar, este es el caso de las pilas recargables, conocidas como baterías o acumuladores, a continuación una breve definición encontrada en el internet sobre baterías.

La batería también conocida como acumulador eléctrico es un dispositivo que almacena energía eléctrica usando procesos electroquímicos y permite devolverla luego para ser usada [9].

Entre los distintos tipos de baterías o pilas recargables se tiene, de Níquel y Cadmio, baterías de ión litio, de polímero de litio, las plomo ácido, hidruro metálico, etc.

Las baterías de níquel y cadmio (carcinógeno) rápidamente fueron desplazadas por las baterías de ión litio, sin embargo en los autos con motores de combustión interna es generalizado el uso de baterías de plomo ácido con o libres de mantenimiento.

Debido a la inminente llegada de las tecnologías de VE y las ya existentes en el mercado de los vehículos híbridos, han aparecido un sinnúmero de soluciones tecnológicas que permiten almacenar energía para su uso posterior tal como expresa la definición.

Así por ejemplo, existen acumuladores de energía eléctrica basados en el consumo de un combustible que puede ser Hidrógeno, Alcohol o un hidrocarburo. En el caso de la pila de hidrógeno, este gas al combinarse con el oxígeno en lo que se denomina pila de combustible, produce electricidad la cual es utilizada en el VE. El resultado de la combinación de hidrógeno y Oxígeno es agua, siendo este acumulador energético uno de los más usados.

4.2. Análisis Físico-Químico del almacenamiento de la electricidad en Baterías.

4.2.1. Análisis Físico

La expresión 'cargar una batería' se debe interpretar como llenarla de energía, que es lo que realmente almacena.

La unidad práctica con que se mide indirectamente la carga de una batería es el amperio hora (Ah), que es una unidad de carga eléctrica equivalente a 3600 culombios.

Las baterías se caracterizan por su fuerza electromotriz y por su 'carga' o 'capacidad' en amperios-hora. Por ejemplo, muchas baterías de automóviles son de 12 voltios y 40 amperios hora.

Se puede decir en forma correcta expresiones como, que la capacidad de una batería es de 40 amperios hora o que la carga de una batería es de 40 amperios hora.

Los culombios de carga eléctrica a que equivalen los 40 amperios hora no se almacenan en el recipiente que es la batería, sino que, solo pasan por ella en un sentido al cargarse y en el opuesto al descargarse. [10]

4.2.1.1. Configuraciones básicas de baterías

Este punto es bien importante, porque permitirá realizar las configuraciones básicas de acuerdo a las necesidades del VE. Tomando en cuenta que las unidades básicas de baterías no superan el 1.2 V y la energía que almacenan por lo general es no mayor a 3 Wh. Según la disposición de las baterías existen dos configuraciones muy conocidas, en serie y en paralelo, a continuación las definiciones para cada caso, y en el Anexo 3 está unos ejemplos para las principales baterías existentes en el mercado, Ni_Cd, Ion-Li y Pb-Acido.

- **En Serie**

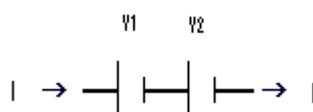


Fig. # 29. Configuración de baterías en serie

En esta configuración la corriente permanece constante, y el potencial nominal es la suma de los potenciales de cada unidad, es decir:

$$I = \text{constante}$$

$$V = V1 + V2$$

- **En Paralelo**

En la topología paralela las corrientes se suman y el voltaje nominal permanece constante.

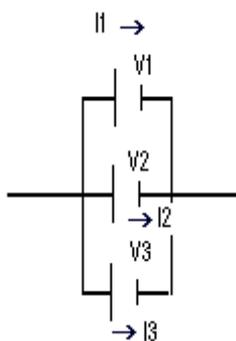


Fig. # 30. Configuración de baterías en paralelo

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$V = \text{constante}$$

Solo queda decir que la energía en cualquier configuración permanece invariable. Es decir ya sea que las baterías estén en serie o en paralelo la energía del sistema permanecerá constante, aunque varíe el potencial y la corriente nominal del sistema. Otra conclusión importante es que el costo de las baterías en el mercado está relacionado en forma directamente proporcional con la energía almacenada por las mismas, los resultados de la investigación se los puede ver en el Anexo # 04.

A continuación un ejemplo:

Se tiene dos baterías de voltaje 1,2 V nominal y carga nominal de 1 Ah, calcular la energía del sistema de baterías según las dos topologías estudiadas:

a) En serie

$$V = V_1 + V_2; V = 1,2 + 1,2 = 2,4 \text{ V}$$

$$I = 1 \text{ Ah}$$

$$\text{Energía Almacenada} = 2,4 \text{ V} \times 1 \text{ Ah} = 2,4 \text{ Wh}$$

b) En paralelo

$$V = 1,2 \text{ V constante}$$

$$I = I_1 + I_2; I = 1 + 1 = 2 \text{ Ah}$$

$$\text{Energía Almacenada} = 1,2 \text{ V} \times 2 \text{ Ah} = 2,4 \text{ Wh}$$

Para aplicaciones en VE es posible tener combinaciones de unidades básicas de baterías hasta de decenas de miles, ver anexo 3.

4.2.2. Análisis Químico [11]

Todas las pilas poseen un electrolito (puede ser líquido, sólido o en pasta), un electrodo positivo y un electrodo negativo. Al conectar los electrodos a una resistencia, se produce una corriente eléctrica.

A las pilas cuyo producto químico no puede volver a su forma original una vez que la energía ha sido consumida, se les llama pilas primarias o voltaicas. Las pilas en las que el producto químico puede ser reconstituido se llaman pilas secundarias o acumuladores.

La fuerza electromotriz de la pila, se calcula restando del potencial del ánodo el valor del potencial del cátodo.

$$E = \Delta E^- - \Delta E^+$$

F2

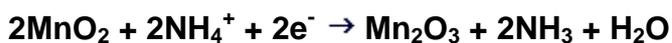
4.3. Pilas primarias

La pila primaria más común es la pila seca. La pila seca que se utiliza hoy es muy similar al invento original. El electrolito es una pasta consistente en una mezcla de cloruro de amonio y cloruro de cinc. El electrodo negativo es de cinc, igual que la parte exterior de la pila, y el electrodo positivo es una varilla de carbono rodeada por una mezcla de carbono y dióxido de manganeso. Esta pila produce una fuerza electromotriz de unos 1,5 V.

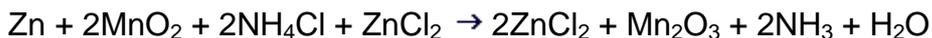
Ánodo:



Cátodo:



Reacción Global:



F3

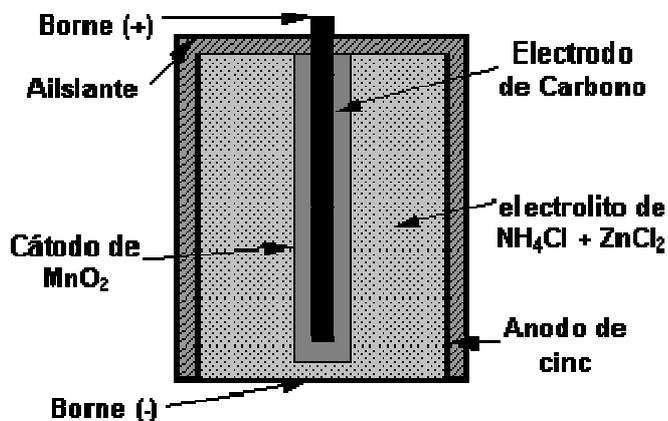


Fig. # 31. Corte de una pila seca

Otra pila primaria muy utilizada es la pila de cinc-óxido de mercurio, conocida normalmente como batería de mercurio. Puede tener forma de disco pequeño y se utiliza en audífonos, células fotoeléctricas, relojes de pulsera eléctricos, calculadoras, etc. El electrodo negativo es de cinc, el electrodo positivo de óxido de mercurio y el electrolito es una disolución de hidróxido de potasio. La batería de mercurio produce unos 1,34 V.

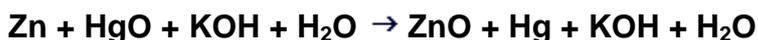
Ánodo:



Cátodo:



Reacción Global:



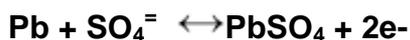
F4

4.4 Pilas secundarias

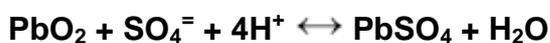
4.4.1 Acumulador de Plomo Acido: Esta batería que contiene de tres a seis pilas conectadas en serie, se usa en automóviles, camiones, aviones y otros

vehículos. Su ventaja principal es que puede producir una corriente eléctrica suficiente para arrancar un motor; sin embargo, se agota rápidamente. El electrolito es una disolución diluida de ácido sulfúrico, el electrodo negativo es de plomo y el electrodo positivo de dióxido de plomo. En funcionamiento, el electrodo negativo de plomo se disocia en electrones libres e iones positivos de plomo. Los electrones se mueven por el circuito eléctrico externo y los iones positivos de plomo reaccionan con los iones sulfato del electrolito para formar sulfato de plomo. Cuando los electrones vuelven a entrar en la pila por el electrodo positivo de dióxido de plomo, se produce otra reacción química. El dióxido de plomo reacciona con los iones hidrógeno del electrolito y con los electrones formando agua e iones plomo; estos últimos se liberarán en el electrolito produciendo nuevamente sulfato de plomo.

Ánodo:



Cátodo:



Reacción Global:



F5

En el acumulador se proporciona energía eléctrica desde una fuente exterior, que se almacena en forma de energía química. La reacción química de una pila secundaria es reversible, es decir, se produce en un sentido cuando se carga la pila, y en sentido opuesto cuando se descarga. Por ello, una pila secundaria puede descargarse una y otra vez.

Un acumulador de plomo y ácido se agota porque el ácido sulfúrico se transforma gradualmente en agua y en sulfato de plomo. Al recargar la pila, las reacciones químicas descritas anteriormente se revierten hasta que los productos químicos vuelven a su condición original. Produce unos 2 V por pila. Recientemente, se han desarrollado baterías de plomo para aplicaciones especiales con una vida útil de

50 a 70 años, con una tecnología innovadora denominada Absorbent Glass Mat (AGM), malla de fibra de vidrio absorbente. La malla absorbe el ácido de la batería, lo que hace posible un uso más eficiente del volumen de las celdas y triplicar la capacidad de arranque en frío de la batería, además de conferirle una extremada resistencia a las vibraciones. La batería está totalmente sellada, es completamente hermética y no necesita mantenimiento.

En Quito, se puede conseguir baterías de Pb secas sin mantenimiento, con cargas y corrientes variadas en la tabla # 28 un resumen de los precios de estas baterías.

Calculo de parámetros Eléctricos, Batería Ecuador NS40 FE de Pb-Acido:

Datos:

Voltaje Nominal: 12 V
 Carga Nominal: 45 Ah
 Precio de Batería: 82 USD
 Volumen de Batería: 5361 cm³
 Peso de Batería: 15.000 gr

Cálculos:

Energía = 12 V x 45 Ah; Energía = 540 Wh
 82 USD/ 540 Wh =0,15 USD/Wh
 5361 cm³ / 540 Wh=9,92 cm³/Wh
 15.000 gr / 540 Wh=27,8 gr/Wh

❖ En este tipo de batería 1Wh ocupa un volumen de 9,92 cm³, cuesta 0,15 USD, y pesa 27,8 gr

4.4.2 Pila Alcalina: O batería de níquel y hierro. El principio de funcionamiento es el mismo que en la pila de ácido y plomo, pero aquí el electrodo negativo es de hierro, el electrodo positivo de óxido de níquel y el electrolito es una disolución de hidróxido de potasio. La pila de níquel y hierro tiene la desventaja de desprender gas hidrógeno durante la carga. Esta batería se usa principalmente en la industria pesada. Tiene una vida útil de unos diez años y produce aproximadamente unos 1,15 V.

4.4.3 Baterías de Ion Litio

Las baterías de iones de litio (Li-ion) utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina (LiFePO_4) u óxido de manganeso. A continuación un resumen de los materiales usados para cátodos [12]:

Cátodos:

Material	Voltaje medio	Capacidad gravimétrica
LiCoO_2	3.7 V	140 mAh/g
LiMnO_2	4.0 V	100 mAh/g
LiFePO_4	3.3 V	170 mAh/g
$\text{Li}_2\text{FePO}_4\text{F}$	3.6 V	115 mAh/g

Cuadro # 17, Cátodos en baterías Ion-Li

Electrolitos:

LiPF_6 , LiBF_4 , LiClO_4

Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a altas densidades de capacidad. No admiten descargas, y sufren mucho cuando éstas suceden por lo que suelen llevar acoplada circuitería adicional para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva, como la descarga completa. Apenas sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas completamente, sin reducción de su vida útil. No admiten bien los cambios de temperatura.

Voltaje proporcionado:

- A Plena carga: Entre 4.2V y 4.3V dependiendo del fabricante
- A carga nominal: Entre 3.6V y 3.7V dependiendo del fabricante
- A baja carga: Entre 2,65V y 2,75V dependiendo del fabricante (este valor no es un límite, se recomienda).
- Densidad de energía: 115 Wh/Kg
- Capacidad usual: 1.5 a 2.8 Amperios (en pilas tipo AA)
- Efecto memoria: muy bajo

Son técnicamente las más apropiadas para el uso en VE, y las reservas del elemento químico Litio están ubicadas en un país vecino nuestro, Bolivia. A continuación una cita de un artículo del internet respecto al tema:

“De acuerdo con datos del Servicio Geológico de EEUU, el 31 de diciembre de 2008 las reservas mundiales de contenido metálico de litio alcanzan los 11,4 millones de toneladas métricas, de las cuales el 47,26% se encuentra en el Salar de Uyuni, en Bolivia; el 26,25% en Chile y el resto se reparte entre China (9,63%), Brasil (7,96%), EEUU (3,59%), Canadá (3,15%), Australia (1,93%) y Zimbabwe (0,24%). La demanda mundial de carbonato de litio equivalente en 2008, según información proporcionada por la Sociedad Química de Minerales (SQM) de Chile, fue de aproximadamente 115.000 toneladas métricas (TM), que corresponden a 22.000 TM de contenido metálico de litio. La SQM señala que la demanda habría experimentado un crecimiento de entre el 5 y el 7% anual entre 2004 y 2008 y, durante ese mismo lapso, la demanda de litio para baterías habría aumentado entre el 20 y el 22% cada año.” [13]

Debido a que el Litio es un elemento químico liviano, esto lo hace súper atractivo para la construcción de baterías, así en el gráfico siguiente [14] se ve la relación peso carga específica, comparada con otro tipo de acumuladores, por ejemplo plomo o níquel y cadmio.

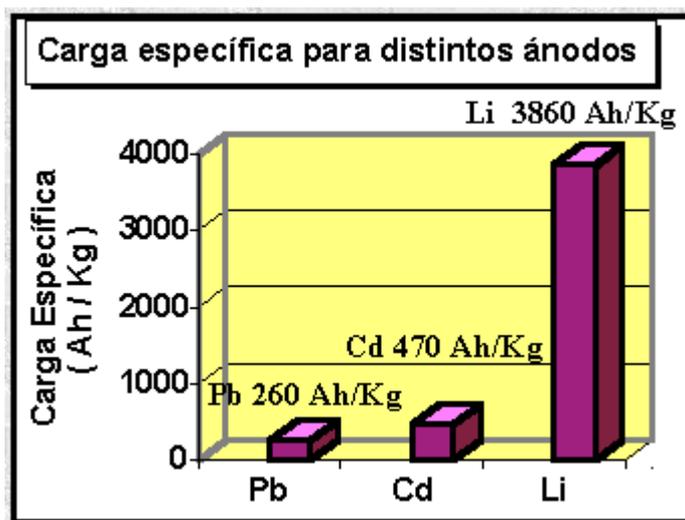


Fig. # 32. Carga específica para distintos tipos de ánodos.

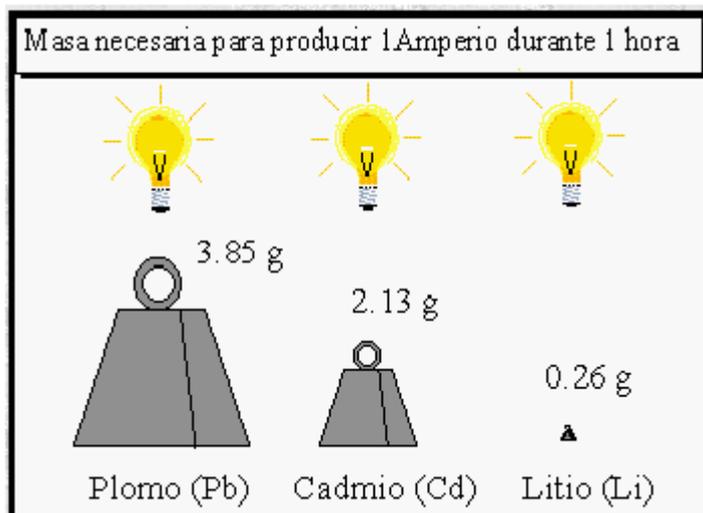


Fig. # 33. La masa necesaria en cada batería para almacenar la misma carga

En conclusión, el uso de litio en acumuladores tiene buen futuro que se espera se desarrolle lo más rápido posible con la incorporación de nanotecnología, tal como se expresa en la cita siguiente

“En un avance que podría hacer que los vehículos eléctricos recorriesen mayores distancias entre recargas, un equipo de investigadores ha mostrado unos electrodos de nanotubos de silicio capaces de almacenar 10 veces más carga que los electrodos de grafito convencionales que usan las baterías de litio-ion.” [15]

Además que este tipo de baterías con un adecuado proceso de reciclaje no significa un peligro para el medio ambiente. Si se desecha sin control, el litio se lixivía fácilmente por ser elemento liviano, su ingesta puede producir daños en el riñón, o cambios en el sistema nervioso. Las sales de litio sirven para tratar algunas enfermedades. [16]



Fig. # 34, BATERIA ION-LITIO

Calculo de parámetros Eléctricos:

Datos:

Voltaje Nominal: 3,6 V
 Carga Nominal: 780 mAh
 Precio de Batería: 21,9 USD
 Volumen de Batería: 5,63 cm³
 Peso de Batería: 8 gr

Cálculos:

Energía = 3,6 V x 0,78 Ah; Energía = 2,8 Wh
 21,9 USD/ 2,8Wh =7,8 USD/Wh
 5,63cm³/2,8Wh=2 cm³/Wh
 8 gr/2,8Wh=2,9 gr/Wh

- ❖ En este tipo de batería 1Wh ocupa un volumen de 2 cm³, cuesta 7,8 USD, y pesa 2,9gr

4.4.4. Baterías de Hidruro Metálico

“Al cargar estas baterías se realiza electrólisis de agua que da como resultado hidrogeno y oxigeno. El hidrogeno se almacena en forma de un hidruro metálico, mientras que el oxigeno se combina con hidroxidos de níquel. En el proceso de descarga los hidruros metálicos devuelven el hidrogeno almacenado que se combina con parte del oxigeno del hidróxido para de nuevo formar agua. Como electrolito se emplea una disolución de hidróxido potásico en agua.

El material en que se almacena el hidrogeno es un compuesto intermetalico de formula aproximada LaNi₅, es un compuesto intermetalico que tiene la particularidad de absorber hidrogeno cuando aumenta su presión y de devolverlo cuando esta baja. Parece ser que el hidrogeno se almacena en los huecos de la red cristalina de este compuesto de manera similar a como lo hace el paladio. Hay mas aleaciones de este tipo que se emplean precisamente para almacenar hidrogeno. Este sistema de almacenamiento resulta mucho más conveniente que almacenar hidrogeno comprimido en botellas o licuado a baja temperatura. “[17]

PACK BATERIA LRP 7,2 Volts - 3300 mA NimH (6XSC)

Voltaje nominal 7.2 V.
 Amperaje : 3300 mAh
 Precio: 40 USD



Fig. # 35, Batería de Hidruro Metálico

Para una lista detallada de características y precios de pilas de hidruro metálico, se puede remitir a la página web de la referencia [18]

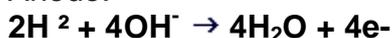
- ❖ En este tipo de batería para almacenar 1 Wh se ocupa un volumen de 7 cm³, 1Wh cuesta 1,7 USD, 1 Wh pesa 12, 5gr

4.4.5 Pilas de Combustible

Mecanismo electroquímico en el cual la energía de una reacción química se convierte directamente en electricidad. Una pila de combustible no se acaba ni necesita ser recargada; funciona mientras el combustible y el oxidante le sean suministrados desde fuera de la pila.

Una pila de combustible consiste en un ánodo en el que se inyecta el combustible (comúnmente hidrógeno, amoníaco o hidracina) y un cátodo en el que se introduce un oxidante (normalmente aire u oxígeno). Los dos electrodos de una pila de combustible están separados por un electrolito iónico conductor. En el caso de una pila de combustible de hidrógeno-oxígeno con un electrolito de hidróxido de metal alcalino, la reacción es:

Ánodo:



Cátodo:



F6

Los electrones generados en el ánodo se mueven por un circuito externo que contiene la carga y pasan al cátodo. Los iones OH⁻ generados en el cátodo son conducidos por el electrolito al ánodo, donde se combinan con el hidrógeno y forman agua. El voltaje de la pila de combustible en este caso es de unos 1,2 V pero disminuye conforme aumenta la carga. El agua producida en el ánodo debe ser extraída continuamente para evitar que inunde la pila. Las pilas de combustible de hidrógeno-oxígeno que utilizan membranas de intercambio iónico o electrólitos de ácido fosfórico fueron utilizadas en los programas espaciales *Gemini* y *Apolo* respectivamente. Las de ácido fosfórico tienen un uso limitado en las instalaciones eléctricas generadoras de energía.

“Una **pila de combustible**, también llamada **célula o celda de combustible** es un dispositivo electroquímico de conversión de energía similar a una batería, pero se diferencia de esta última en que está diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos; es decir, produce electricidad de una fuente externa de combustible y de oxígeno en contraposición a la capacidad limitada de almacenamiento de energía que posee una batería. Además, los electrodos en una batería reaccionan y cambian según cómo esté de cargada o descargada; en cambio, en una celda de combustible los electrodos son catalíticos y relativamente estables. Los reactivos típicos utilizados en una celda de combustible son hidrógeno en el lado del ánodo y oxígeno en el lado del cátodo (si se trata de una celda de hidrógeno). “[19]



Fig. # 36, Pila de Combustible

Existe 2 tipos de pilas de combustible: De baja y media entalpia (menos de 200C) y alta y se caracterizan por el electrolito que usan [20]. El uso de pilas de combustible es una solución interesante para el auto eléctrico, en este tipo de solución el auto obligadamente debe tener un depósito de hidrógeno, el cual debe ser llenado en alguna estación de servicio. Para esta alternativa se necesita estaciones de servicio con surtidores de Hidrógeno, cada estación de servicio debe tener una planta que transforme agua en hidrógeno mediante electricidad, que llegaría a la estación mediante la red normal. De esta forma el control y manipulación del hidrógeno estaría en manos del distribuidor, esto garantizaría la seguridad en el manejo del gas hidrógeno que como se sabe es altamente inflamable. No se descarta la posibilidad de que en cada hogar exista un dispensador de hidrógeno, sin embargo se corren muchos riesgos. Como ven la solución basada en pilas de combustible está un poco más lejana de alcanzar, comparada con las baterías.

- ❖ Una célula de combustible convierte normalmente la energía química de combustible en electricidad con un rendimiento aproximadamente del 50%. [21]. Como no usa el ciclo de Carnot el rendimiento es mayor, y viene dado por:

$$\eta = \frac{\Delta G^\circ}{\Delta H^\circ} \quad \text{F7}$$

- ❖ En la pila de combustible para almacenar 1 Wh se ocupa un volumen de 39,3cm³, 1Wh cuesta 170 USD, 1 Wh pesa 18gr

4.4.6. Baterías de NiCd

Otra pila alcalina similar, es la pila de níquel y cadmio o batería de cadmio, en la que el electrodo de hierro se sustituye por uno de cadmio. Produce también 1,35 V y su vida útil es de unos 25 años. La batería está formada por unos electrodos de hidróxido de níquel y de hidróxido de cadmio separados entre si por una lámina porosa [22]. El electrolito es hidróxido de potasio. La reacción química es:

Ánodo.



Cátodo:



Reacción Global



En nuestro país está generalizada la venta de este tipo de batería, aun cuando se conoce que uno de los materiales pesados que la conforman es altamente cancerígeno. Su precio es altamente competitivo y se la encuentra a la venta en cualquier parte, su procedencia es China.



Fig. # 37, Arreglo de batería de NiCd

Calculo de parámetros Eléctricos:

Datos:

Voltaje Nominal: 1,2 V

Carga Nominal: 800 mAh

Precio de Batería: 1,5 USD

Volumen de Batería: 7,2 cm³

Peso de Batería: 20 gr

Cálculos:

Energía = 1,2V x 0,8 Ah; Energía = 0,96Wh

1,5 USD/ 0,96 Wh =1,56 USD/Wh

7,2 cm³/0,96 Wh=7,5 cm³/Wh

20 gr/0,96Wh=20,8 gr/Wh

- ❖ En este tipo de batería 1Wh ocupa un volumen de 7,5 cm³, cuesta 1,56 USD, y pesa 20,8 gr

4.4.7 Red doméstica de energía eléctrica

La red doméstica proporciona energía eléctrica a un voltaje de 110 voltios nominal y a una frecuencia de 60 Hz, también existe el suministro industrial en la red con voltaje de 220 V. En el caso de Quito, la energía es suministrada por una empresa municipal, llamada Empresa Eléctrica Quito (EEQ), que es la empresa encargada de la distribución en la ciudad, ver capítulo 3. Esta energía eléctrica puede ser usada para recargar las baterías, usando unidades rectificadoras.

4.5. Síntesis de baterías eléctricas

El almacenamiento de energía eléctrica en las baterías está directamente relacionado con el peso de las mismas. La evolución tecnológica de las baterías ha permitido reducir considerablemente el peso, este es el factor clave en el desarrollo de autos eléctricos. Con el apareamiento de las baterías de Ion-Litio, la

relación energía almacenada y el peso de la batería es cada día mayor. A continuación se presenta una tabla en donde se compara las distintas baterías existentes en el mercado, tomando en cuenta la capacidad de carga y el peso.

Tipo de Batería	Densidad de Energía(gr/Wh)	Volumen(cm ³ /wh)	Precio
Ion Litio	2,9	2	7,8
Níquel Cd	20	7,5	1,56
Plomo-Acido	27,8	9,9	0,15
Hidruro Metálico	12,5	7	1,7
Pila de Combustible	18	39,3	170

Cuadro # 18: Fuente Autor, 2010: Densidad, volumen y precio de las Baterías

Dentro del mercado local hay algunas marcas comerciales de baterías, a continuación se presenta un resumen de los costos y pesos de 2 tipos de baterías usadas mayoritariamente en la ciudad de Quito:

Ah	Voltaje (V)	Precio, USD	Peso (Kg)
40	12	61	6
45	12	72	6
45	12	78	12
60	12	88	8
60	12	96	8
70	12	97	8
80	12	114	8
80	12	110	8

Cuadro # 19: Fuente Autor, 2010: Precio, Peso y Energía de baterías BOSCH

Ah	Voltaje (V)	Precio, USD	Peso (Kg)
40	12	57	6
48	12	67	8
55	12	81	6
60	12	83	8
75	12	91	8
80	12	100	10
85	12	105	10

Cuadro # 20: Fuente Autor, 2010: Precio, Peso y Energía de baterías ECUADOR

- ❖ El peso de la batería de Ion litio es aproximadamente la tercera parte de una batería de plomo ácido, lo que hace totalmente factible el funcionamiento del VE. Para satisfacer la necesidad de los usuarios de Quito, tomando en cuenta que su demanda es 9,843 KWh, el peso de las baterías de ion-litio sería 85,6 Kg.
- ❖ El peso en baterías de plomo para mover un auto que consume 9,843 KWh sería 283,5Kg, por tanto el avance en la tecnología de baterías de Ion Litio hace totalmente factible el uso de VE. [23]
- ❖ 8 USD cuesta el Wh de Ion litio. Por tanto una batería de 9, 843 KWh costará: 78744USD. Para nuestro mercado el precio es astronómicamente alto.
- ❖ El desarrollo de nuevos medios de almacenamiento de energía eléctrica, como las pilas de Ion-litio, o las de hidruro metálico, hacen que sea factible la conversión de los autos con propulsores OTTO actuales a vehículos con propulsor eléctrico. El peso de las baterías ya no es problema.

4.6. Impacto ambiental de las baterías

La forma correcta de minimizar el impacto sobre el medio ambiente de las baterías, es lograr un adecuado proceso de reciclaje. Las pilas recargables se desechan menos que las pilas secas que casi están en desuso. Las baterías que tienen aplicación automotriz son las de plomo ácido (Pb), las de Ion-Litio, Hidruro metálico, Niquel-Cadmio, pilas de Hidrógeno. De todas ellas las que mayor impacto causan en el medioambiente son las de Plomo y las que contienen Cadmio, elementos pesados considerados cancerígenos. En la referencia [16] se presenta un artículo respecto a los daños que producen los distintos materiales que forman parte de las baterías.

Capítulo V: Análisis de factibilidad técnica para la propulsión eléctrica de autos

Como referencia y para aclarar conceptos es bueno indicar que los autos híbridos son aquellos que usan por lo menos dos tipos de motores, la combinación de un motor eléctrico y uno de combustión interna ya sea como propulsor o usado como generador. Así, los autos eléctricos con generador (una planta eléctrica con combustible) a bordo se los conoce como autos híbridos en serie. Los autos que combinan un motor eléctrico como propulsor y un motor de combustión interna también como propulsor según las circunstancias en la conducción se los conocen como autos híbridos en paralelo, y aquí se cita solo para aclarar conceptos.

5.1. Vehículo Eléctrico (VE)

Definición.- Es un artefacto que permite transportar personas o carga, y usa como propulsor un motor eléctrico en lugar del motor de combustión interna. La energía necesaria para mover el motor eléctrico la proporciona una batería o acumulador como las descritas en el anterior capítulo. El presente trabajo de Investigación se orienta al estudio de factibilidad técnica y ambiental del uso de este tipo de auto. El vehículo eléctrico fue inventado hace mas de 100 años por Robert Anderson⁵, sin embargo hasta la presente fecha no es masivo su uso, las razones son varias, es interesante ver un video en el youtube que describe en detalle lo que ya se ha vuelto polémico, el tema de porque el VE si fue inventado hace mas de 100 años, hasta el momento no logra salir al mercado, “Quién mató al auto eléctrico”, se lo puede ver entrando a link referido en la referencia [33].

5.2. Motores Eléctricos para los VE

En este capítulo se hará una rápida descripción de los motores eléctricos, sin mayor profundidad, pues no es el propósito de este trabajo de investigación. Existen algunas clasificaciones de motores eléctricos, la que es mas conocida se

⁵ Ver en Wikipedia, 1832

basa en el tipo de corriente eléctrica que lo alimenta, así existen 2 tipos de motores: de corriente directa (DC) y de corriente alterna (AC).

El funcionamiento de un motor eléctrico se basa en la repulsión magnética producida por los polos de igual signo. La mayor parte de motores eléctricos tienen tres partes fundamentales: rotor, estator, y escobillas, ver la foto abajo. Debido a que el sistema de escobillas produce desgaste, el sistema ha sido cambiado por un controlador electrónico, que hace las veces de escobillas pero electrónicamente.



Fig. # 38, Motor eléctrico para VE

El rotor está conformado por varias bobinas que adquieren un campo magnético según la posición relativa de las escobillas, que son las que transmiten la electricidad a las bobinas del rotor para su magnetización. Esta magnetización está sincronizada de tal manera que siempre las bobinas del rotor están en repulsión con las bobinas del estator. La fuerza de repulsión viene descrita por la ley de Faraday y por la ley de Lorentz.

$$F = \frac{\mu q_{m1} q_{m2}}{4\pi r^2} \quad \text{F9}$$

Donde:

F es fuerza (SI unidad: newton)

q_{m1} y q_{m2} son las magnitudes de los polos magnéticos (SI unidad: ampere-meter)

μ es la [permeability](#) del medio (SI unidad: [tesla metro](#) por [ampere](#), Henry por metro newton por ampere cuadrado)

r es la separación (SI unida: metro).

El estator por lo general tiene dos bobinas, que están siempre magnetizadas como un Norte y un Sur respectivamente. La electrónica hoy está muy avanzada y existen tarjetas para controlar la velocidad del motor, sin pérdida de torque, en la siguiente foto se muestra una tarjeta de control con capacidad para 5 velocidades diferentes, para un motor eléctrico AC:

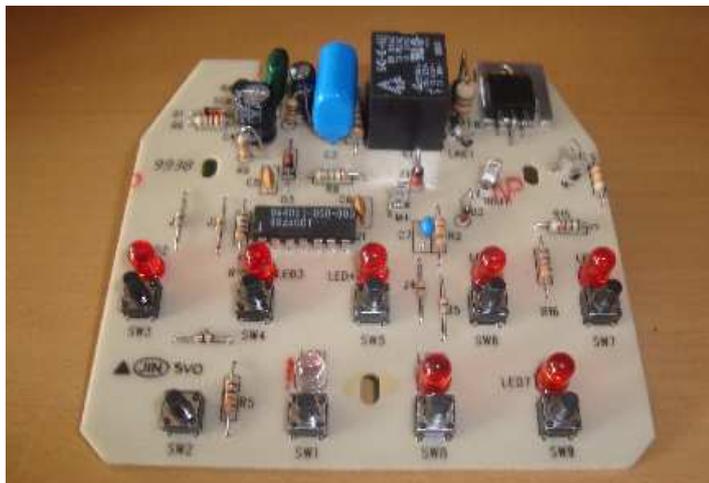


Fig. # 39, Tarjeta controladora de velocidad

5.2.1. Motor DC

Estos motores tienen una gran capacidad para regular la velocidad de rotación sin perder velocidad ni torque, este un factor importante en la propulsión de VE. En algunos motores DC el estator está constituido por varios imanes permanentes, o pueden estar activados por corriente eléctrica, con el consiguiente aumento en el consumo. Cuando Los devanados del estator no son imanes permanentes, las bobinas se alimentan de diferentes formas:

- En derivación: El estator se alimenta con igual tensión que el inducido.
- Independiente: El estator se alimenta con corriente independiente
- Serie: El estator se alimenta con la misma corriente que el inducido.
- Compuesto: Es una combinación de las anteriores

La ventaja de los motores de DC como se dijo es su capacidad para cambiar de velocidad sin disminuir el torque, al ser usados en VE no tienen dificultad de funcionar pues la fuente de energía son baterías que proporcionan una corriente directa constante.

5.2.2. Motor AC

Los motores eléctricos AC son muy usados en la industria, y necesitan variadores de frecuencia para el control de la velocidad, como en la tecnología de VE la fuente de energía son baterías de corriente directa, podrían usarse eventualmente estos motores pero con inversores y la electrónica de control necesaria. Existen 2 tipos de de motores AC, los asíncronos y los síncronos.

- Motores AC Asíncronos

En este tipo de motor el rotor gira a una velocidad menor que el campo magnético. Estos motores basan su funcionamiento en la creación de un campo magnético giratorio en el entrehierro, debido a la circulación de corriente alterna por los devanados trifásicos y la influencia de los polos magnéticos del estator. La velocidad de giro del campo magnético viene dada por la siguiente ecuación [32]:

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad \text{F10}$$

Donde p es el número de devanados del estator y f es la frecuencia del motor. Como se ve existe una relación inversa entre el número de polos y la velocidad, esto es útil a la hora de obtener mayores torques. La potencia del motor puede ser calculada si se conoce la frecuencia y el torque requerido:

$$P = T \times V / 7,124 \quad \text{F11}$$

T es el torque en Nm, V es la velocidad en rpm

- Motores AC Síncronos

El campo magnético gira a igual velocidad que el rotor. Son usados en aplicaciones especiales de la industria, en donde se necesita velocidades bajas y

alta potencia. La mayor ventaja de estos motores es que su factor de potencia puede ser igual a uno.

5.2.3. Torque y Potencia de un ME

El torque de un ME se lo mide en un dinamómetro, y es un parámetro que viene descrito en las especificaciones técnicas de un motor, siendo físicamente el producto de la fuerza por la distancia en donde se aplica. Si se multiplica el torque por la velocidad angular del motor, se puede calcular la potencia del ME.

$$\text{Potencia} = \text{TORQUE} \times \omega \qquad \text{F12}$$

Unidades:

Potencia en Watts, Torque en Nm, ω en 1/s

Ejemplo:

Un servo motor tiene un torque de 6 Nm, a su máxima velocidad de rotación de 2500 rpm. Verificar si la potencia del motor es la que se especifica, 1.5Kw?.

Solución:

Aplicando la fórmula se tiene, $\text{Potencia} = 6 \times 2 \times 3,1416 \times 2500 / 60 = 1570.8$
 $W = 1,57 \text{ Kw}$.

5.2.4. Costos de motores eléctricos para VE

Existe una gran oferta en el mundo de motores eléctricos, sobre todo de procedencia China. Los modelos de motores para VE son como los que se muestran en la Fig. # 38.

A continuación se presenta una tabla con los precios de varios motores eléctricos, proporcionada por un fabricante [40]:

Modelo	Peso (Kg)	Precio(USD)	Voltaje(V)	Potencia(HP)	Diámetro(cm)	Longitud(cm)
FB1-4001	65	2530	72-144	17-28	23	40
FB1-4001a	65	2550	72-144	17-28	23	40
203-06-4001	49	2226	72-120	16-22	20	37
203-06-4001A	49	2247	72-120	16-22	20	37
X91-4001	37	1518	72-144	10-12	17	39
L91-4003	37	1518	72-120	12-16	17	39
K91-4003	25	1113	48-96	8-10	17	29
A00-4009	25	1012	36-48	4-6	17	26

Cuadro # 21: Elaboración Autor, Precios de ME para VE, Fuente EVM

5.3. Estado actual de la tecnología

Un motor Otto tiene muchas partes móviles, un auto con motor Otto tiene mucho más, puede ser entre 2000 y 10000 partes, dependiendo de que tan sofisticado es el auto, mirar la Fig. # 57:



Fig. # 40, Partes de un Auto Actual con motor Otto

El motor al tener muchas partes móviles tiene más desgaste lo cual lo hace ineficiente en su funcionamiento, además necesita fluidos para su accionar, fluidos que a medida que el motor funciona necesitan periódicamente ser cambiados, se hace referencia a: aceites, aditivos, refrigerantes, grasas, etc.

En el caso del motor Otto, existe desgaste en bandas, guías de válvulas, pistones, rines de pistones, bielas, chaquetas, etc., las cuales tienen que ser cambiadas en el momento de la reparación. Todos estos gastos periódicos hacen que el motor Otto no sea un motor limpio y amigable con el medio ambiente.

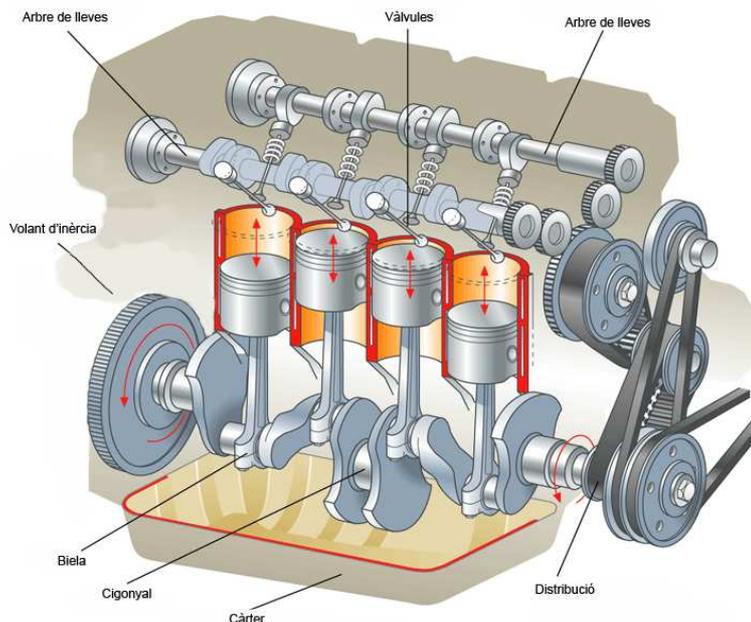


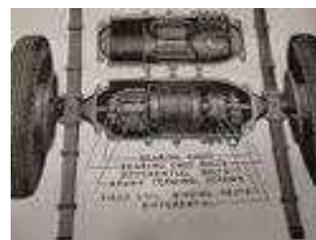
Fig. # 41, Motor Otto

El motor alternativo eléctrico es un candidato fuerte para reemplazarlo, debido principalmente a que no tiene muchas partes móviles, en realidad solo tiene una parte móvil, el rotor.

Las siguientes fotos son de ME en un VE y se copiaron de una página web, ver referencia [33], en si el ME no es diferente a un ME convencional, lo que si cambia es la electrónica de control.



a) Motor Eléctrico



b) ME en VE

Fig. # 42

Con los antecedentes expuestos se considera que el mantenimiento del motor eléctrico es mínimo, gracias a los avances en rodamientos incluso puede ser que sea libre de mantenimiento. El negocio de los empresarios que producen partes y piezas para el automóvil con motor Otto sin duda sufrirá un duro golpe, tal vez esta sea la razón de la lentitud al cambio, pero el cambio es necesario puesto que

el medio ambiente así lo necesita. Debe primar los intereses del ambiente del planeta sobre los intereses económicos de los empresarios, aquí se incluye a los empresarios petroleros que son los que mas se oponen a las nuevas tecnologías eléctricas, hay que indicar que la política de producir electricidad para los VE con petróleo tampoco es buena para el medio ambiente, como se explicó en este trabajo la idea es usar energía primarias como la solar, la hidráulica, la geotérmica, mareomotriz, etc.

Los vehículos eléctricos son más livianos que los híbridos, puesto que solo tienen el motor eléctrico, a diferencia de los híbridos que tienen ambos tipos de motores.

La complejidad de un motor de combustión interna, es reemplazada por la sencillez de un motor eléctrico. Siendo este un factor que disminuye los costos en el momento del mantenimiento.

5.3.1 Oferta mundial de Vehículos Eléctricos

En los actuales momentos existe una oferta grande y variada de VE en el mundo, sin embargo es importante destacar, que existe circulando en las calles de la ciudad de Quito, el primer VE construido y desarrollado localmente.

A continuación se presenta los distintos autos eléctricos que las marcas de autos mas prestigiosas del mundo ofrecen en este momento o están por lanzar al mercado. Respecto a la lentitud que parecen tener las marcas al cambio de combustibles fósiles por energía eléctrica se explica, considerando la enorme inversión que tienen en las industrias de motores Otto, suministros y Petroleras.

VE Ecuatoriano, VS 451



Fig. # 43, VE Ecuatoriano

El inventor del VE mostrado en la foto es Víctor Silva, técnico ecuatoriano, según menciona el inventor, la autonomía del VE es de 60 Km, independientemente de la topografía, el motor que usa este vehículo es un motor de corriente directa DC de apenas 2 HP recuperado de la chatarra. El peso del Auto es de 250 Kg, el poco peso se debe al material de su carrocería, que está construida en fibra de vidrio. Las batería que usa este auto es la clásica de Plomo, de capacidad de carga de 115 Ah, y 12 V, y unos 70 Kg de peso.

Para lograr un óptimo rendimiento y combinar las prestaciones de un motor de 2 Hp y la oferta energética de la batería, se ha tenido que hacer una transformación a la caja de cambios, la cual posee apenas dos cambios, la primera posición hacia adelante y la otra para reversa, la velocidad es controlada electrónicamente. En el resto de partes mecánicas no hay variaciones: frenos, suspensión, iluminación, y dirección.

La capacidad de este auto es de dos plazas, mas o menos unos 150 Kg, que sumados al peso del vehículo no supera en total los 400 Kg. El éxito de este auto está relacionado con el uso de un material extremadamente liviano para la carrocería. Estos datos se lograron gracias a la entrevista que se hizo al constructor ecuatoriano. Se hace urgente por tanto aprovechar esta oportunidad y ventaja competitiva para desarrollar la industria automotriz del Ecuador, con una marca propia.

BMW

La prestigiosa marca Alemana tiene en mente varias versiones de su prototipo eléctrico, el modelo Isetta eléctrico, o el mini E.



Fig. # 44, VE BMW Isetta

Tal parece que el Isetta eléctrico estará dirigido al mercado norteamericano para el año 2012, cumpliendo con las regulaciones anti emisiones que se esperan en dicho país en los próximos años. La ley exigirá que la autonomía llegue a los 320 kms, siendo la energía eléctrica la única alternativa que la gente de BMW ve más inmediata y viable para una drástica baja de las emisiones.



Fig. # 45, VE BMW Mini E

El peso del auto es 1465 Kg, 4 plazas, 2 puertas, motor eléctrico de 204HP, batería de 35Kwh de Ion-Li, peso de la batería es de 260Kg, autonomía 240 Km, rendimiento 0.12 Kwh/Km. La velocidad máxima del vehículo es 150 Km/h [24].

No deja de llamar la atención la lentitud con que se mueven los “grandes” en el desarrollo de motores con combustibles alternativos [25].

CHEVROLET

General Motors ha presentado en el salón del automóvil de Detroit un auténtico **coche eléctrico** que se suma a las líneas de coches híbridos y de hidrógeno [26].



Fig. # 46, VE Chevrolet

Es un sedan de 5 puertas, 64 kilómetros de autonomía con las baterías cargadas. No es mucho, pero según dicen sus creadores, es más de lo que recorre el 50%

de los norteamericanos para ir cada día al trabajo. Velocidad máxima 160 Km/h, la batería es de Ion Litio de 16 Kwh, cuenta con un motor eléctrico de 150 Hp.

FORD

Esta marca tiene en el Focus BEV su versión eléctrica, las siglas corresponden a “vehículo de batería eléctrica”, es un prototipo de coche eléctrico y se pretende que sea el primer europeo del óvalo con este sistema de propulsión. Tiene batería ión-litio de 23 kWh de capacidad, se recarga en casa en seis a ocho horas y proporciona 120 km de autonomía.

El motor eléctrico de imanes permanentes proporciona 136 HP y es capaz de poner el coche a 136 km/h. [27]



Fig. # 47, VE Ford

HONDA



Fig. # 48, VE Honda

Este sedán es de 5 puertas tiene 4 asientos, con un motor eléctrico alimentado por una pila de combustible de Hidrógeno pesa 1791 Kg. La potencia de salida de la pila de combustible es de 100 Kw, cuenta también con una batería de Ion-Litio. El motor eléctrico es de 100 Kw. El rendimiento es de 90 Km por kilogramo de Hidrógeno. [28]

VOLKSWAGEN

Esta marca presenta su modelo de VE denominado E-up Concept, que se espera será introducido en el mercado en el 2013. El VE mide 3.019 m de largo, 1.64m de ancho, 1.47 m de altura y pesa 1085 kilos. Este auto es de 4 plazas. Este VE tiene un motor eléctrico que puede desarrollar una potencia máxima de 60 HP y un torque de 210Nm. La tracción es delantera y acelera de 0 a 100km/h en 11.3 seg. Su velocidad final puede llegar hasta 135 km/h.



Fig. # 49, VE VW

La batería usada en el VE de Volkswagen es de Ion-Litio y pesa 240Kg y está ubicada debajo del auto. La energía que puede almacenar esta batería es de 18Kwh, con una autonomía de 130Km. Con la instrumentación adecuada la batería puede cargarse en un 80% en menos de una hora, si se usa un enchufe doméstico el tiempo puede ser de 5 horas. [29]

TATA ACE

El pick up es fabricado por el fabricante Indú Tata, y tiene las siguientes características técnicas: Potencia 7 Hp, velocidad máxima 40 Km/h, autonomía, 50 Km, y capacidad de carga de 700 Kg. El peso del móvil sin carga es 800 Kg.



Fig. # 50, VE camión de TATA

Tiene 2 puertas y capacidad para dos plazas, este auto está provisto de batería de Pb ácido de 85 Ah y voltaje nominal de 80 V, o lo que es lo mismo 6.8 Kwh. El precio estimado para la venta en Europa es de 17.000 Euros. [30]

BEEPO PONY EV

Sobre la base del conocido cuadríciclo se ha desarrollado esta versión eléctrica. Tiene un motor eléctrico AC de potencia de 12 CV con una entrada de 72 V, su precio es de 17.104 €. Alcanza los 65 km/h y una autonomía de hasta 80 km.



Fig. # 51, furgón Chino

El peso del camión es 1000 Kg, siendo su capacidad de carga 500Kg, al igual que el tata, usa una batería de Pb ácido de 260 Ah. [31]

CHANA BENNI BEV

Fabricado por Micro Auto VSP, filial de una empresa Francesa y radicada en España. [26]



Fig. # 52, VE cuadríciclo Europeo

Este automóvil tiene 20 CV de potencia, alcanza los 80 km/h, con una autonomía de 120 km. La capacidad de carga es de 120Kg, el peso del auto vacío pero con baterías es de 1400 Kg. Las baterías son Pb ácido libres de mantenimiento carga nominal 126 Ah, voltaje nominal 72 V, el precio es de 12.200 €.

FAAM ECOMILE

Camión fabricado por la empresa española Comercial L. Lebrero, s.a. en Barcelona. [26]



Fig. # 53, VE fabricado en España

Con una potencia de 42 CV, tiene una autonomía de 100 km y alcanza una velocidad máxima de 80 km/h, rendimiento 180wh/km. El peso del camión vacío con baterías es de 1300Kg. La batería usada es de Ion-Li con una capacidad de 300 Ah y voltaje nominal de 96 V. Su precio es de 29.350 €.

GEM e4

La empresa norteamericana GEM, filial del grupo Chrysler, tiene en el e4 un curioso eléctrico, muy parecido a los cochecitos que se emplean en los campos de golf. [26]



Fig. # 54, VE USA GEM e4

Con capacidad para cuatro pasajeros, su motor tiene una potencia de 12 HP, alcanza los 40 km/h y tiene una autonomía de 45Km, el rendimiento es de 160 Wh/Km, el peso del auto vacío con baterías es de 583 Kg. Las baterías son de Pb ácido en Gel, 97.6 Ah con voltaje nominal de 72 V. El precio es de 15.798 €

JDM ALOES

También fabricado por Micro Auto VSP, en España, en principio no necesitaba permiso de conducir. [26]



Fig. # 55, VE JDM Aloes

Este cuadriciclo también se suma a la oferta de vehículos eléctricos. Tiene muy buen aspecto, la potencia es de 9.45 HP, pudiendo alcanzar los 74 km/h, con una autonomía de 70 Km, el peso del auto vacío con baterías es de 657 Kg, tiene 2 plazas y 3 puertas, y la carga útil es de 126 Kg. Su precio es 10.900 €.

MEGA BEV

Fabricado por **Piquersa Maquinaria S.A. compañía española**

Es uno de los más vistos en las ciudades españolas. Desarrolla 5.4HP, velocidad máxima 45 km/h, autonomía 80 Km, rendimiento 135 Wh/Km, la capacidad útil de carga es de 335Kg, el peso del auto vacío con baterías es de 785 Kg, las baterías

son AGM de Plomo con carga 228 Ah y voltaje nominal de 48 V. Dependiendo de la configuración de la carrocería, los precios oscilan entre los 17.806 y 22.985 €.



Fig. # 56, VE fabricado en España

MODEC BEV

Fabricado por Albert Hidalgo, compañía española



Fig. # 57, Camión VE fabricado en España

Se vende en diferentes carrocerías, tiene un motor eléctrico de 104 HP, autonomía 100 Km. Alcanza los 80 km/h y mide nada menos que 5,7 metros, capacidad útil de carga 2500 Kg, el peso del camión vacío con baterías es de 3000 Kg, tiene 2 plazas y una puerta. Las baterías son de Ion-Li con carga de 200 Ah y 265 V. Destaca entre el equipamiento de serie el control de estabilidad ESP, además del aire acondicionado. El precio es de 92.800 € con carrocería chasis cabina.

PIAGGIO PORTER BEV



Fig. # 58, Furgoneta, VE Italiano

Los italianos de Piaggio también se han sumado a la oferta de eléctricos con una versión del Porter con apellido EV. La potencia máxima es de 21.6 HP y alcanza los 57 km/h, autonomía de 90 Km, tiene una capacidad de carga útil de 650 Kg, el peso de la furgoneta vacía pero con baterías es de 1285 Kg, las baterías son de Plomo en Gel, carga 180 Ah y voltaje nominal 96 V. El precio de la furgoneta oscila entre los 22.727 y 25.230 €.

THINK CITY

Fabricado en Noruega por la empresa Think en la fabrica Valmet Automotive



Fig. # 59, VE Noruego Think City

Casi podría decirse que es el más famoso. Resulta más caro que muchos de los eléctricos citados aquí, pero también es cierto que es más coche que estos. Su motor tiene una potencia nominal de 22.95 HP le permite alcanzar los 110 km/h, la autonomía es de 180 km, y alcanza una velocidad máxima de 100Km/h, su rendimiento es de 144 Wh/Km, la carga útil es de 284Kg, el peso del auto vacío con baterías es de 1115 Kg, tiene 4 plazas y 3 puertas. Puede usar baterías de Ion-Li o Níquel Na de 224 Ah, voltaje nominal de 371 V. Su precio es de 31.500 €.

RESUMEN DE OFERTA DE VE⁶

MARCA	Precio(US)	Potencia(HP)	Peso(Kg)	V(km/h)	Plazas	Autonomía(km)
VS451	8000	2	250	60	2	90
BMW mini E		204	1465	150		240
Chevrolet Volt	30000	190		161	4	64
Ford Focus		136		136	4	120
Honda FCX-clarity	12500	130	1791		4	435
VW E-up	11000	60	1085	135	4	130
TATA ACE	20400	7	800	40	2	50
Beepo Pony Ev	20500	12	1000	65	2	80
Chana Beeni Bev	17000	20	1400	80	4	120
Faam Ecomile	40000	42	1300	80	2	100
Gem e4	22000	9	583	40	4	45
Jdm Aloes	15000	7	657	74	4	70
Mega Bev	27582	16	785	45	2	80
Modec Bev	11360	104	3000	80	2	100
Piaggio Porter Bev	30276	16	1285	57	2	90
Think City	45000	41	1115	110	4	180

Cuadro # 22, Fuente: Elaboración Autor, 2010, Resumen de oferta de VE

⁶ 1 CV = 0,9863 HP

5.4. Análisis de factibilidad

De la investigación de campo realizada se desprende que las necesidades o requerimientos de los clientes usuarios de los vehículos, no son inalcanzables, de hecho se demuestra en el primer capítulo de este trabajo que en el caso de Quito, los requerimientos de los autos son mínimos. Requerimientos que fácilmente pueden ser provistos por los VE.

5.4.1. Modelo teórico para el cálculo de la potencia de un VE para Quito

La topografía de la ciudad de Quito es muy variable, existiendo sitios con pendientes superiores a 45 grados como las subidas a San Juan o Toctiuco por ejemplo. En este trabajo se obtendrá un modelo teórico que considere el ángulo de la pendiente, y las aplicaciones se harán con un ángulo no mayor a 20 grados. Para hacer el cálculo de la energía necesaria para que un auto se desplace en la ciudad de Quito con comodidad, se harán algunas consideraciones, la primera es el cálculo de la energía en una pendiente con un ángulo Θ , y la segunda muy importante es considerar el factor rozamiento por rodadura C_{rr} , otra consideración fundamental es considerar el caso en que sea posible la regeneración eléctrica ya sea por frenado o gracias a la irregular topografía de Quito, así lo que en principio era un obstáculo puede convertirse en una fortaleza para el sistema de propulsión eléctrico. Las aplicaciones del modelo teórico se harán en base a la información recopilada en la investigación de campo realizada en el capítulo primero.

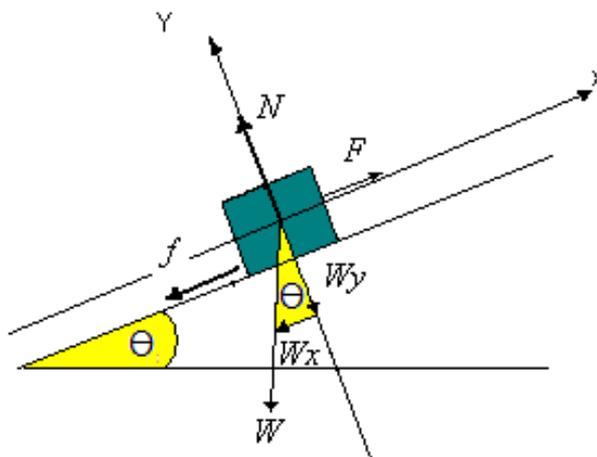


Fig. # 60, Diagrama de cuerpo libre para un VE

De acuerdo al diagrama de cuerpo libre, la fuerza necesaria para que un auto ascienda por una pendiente a velocidad constante viene dada por las ecuaciones:

$$-f - W_x + F = 0 \quad \text{F13}$$

$$N - W_y = 0 \quad \text{F14}$$

Donde:

$f = C_{rr}.N$, es el rozamiento por rodadura de las llantas del auto con el piso, F es la fuerza motriz del auto, W_x es la componente del peso que se opone al movimiento, y W_y es la componente del peso que mantiene al auto sobre la carretera.

C_{rr}	μ_r	Descripción
0.0002 a 0.0010 ^{1 2}	0.5 mm	Ruedas de ferrocarril sobre railes de acero
	0.1 mm	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0.0025 ³		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-marathon
0.005		Railes estándar de tranvía
0.0055		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares ³
0.006 a 0.01		Neumáticos de automóvil de baja resistencia y neumáticos de camión sobre carretera lisa
0.010 a 0.015 ⁴		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
0.020		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre losas de piedra
0.030 a 0.035		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0.055 a 0.065		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena
0.3 ⁴		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena

Cuadro # 23, Coeficientes de rodadura, Fuente: Wikipedia[38]

Se considera que la masa del auto, sustancialmente está formada por dos masas representativas, la masa de las baterías (nm) y la masa del auto (M) en donde se supone está incluida la masa del motor eléctrico.

m es la masa unitaria del arreglo de baterías

n es el número de baterías usadas

Por tanto, la masa del auto viene dada por la ecuación:

$$nm + M \quad \text{F15}$$

Reemplazando la masa, el ángulo y las funciones trigonométricas en la ecuación F8, se tiene el valor de la fuerza motriz del auto para ascender por la pendiente:

$$Crr.(nm + M)g.\cos \theta + (nm + M)g.\sen \theta = F \quad F16$$

La energía necesaria para mover el auto (E) es igual al trabajo realizado por la fuerza F al mover el auto una distancia d, es decir:

$$[Crr.(nm + M)g.\cos \theta + (nm + M)g.\sen \theta]d = F.d = E \quad F17$$

Como la energía en el sistema permanece constante, la energía para mover el auto es proporcionada por el arreglo de baterías, y esta transformación de energías tiene un rendimiento que obviamente no es del 100% y viene dado por el factor η , también se introduce un factor de regeneración λ , si su valor es 100% significa que toda la energía potencial ganada por el auto se revierte 100% en electricidad lo cual es imposible, la regeneración se puede realizar en las frenadas, cuando se desciende una pendiente o simplemente cuando no se acelera. El factor λ se define de la siguiente forma:

$$\lambda = (\text{Energía recuperada} / \text{Energía potencial}) \times 100\% \quad F18$$

En la ecuación F17, se resta al primer miembro la energía recuperada y se obtiene la ecuación general de la energía para mover un VE con energía eléctrica:

$$[Crr.(nm + M)g.\cos \theta + (1 - \lambda).(nm + M)g.\sen \theta]d = \eta.n.Eub \quad F19$$

Eub, es la carga unitaria del arreglo de baterías
n, es el número de baterías del arreglo

5.4.2. Aplicación del modelo para VE con baterías de Ion - Litio

A continuación se aplicará el modelo planteado para el cálculo de la potencia del VE tanto en una situación de pendiente como en plano. Este ejercicio no sería posible realizarlo sin la información de la investigación del capítulo primero, en él

se determinó que diariamente no se recorre mas de 20 Km, y la velocidad preferida al manejar es de 60 Km/h, se supondrá desde el punto de vista estadístico que 10 Km se recorre en plano y 10 Km en pendiente.

a). Movimiento del auto en Pendiente (Θ)

$\Theta = 20^\circ$, valor sugerido

$\eta = 80\%$, 20% se pierde en la transformación de energía eléctrica a mecánica

$\lambda = 0\%$, no se considera regeneración

$d = 10000$ m, resultado de la investigación del capítulo I

$m = 0.008$ Kg, masa de una batería unitaria de Ion-Li

$E_{ub} = 10109$ Joules, energía de una batería unitaria de Ion-Li, ver página 57

$M = 400$ Kg, masa del resto del auto con 2 plazas de carga útil

$C_{rr} = 0.03$, para pavimento, ver tabla #20

$g = 9.8$ m/s²

Reemplazando estos valores en la ecuación F19, se tiene:

$$[0.03 \cdot (n \cdot 0.008 + 400) \cdot 9.8 \cdot \cos 20 + (n \cdot 0.008 + 400) \cdot 9.8 \cdot \sin 20] \cdot 10000 = 0.8 \cdot n \cdot 10109$$

Despejando el valor de n, se tiene:

$n = 2800$ baterías unitarias

Como la masa de cada batería era de 8 gr, se tiene una masa del paquete de baterías de 22.4 Kg, este peso es muy bajo.

Como cada batería tiene un costo de 21.9 USD, el paquete costará 61320 USD, que es un valor astronómicamente alto.

La energía almacenada en el paquete será de:

$$n \cdot E_{ub} = 2800 \times 10109 = 28305200 \text{ Joules} = 7862.6 \text{ Wh} = 7.8 \text{ Kwh}$$

En el capítulo primero se determinó que el tiempo de uso de las baterías, para cumplir los 20 Km de autonomía a un promedio de 60 Km/h es de 0.33 horas, a continuación el cálculo de la potencia para una pendiente de 20° , tomando en cuenta que el tramo con pendiente es 10Km, es decir el tiempo sería de 0.165h.

Dividiendo la energía para el tiempo y considerando el rendimiento del 80%, se tiene una potencia para el VE de 38 Kw, o 51 HP.

b). Movimiento en plano

$\Theta = 0^\circ$, $\lambda = 0\%$, para estos valores la ecuación F19 se reduce:

$$[Crr.(nm + M)g]d = \eta.n.Eub \quad \text{F20}$$

Reemplazando los valores en la ecuación F19, se tiene:

$$[0,03.(n0.008 + 400)9,8]10000 = 0,8.n.10109$$

Despejando el valor de n, se tiene:

$$n=150 \text{ baterías unitarias}$$

La masa de cada batería es de 8 gr, se tiene una masa del paquete de baterías de 1200gr, este peso es muy bajo.

Como cada batería tiene un costo de 21,9 USD, el paquete costará 3285USD, que comparado con el caso anterior es ahora muy bajo.

La energía almacenada en el paquete será de:

$$n.Eub=150 \times 10109=1516350 \text{ Joules} = 421 \text{ Wh}=0.42 \text{ Kwh}$$

El tiempo de uso de las baterías, para cumplir los 10 Km de autonomía a un promedio de 60 Km/h es de 0.165 horas

Dividiendo la energía para el tiempo y considerando el rendimiento del 80%, se tiene una potencia para el VE de 2 Kw, o 2.7HP.

c). Pique Inicial

Para llegar a 60 Km/h(16,7 m/s) desde el reposo, se necesita gastar energía, esta energía de pique hay que sumar a las energías obtenidas en los ítems anteriores, para obtener una cifra real de consumo de energía.

$T_{\text{pique}} = 10$ segundos, tiempo de pique

Aplicando la conocida ecuación de la cinemática:

$$V = V_0 + a.T_{\text{pique}} \quad \text{F21}$$

Se tiene una aceleración de:

$$a= 1,67 \text{ m/s}^2$$

La distancia recorrida en el pique se calcula con la ecuación:

$$V^2 = V_0^2 + 2.a.d \quad \text{F22}$$

Se tiene que la distancia recorrida en el pique es de:

$$d=83,5 \text{ m}$$

La fuerza para producir el pique es:

$Crr.N+(nm+M)a$, en este caso la normal es igual al peso, por lo que se tiene:

$$(nm + M)(Crr.g + a) \quad F23$$

- En el caso con pendiente, en donde la masa es:

$$nm+M=422\text{Kg}$$

La fuerza del pique será por tanto:

$$422(0.03 \times 9.8 + 1.67) = 829 \text{ N}$$

El trabajo realizado por esta fuerza es:

$$\text{Energía} = 829 \times 83,5 = 69221 \text{ Joules}$$

Dividiendo para 10 segundos, nos da una potencia de:

$$\text{Potencia} = 6922 \text{ W} = 6.9 \text{ Kw} = 9.3 \text{ HP}$$

- En el caso plano, en donde la masa es:

$$nm+M=401\text{Kg}$$

La fuerza del pique será por tanto:

$$401(0.03 \times 9.8 + 1.67) = 788 \text{ N}$$

El trabajo realizado por esta fuerza es:

$$\text{Energía} = 788 \times 83,5 = 65798 \text{ Joules}$$

Dividiendo para 10 segundos, nos da una potencia de:

$$\text{Potencia} = 6580 \text{ W} = 6.6 \text{ Kw} = 8.9 \text{ HP}$$

En pendiente, sumando las potencias de pique y desplazamiento se tiene
 $9.3\text{HP} + 51\text{HP} = 60.3 \text{ HP}$

En plano, sumando las potencias de pique y desplazamiento se tiene
 $8.9\text{HP} + 2.7 \text{ HP} = 11.4 \text{ HP}$

- ❖ Por tanto un VE con baterías de Ion-Li, en la ciudad de Quito, cumpliendo los requerimientos mencionados en el capítulo I, necesita una potencia de mas o menos 72 HP. El precio del paquete de baterías es de 65000 USD, y el peso no supera los 24 Kg. Este resultado es sin regeneración. El alto costo unitario de las baterías de Ion-Li en el mercado de Quito, hace impracticable construir un paquete con estas características. Además que para la carga y descarga del paquete se necesita un sofisticado control electrónico.

5.4.3. Aplicación del modelo para VE con baterías de Pb-secas

a). Movimiento del auto en Pendiente (Θ)

$\Theta = 20^\circ$, valor sugerido

$\eta = 80\%$, 20% se pierde en la transformación de energía eléctrica a mecánica

$\lambda = 0\%$, no se considera regeneración

$d = 10000$ m, resultado de la investigación del capítulo I

$m = 2$ Kg, masa de una batería unitaria de Pb-Gel

$E_{ub} = 518400$ Joules, energía de una batería unitaria de Pb-Gel

$M = 400$ Kg, masa del resto del auto con 2 plazas de carga útil

$C_{rr} = 0.03$, para pavimento, ver tabla

$g = 9.8$ m/s²

Reemplazando estos valores en la ecuación F19, se tiene:

$$[0,03.(2n + 400)9,8.\cos 20 + (2n + 400)9,8.\sen 20]10000 = 0,8.n.518400$$

Despejando el valor de n, se tiene:

$n = 42$ baterías unitarias

Como la masa de cada batería era de 2Kgr, se tiene una masa del paquete de baterías de 84 Kg.

Como cada batería tiene un costo de 35 USD, el paquete costará 1470 USD, que es un valor manejable.

La energía almacenada en el paquete será de:

$$n.E_{ub} = 42 \times 518400 = 21772800 \text{ Joules} = 6048 \text{ Wh} = 6,05 \text{ Kwh}$$

En el capítulo primero se determinó que el tiempo de uso de las baterías es de 0.33 horas, a continuación el cálculo de la potencia para una pendiente de 20° en el tramo de 10Km considerado, es decir el tiempo es 0.165h.

Dividiendo la energía para el tiempo y considerando el rendimiento del 80%, se tiene una potencia para el VE de 29.3 Kw, o 39.3HP.

b). Movimiento del auto en plano

$\Theta = 0^\circ$, $\lambda = 0\%$, para estos valores la ecuación F19 se reduce:

$$[C_{rr}.(nm + M)g]d = \eta.n.E_{ub}$$

Reemplazando el resto de datos en la ecuación F19, se tiene:

$$[0,03 \cdot (2n + 400) \cdot 9,8] \cdot 10000 = 0,8 \cdot n \cdot 518400$$

Despejando el valor de n, se tiene:

n=3 baterías unitarias

La masa de cada batería es de 2 Kgr, se tiene una masa del paquete de baterías de 6 Kgr, este peso es muy bajo.

Como cada batería tiene un costo de 35 USD, el paquete costará 105USD, que comparado con el caso anterior es ahora muy bajo.

La energía almacenada en el paquete será de:

$$n \cdot E_{ub} = 3 \times 518400 = 1555200 \text{ Joules} = 432 \text{ Wh} = 0.43 \text{ Kwh}$$

Para cumplir los 10 Km de autonomía a un promedio de 60 Km/h el tiempo es de 0.165 horas. Dividiendo la energía para el tiempo y considerando el rendimiento del 80%, se tiene una potencia para el VE de 2.08 Kw, o 2.8HP.

c). Pique Inicial

Para llegar a 60 Km/h (16,7 m/s) desde el reposo, se necesita gastar energía, esta energía de pique hay que sumar a las energías obtenidas en los ítems anteriores, para obtener una cifra real de consumo de energía, por facilidad se considerará un pique en el caso plano.

T_{pique} = 10 segundos, tiempo de pique

Aplicando cinemática, se obtiene la distancia recorrida en el pique:

$$d = 83,5 \text{ m}$$

Como la fuerza para producir el pique es: $(nm + M)(C_{rr} \cdot g + a)$

- En el caso con pendiente, en donde la masa es:

$$nm + M = 484 \text{ Kg}$$

La fuerza del pique será por tanto:

$$484(0,03 \times 9,8 + 1,67) = 951 \text{ N}$$

El trabajo realizado por esta fuerza es:

$$\text{Energía} = 951 \times 83,5 = 79409 \text{ Joules}$$

Dividiendo para 10 segundos, nos da una potencia de:

$$\text{Potencia} = 7941 \text{ W} = 7.9 \text{ Kw} = 10.6 \text{ HP}$$

- En el caso plano, en donde la masa es:

$$nm+M=406\text{Kg}$$

La fuerza del pique será por tanto:

$$406(0.03 \times 9.8 + 1.67) = 797.4 \text{ N}$$

El trabajo realizado por esta fuerza es:

$$\text{Energía} = 797.4 \times 83.5 = 66583 \text{ Joules}$$

Dividiendo para 10 segundos, nos da una potencia de:

$$\text{Potencia} = 6658 \text{ W} = 6.7 \text{ Kw} = 8.9 \text{ HP}$$

En pendiente, sumando las potencias de pique y desplazamiento se tiene $10.6\text{HP} + 39.3\text{HP} = 49.9 \text{ HP}$, para 10 Km.

En plano, sumando las potencias de pique y desplazamiento se tiene $8.9\text{HP} + 2.8 \text{ HP} = 11.7 \text{ HP}$, para 10 Km.

- ❖ Por tanto un VE con baterías de plomo, en la ciudad de Quito, cumpliendo los requerimientos mencionados en el capítulo I, necesita una potencia de mas o menos 62 HP. El precio del paquete de baterías es de 1600 USD, y no supera los 90 Kg. Estos resultados son sin regeneración.

5.4.4. Cálculo de la potencia con regeneración para VE con baterías de Pb-secas

Se hará el análisis con regeneración solo para este tipo de baterías, considerando que en el mercado local el costo de las baterías de Ion-Li es extremadamente alto. El valor de la regeneración de la energía será del 50% y se aplicará solo para los 10 Km de pendiente.

a). Movimiento del auto en Pendiente (Θ)

$$\Theta = 20^\circ, \text{ valor sugerido}$$

$$\eta = 80\%, \text{ 20\% se pierde en la transformación de energía eléctrica a mecánica}$$

$$\lambda = 50\% \text{ de regeneración}$$

$$d = 10000 \text{ m, resultado de la investigación del capítulo I}$$

$$m = 2\text{Kg}, \text{ masa de una batería unitaria de Pb-Gel}$$

$E_{ub} = 518400$ Joules, energía de una batería unitaria de Pb-Gel

$M = 400$ Kg, masa del resto del auto con 2 plazas de carga útil

$C_{rr} = 0.03$, para pavimento, ver tabla

$g = 9.8$ m/s²

Reemplazando estos valores en la ecuación F12, se tiene:

$$[0.03 \cdot (2n + 400) \cdot 9.8 \cdot \cos 20 + (1 - 0.5) \cdot (2n + 400) \cdot 9.8 \cdot \sin 20] \cdot 10000 = 0.8 \cdot n \cdot 518400$$

Despejando el valor de n , se tiene:

$n = 21$ baterías unitarias

Como la masa de cada batería era de 2Kg, se tiene una masa del paquete de baterías de 42 Kg.

Como cada batería tiene un costo de 35 USD, el paquete costará 735 USD, que es la mitad de lo usado en un sistema sin regeneración.

La energía almacenada en el paquete será de:

$n \cdot E_{ub} = 21 \times 518400 = 10886400$ Joules 3024Wh = 3 Kwh

A continuación el cálculo de la potencia para una pendiente de 20° en el tramo de 10Km considerado, es decir el tiempo es 0.165h.

Dividiendo la energía para el tiempo y considerando el rendimiento del 80%, se tiene una potencia para el VE de 14.5 Kw, o **19.4HP**.

b). Movimiento del auto en plano

$\Theta = 0^\circ$, $\lambda = 0\%$

$n = 3$ baterías unitarias

masa del paquete de baterías: 6 Kg

costo del paquete: 105USD

La energía almacenada en el paquete será de: 0.43 Kwh

Para cumplir los 10 Km de autonomía a un promedio de 60 Km/h el tiempo es de 0.165 horas. Dividiendo la energía para el tiempo y considerando el rendimiento del 80%, se tiene una potencia para el VE de 2.08 Kw, o **2.8HP**.

c). Pique Inicial

Para llegar a 60 Km/h(16,7 m/s) desde el reposo, se necesita gastar energía, esta energía de pique hay que sumar a las energías obtenidas en los ítems anteriores, para obtener una cifra real de consumo de energía, por facilidad se considerará un pique en el caso plano.

- En el caso con pendiente, en donde la masa es:442Kg

Tpique = 10 segundos, tiempo de pique

distancia recorrida en el pique: d=83,5 m

La fuerza para producir el pique es: 868 N

El trabajo realizado por esta fuerza es: 72478Joules

Dividiendo para 10 segundos, nos da una potencia de: **9.7 HP**

- En el caso plano, en donde la masa es:406Kg

La fuerza del pique será por tanto:797.4 N

El trabajo realizado por esta fuerza es: 66583 Joules

Dividiendo para 10 segundos, nos da una potencia de: **8.9 HP**

En pendiente, sumando las potencias de pique y desplazamiento se tiene **9.7HP+19.4HP=29.1HP**, para 10 Km.

En plano, sumando las potencias de pique y desplazamiento se tiene:

8.9HP + 2.8 HP=11.7 HP, para 10 Km.

- ❖ Por tanto un VE con regeneración eléctrica, usando baterías de plomo, en la ciudad de Quito, cumpliendo los requerimientos mencionados en el capítulo I, necesita una potencia de mas o menos 40 HP. El precio del paquete de baterías es de 800 USD, y no supera los 45 Kg.

5.5. Costo de un auto eléctrico para uso en la ciudad de Quito

Para el cálculo de costos se usará baterías de Pb-secas que son las más económicas y de mayor duración, libres de mantenimiento, estacionarias que existen en el mercado local ver cuadro # 17, el costo del ME viene de la tabla # 22. Este cálculo es para un VE sin regeneración:

Costo VE = Costo Baterías + Costo Carrocería + Costo ME + Otros Costo(reserva reposición, cargador, etc)

Costo VE = 1600 + 1500 + 1500 + 2000

Costo VE = 6600 USD

Si se pone una utilidad del 30% unos 1980USD, si se añade los gastos de producción unos 2000 USD, el precio del vehículo puede ser:

PV=6600+1980+2000 = 10600 USD

Las baterías de plomo selladas tienen un promedio de vida de 5 años, es decir 60 meses, por lo que si se quiere calcular el valor de la reposición diario, se obtiene el siguiente valor:

1600 USD/1800 día = 0.88 USD/día

- ❖ Si bien es cierto que los VE eléctricos en el mercado internacional tienen un alto costo. Esto es relativo, porque se ha demostrado que localmente se puede construir VE con costos que no superan los 10.000 USD. Lo que está de acuerdo con el análisis técnico realizado en este trabajo.
- ❖ Para este tipo de baterías el cargador no es muy costoso, en realidad no supera los 500 USD.

Capítulo VI: Impacto Ambiental del cambio de un parque automotor con motores de combustión interna con combustible fósil a un parque automotor eléctrico en la ciudad de Quito

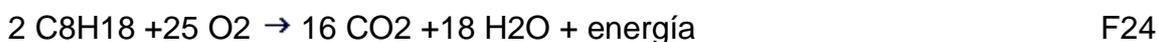
"El crecimiento del consumo de combustibles y del uso del vehículo privado en Ecuador, dentro de un sistema de subsidios perverso, profundizan la inequidad en la apropiación de la riqueza nacional, dilapidan el patrimonio energético del país y generan usos del espacio público poco amigables con peatones, ciclistas y medio ambiente"

Este es un extracto de un artículo publicado en el informativo Aire Puro No. 4, de febrero de 2006, informativo semestral que publica CORPAIRE. [34]

6.1. Cuanto de CO₂ en Kg emiten los autos en la ciudad de Quito

Densidad de la gasolina=0,68 gr/cm³ [35]

Un galón de gasolina (galón americano) tiene 3,785 litros, por lo que un galón de gasolina tiene una masa de $0,68 \times 3,785 \times 1000 = 2573,8$ gr. A continuación se usará la ecuación química teórica que mas se aproxima a la realidad, para calcular la masa de emisiones de CO₂ contaminantes.



La cantidad de CO₂ producido por un galón de gasolina se obtiene usando la siguiente relación estequiometrica:

$$\begin{array}{l} 2(8 \times 12 + 18 \times 1) \rightarrow 16(12 \times 1 + 2 \times 8) \\ 2573,8 \quad \quad \quad \rightarrow M \end{array}$$

$$M = 2573,8 \times 16 \times 28 / 228$$

$$M = 5057,3 \text{ gr de CO}_2.$$

Un galón de gasolina al quemarse produce 5057,3 gr de CO₂, ver referencia [36].

Según los resultados del capítulo uno se sabe que el 31 % de los propietarios de vehículos entrevistados afirma que el consumo semanal de combustible no es

mayor que 10USD, es decir unos dos dólares diarios de gasolina extra. Un galón de gasolina extra cuesta 1,5 USD.

Al día un auto consume 1,3 galones. Que al quemarse producen:

6575 gr de CO₂ diario, si esto se multiplica por el número de autos particulares, 300000 vehículos. Se tiene la increíble cifra de:

$6575 \times 300000 = 1972500000 \text{ gr} = 1972500 \text{ Kg de CO}_2$, es decir 1973 Tn de CO₂ emiten diariamente los autos particulares en la ciudad de Quito.

Si se logra reemplazar 90000 autos con motor Otto por VE se tiene una disminución enorme en emisiones contaminantes, de acuerdo a lo visto en el capítulo II, 90.000 usuarios están dispuestos en este momento a cambiar su auto Otto por un VE, por tanto:

$90000 \text{ vehículos} \times 6575 \text{ gr de CO}_2/\text{vehículo} = 591750000 \text{ gr}$

Esto representa una eliminación de emisiones contaminantes de **592 Tn de CO₂** diarios.

Desde el punto de vista ambiental, el uso de híbridos es todavía nocivo al medio ambiente, por lo que se hace necesario llegar a autos eléctricos.

El ahorro en gasolina sería elevado, miren:

Un auto diariamente consume 1,3 galones de extra que multiplicado por 1,50USD da: 1,95USD, si se multiplica este valor por el número de autos que están dispuestos a cambiar de tecnología se tiene: $90.000 \times 2\text{USD} = 180.000 \text{ USD}$ diarios de ahorro en combustible, en un año el ahorro sería de $365 \times 180.000 \text{ USD} = 65.705.000$ de dólares, suponiendo que los autos se reparan a los 10 años, entonces el gasto de gasolina en 10 años es:

650.705.000 USD que sumados a los gastos de reparación como se vio en el capítulo I, se tiene más o menos una cantidad de dólares que han salido del país de: **730.000.000 USD**.

Con estos valores en juego, y un negocio super lucrativo, usted cree que se pueda cambiar. Aquí esta el secreto de porque no se logra introducir los VE en el mundo. Imagínense perder este negocio.

6.2. Insumos y costos existentes en un auto tradicional

Auto Compacto de 1 litro, cualquier marca	Cantidad/300.000km	Costo unitario en Quito(USD)	Costo Total
Lubricante motor	100 cambios	20	2000
Filtro de aceite	100	5	500
Lubricante caja	6	50 x cambio	300
Bandas	5	50 x cambio	250
Frenos	30	50 cada ABC	1500
Llantas	6	300 las 4 llantas	1800
Reparación motor	1 reparación	1500	1500
Refrigerante	5 cambios cada 10000 km	5	750
Suspensión	6 cambios, espirales, mesas, amortiguadores, terminales	300	1800
Total Insumos			10400
Combustible Gasolina extra	50 Km / galón	1.50 USD/galón	9000
TOTAL			19400

Cuadro # 24, Fuente Autor, Costos de Insumos de un auto tradicional

Un AUTO con motor Otto a lo largo de su vida, es decir aproximadamente 300.000 Km, si recorre 20.000 km cada año serían 15 años, consume en insumos necesarios para su funcionamiento un monto de 19400USD, casi el doble del precio del automotor, esto explica claramente por que el negocio de la industria automotriz saca mayor ventaja de los insumos que de la venta de vehículos, esto

otra vez demuestra porque la lentitud para cambiar el parque automotor, a pesar de que el Ecuador no produce estos insumos. El 50% del gasto viene representado por la gasolina, que es el combustible para este vehículo. El rendimiento en un auto con motor Otto es de 33,3 Km por USD.

6.3. Insumos y costos existentes en un VE

VE cualquier marca	Cantidad/300.000km	Costo unitario en Quito(USD)	Costo Total
Lubricante motor	0	0	0
Filtro de aceite	0	0	0
Lubricante caja	6	50 x cambio	300
Bandas	0	0	0
Frenos	30	50 cada ABC	1500
Llantas	6	300 las 4 llantas	1800
Reparación motor	1 reparación	200 USD, cojinetes	200
Refrigerante	0	0	0
Suspensión	6 cambios, espirales, mesas, amortiguadores, terminales	300	1800
Total Insumos			5600
Combustible Gasolina extra	0	0	0
Combustible Electricidad	7.3 km/kwh(Ion Litio)	0.0783 USD/kwh	3226
TOTAL			8826

Cuadro # 25, Fuente Autor, Costos de Insumos de un VE

En un VE el gasto en insumos para su funcionamiento es de apenas 5600 USD a lo largo de su vida útil, y representa el 28% de los gastos del auto convencional. El rendimiento en un VE con batería de Ion Litio es de 93Km por USD.

De las dos tablas expuestas se determina claramente que en el caso de un auto convencional la distancia recorrida por USD es de 33,3 Km. Para el VE la distancia recorrida es de 93Km por USD. Por tanto el uso del VE es totalmente **factible**, y su rendimiento se puede incrementar con el uso de tecnologías complementarias como es el aumento de la capacidad de las baterías, uso de otro tipo de fuente de energía para recargar las baterías, que no sea la red doméstica, por ejemplo, frenos regenerativos, energía solar, etc.

6.4. Factibilidad Ambiental

- ❖ La incorporación de VE en el parque automotor significa una drástica disminución de gases de efecto invernadero, que como se demostró representan millones de toneladas diarias en todo el mundo, y en el caso de Quito de miles.
- ❖ El uso de VE elimina paralelamente el uso de lubricantes, fluidos, aditivos, y miles de accesorios, que a la larga representan contaminación del ambiente por ser resultado de la Industria.
- ❖ Es necesario hacer un plan de reciclaje de baterías, evaluar su impacto ambiental, en el caso de pilas de combustible no existe mayor complicación.
- ❖ El rendimiento de un auto con motor Otto es de 33,3 Km por USD, mientras tanto el rendimiento de un VE con batería de Ion Litio es de 93Km por USD. El uso de VE hace que el consumo de insumos disminuya a la mitad, lo que significa un enorme alivio al medio ambiente del planeta.

Conclusiones

- Un VE con baterías de Ion-Li, en la ciudad de Quito, cumpliendo los requerimientos mencionados en el capítulo I, necesita una potencia de mas o menos 72 HP. El precio del paquete de baterías es de 65000 USD, y el peso no supera los 24 Kg. Este resultado es sin regeneración. El alto costo unitario de las baterías de Ion-Li en el mercado de Quito, hace impracticable construir un paquete con estas características. Además que para la carga y descarga del paquete se necesita un sofisticado control electrónico.
- Un VE con baterías de plomo secas, en la ciudad de Quito, cumpliendo los requerimientos mencionados en el capítulo I, necesita una potencia de mas o menos 62 HP. El precio del paquete de baterías es de 1600 USD, y no supera los 90 Kg. Estos resultados son sin regeneración.
- Un VE con regeneración eléctrica, usando baterías de plomo secas, en la ciudad de Quito, cumpliendo los requerimientos mencionados en el capítulo I, necesita una potencia de mas o menos 40 HP. El precio del paquete de baterías es de 800 USD, y no supera los 45 Kg.
- El uso del VE en la ciudad de Quito es técnicamente factible siempre y cuando se use tecnología nacional para la construcción de los VE, es obligatorio el uso de carrocerías livianas de fibra y baterías de Pb-Acido tipo AGM de larga duración.
- El uso del VE en la ciudad de Quito es técnicamente factible porque existe en el mercado motores eléctricos DC que llegan hasta 28 HP y su costo no supera los 3000 USD.
- De las distintas opciones que existen en el mercado en cuanto a baterías, la opción mas rentable y factible por su costo es la de Plomo, aunque su peso es extremadamente alto, sin embargo es suficiente para satisfacer el requerimiento de los usuarios en Quito, el incremento de peso en las baterías se debe compensar con la disminución del peso de la carrocería del auto.
- El uso de litio en acumuladores tiene buen futuro debido a su alta densidad de energía, y se espera que la tecnología se desarrolle lo más rápido

posible con la incorporación de nanotecnologías, de tal manera que el costo sea competitivo en el mercado.

- El uso de VE en Quito es ambientalmente factible porque si se logra reemplazar 90000 autos con motor Otto por VE, representaría una eliminación de emisiones contaminantes de **592 Tn de CO2** diarios.
- El 80% aproximadamente de la gente encuestada maneja en un rango de velocidad que va de 30 a 60 Km/h. Esto significa que la gente en la ciudad no maneja rápido. Realmente lo hace dentro de los límites permitidos por las leyes de tránsito.
- Mas del 80 % de propietarios de vehículos particulares no supera en su recorrido diario los 60 Km.
- El 31 % de los propietarios de vehículos entrevistados afirma que el consumo semanal de combustible no es mayor que 10USD.
- El 80 % aproximado de usuarios de vehículos transporta a lo mucho un máximo de 3 personas.
- El 70% de los usuarios de vehículos no les interesa superar al resto de conductores cuando conducen.
- El 76 de la gente cree que se moviliza normalmente, según la percepción de la gente entrevistada es normal conducir a 60 Km/hora o menos.
- El 67 % de los usuarios de vehículos particulares afirma no conocer sobre la tecnología de vehículos eléctricos.
- Al ser preguntados si desearían cambiar su auto por uno eléctrico, casi el 70 % de los entrevistados afirma que si lo harían. El 33% de los entrevistados afirma que en este momento se compraría un auto eléctrico
- El 73 % de los propietarios de vehículos está convencido que su auto contamina el medio ambiente.
- El 80 % de la gente tiene 2 vehículos en casa y lo comparte con no más de 2 personas.
- Al 39 % de los entrevistados les gusta autos todo terreno, y conjuntamente con los automóviles representan el 80% de la preferencia respecto al tipo de auto
- La oferta de Energía Eléctrica Hidráulica superará los 10000 Mw, tomando en cuenta los proyectos instalados y los grandes proyectos a construir

como el Coca Codo Sinclair. Esto es una buena noticia para la demanda de Energía provenientes del parque de VE

- El gasto de energía diaria en promedio del VE es 9843 Wh en la ciudad de Quito, para las preferencias de manejo investigadas en el capítulo I.
- El gasto diario de un propietario de VE para movilizarse por lo menos 20 km a una velocidad de no mas de 60 km/h será:0,77 USD. Sin tomar en cuenta la reserva para reposición de baterías.
- Como se vió en el primer capítulo, el 31 % de los propietarios de vehículos entrevistados afirma que el consumo semanal de combustible no es mayor que 10USD. Es decir que diariamente usando gasolina extra su gasto es de 2 USD en promedio, por tanto el uso del VE eléctrico le permitirá ahorrar 1,23 USD diarios
- VE es un artefacto que permite transportar personas o carga, y usa como propulsor un motor eléctrico en lugar del motor de combustión interna. La energía necesaria para mover el motor eléctrico la proporciona una batería o acumulador
- La lentitud que parecen tener las marcas al cambio de combustibles fósiles por energía eléctrica se explica por la enorme inversión que tienen en la industria de motores Otto, y en la Industria Petrolera.
- Del trabajo de investigación realizado se observa que la mayor parte de autos no llevan más de dos pasajeros, el recorrido no es más de 60 Km, por tanto es totalmente factible la incorporación inmediata de VE eléctricos al parque automotor particular en el DMQ.
- La gran variedad de energías renovables que posee el Ecuador hace totalmente factible la conversión del parque automotor no solamente en el DMQ sino en todas las ciudades del país. Solo la oferta geotérmica sería un importante aporte para cubrir la demanda de un parque automotor eléctrico en Quito. No hay que olvidar que se cuenta con una enorme riqueza en energía hidráulica. Por estar en la mitad del mundo se tiene energía solar y en la costa mucha energía mareomotriz.

Recomendaciones

- Es urgente el cambio del parque automotor, de Vehículos Otto a VE, así se logra una contundente disminución de emisiones de gases de efecto Invernadero.
- Debido al excesivo precio de los VE en el mercado Internacional se recomienda emprender una política de estado orientada a cambiar el motor Otto por un motor eléctrico en los mismos autos que hoy circulan, esto será ciertamente mas económico, y permitirá demandar de mano de obra y lograr un valor agregado en la producción nacional de vehículos
- Se recomienda a la EPN reestructurar sus pensum académicos, crear nuevas carreras que estén en armonía con las necesidades del Ecuador sobre todo en la carrera de Ingeniería Mecánica, para ofrecer conocimientos a tono con el nuevo parque automotor.
- Es necesario que las Universidades, empresa privada y el estado, incorporen proyectos relacionados con el desarrollo local de fuentes de almacenamiento de Energía Eléctrica.
- El Ecuador es fuerte en el campo de la Industria Carrocera, por tanto no es complicado desarrollar localmente un auto nacional con materiales alternativos livianos y que incorporen motor eléctrico.

Bibliografía

- [1] Cárdenas Ramos, Edwin Javier, Kaslin Duque, Jorge Gustavo
 TÍTULO Caracterización tecnológica del parque automotor del Distrito Metropolitana de Quito y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles, Tesis de Ingeniero Mecánico, EPN, 2006
- [2] Estrella Vizueté, Emerson Enrique
 TÍTULO Diagnóstico de emisiones de los vehículos a diesel del Distrito Metropolitano de Quito mediante la prueba estática, Tesis de Ing. Mecánico, EPN, 2002
- [3] Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, Ehsani Yimin Gao, Senastien Gay, 2004, ISBN9780849331541
- [4] Automóviles Eléctricos, Larrode Pellicer, Emilio, Editorial Reverte, Primera Edición, 2004, ISBN 8414360097
- [5] Plug-in Hybrids, Sherry Boschert, New Society Pub, 2006
- [6] Hybrid Electric Vehicles Publications;
http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/vsa/pubs_hevs.html
- [7] Hybrid Cars; <http://www.carbuyingtips.com/hybrid-cars.html>
- [8] The Essential Hybrid Car Handbook (A Buyer`s Guide) Nick Yost, The Lyons Press, 2006.
- [9] The Complete Guide to Hybrid & Alternative Fuel Vehicles, Jack R. Nerad, Penguin Group, 2007.
- [10] Build Your Own ELECTRIC VEHICLE,
- [11] Inventario de Emisiones, Distrito Metropolitano de Quito, 2007
- [12] Primer Congreso Ecuatoriano sobre Gestión de Calidad del Aire, 2006
- [13] La calidad del aire en Quito, Informe Anual 2008
- [14] <http://www.teslamotors.com/>
- [15] <http://auto.howstuffworks.com/electric-car1.htm>
- [16] <http://www.eco-car.net/>
- [17]
<http://www.stanford.edu/group/greendorm/participate/cee124/TeslaReading.pdf>

PATENTES

[18] <http://www.freepatentsonline.com/3874472.html>

[19] <http://keelynet.com/energy/teslafe1.htm>

Referencias

[1] http://www.elosidelosantos.com/calculadoras/tamanyio_muestra.htm

[2] <http://pareto-chart.qtcharts.com/index.php?g=prtt>

[3] Políticas Energéticas del Ecuador, 2009-2020, MEER

[4] Inventario de Recursos Energéticos del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica, Ecuador 2009

[5] Plan Maestro de Electrificación 2009-2020, CONELEC

[6] <http://www.eldiario.com.ec/noticias-manabi-ecuador/36823-subsidios-consumen-2-mil-millones/>

[7] <http://www.conelec.gov.ec/images/documentos/Boletin2008.pdf>, página 311.

[8] Informe Anual 2008, 2009, Corporación CENACE, Centro Nacional de Control de Energía, dirección de Operaciones.

[9] <http://www.alegsa.com.ar/Dic/bateria.php>

[10]

<http://campus.usal.es/~electricidad/Principal/Circuitos/Descargas/CargaYElectricidad.pdf>

[11] http://www.fisicanet.com.ar/quimica/electrolisis/ap03_pilas.php

[12] http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/es/Lithium-ion_battery

[13]

http://www.defdigital.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=237:baterias&catid=45:energia&Itemid=113

[14] <http://www.cienciateca.com/ctslibat.html>

[15] http://www.technologyreview.com/es/read_article.aspx?id=770

[16] <http://desenchufados.net/efecto-sobre-la-salud-de-las-pilas-cuanto-dano-pueden-hacer-y-que-se-puede-hacer-para-evitarlo/>

[17] <http://www.cientificosaficionados.com/reciclado/hidruro%20metalico.htm>

[18]

http://www.hobbiesguinea.com/product_info.php?cPath=403_931_770&products_id=16485

[19] http://es.wikipedia.org/wiki/Pila_de_combustible

[20] <http://www.unizar.es/icma/divulgacion/pdf/iberZentrum/hidrogenoPilas.pdf>

[21] http://es.wikipedia.org/wiki/Pila_de_combustible

[22] <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Baterias-Ni-Cd.php>

- [23] <http://www.deautomoviles.com.ar/articulos/combustibles/baterias-motores-electricos.html>
- [24] http://www.minispace.com/en_us/projects/electric-mini-e/pdf/mini-e-en_us.pdf
- [25] <http://motorfull.com/2008/04/bmw-tendra-su-micro-coche-electrico-para-el-2012-bajo-la-marca-mini-o-smart>
- [26] <http://espaciocoche.com/2007/01/chevrolet-volt-el-coche-elctrico.html>,
<http://es.autoblog.com/2008/09/16/chevrolet-volt-la-ficha-tecnica/>
- [27] <http://www.motorpasion.com/ford/ford-presenta-el-focus-econetic-y-electrico-de-2010>
- [28] <http://automobiles.honda.com/spanish/fcx-clarity/specifications.aspx>
- [29] <http://www.motorspain.com>
- [30] <http://espaciocoche.com/2009/10/tata-ace-comercial-elctrico-bev.html>
- [31] <http://www.p0101.com/beepo/beepo-es.pdf>,
<http://es.autoblog.com/2010/06/02/espana-catalogo-de-vehiculos-electricos/>
- [32] <http://www.bun-ca.org/publicaciones/manuales/espanol/ManualMotores30nov09.pdf>
- [33] <http://www.motorspain.com>
- [34] http://www.quitoparatodos.org/index.php?option=com_content&view=article&id=23:el-consumo-de-combustibles-y-las-perversiones-del-crecimiento&catid=12:multimedia&Itemid=12
- [35] <http://www.monografias.com/trabajos4/ladensidad/ladensidad.shtml>
- [36] <http://www.seed.slb.com/v2/FAQView.cfm?ID=1180&Language=ES>
- [37] [Http://www.oaquito.org.ec/downloads/Secretaria%20Movilidad%20DMQ%20-%20Gestion%202010.pdf](http://www.oaquito.org.ec/downloads/Secretaria%20Movilidad%20DMQ%20-%20Gestion%202010.pdf)
- [38] http://es.wikipedia.org/wiki/Resistencia_a_la_rodadura
- [39] <http://www.directindustry.es/prod/sauer-danfoss/motor-dc-para-vehiculos-electricos-4998-50066.html>
- [40] <http://www.evmotors.com.au/products/pricelist.html>

Anexos

Anexo # 01, modelo de encuesta para caracterizar el parque automotor de vehículos particulares

#		CARACTERIZACION DEL PARQUE AUTOMOTOR			
Nombre:		Dirección:			
Teléfono		E_mail			
marca		Clase		tipo	
Modelo		Pais		Cilindraje	
				Año	
				Placa	
1) Cual es su velocidad preferida al manejar en la ciudad?, tache el rango:		[2-10]km/h, [12-20], [22-30], [32-40], [42-50], [52-60], [62-70], [72-80], [+]			
2) Que distancia aproximadamente viaja en su auto cada día:		[0-20]km, [22-40], [42-60], [62-80], [+]			
3) Cuanto gasta a la semana en gasolina?		[0-5], [5-10], [10-15], [15-20], [+ USD			
4) Cuantas personas viajan en el vehiculo diariamente		[1], [2], [3], [4], [5]			
5) Cuando conduce, le gusta ganarle a los otros autos?		[si], [no]			
6) Usted cree que conduce rapido o despacio?		[rapido], [despacio]	7) Conoce sobre VE?	[si], [no]	
8) Estaria usted dispuesto a cambiar su vehiculo a gasolina por uno que no contamine el ambiente, por ejemplo un eléctrico?		[si], [no]			
9) Usted cree que su auto contamina el medio ambiente?		[si], [no]			
10) Que auto le gustaria comprar?		[Gasolina], [Hibrido], [Electrico]			
11) En su casa cuantos autos existen?		[0], [1], [2], [3], [4], [+]			
12) Con cuantas personas comparte su vehiculo?		[0], [1], [2], [3], [4], [+]			
13) Que tipo de autos le gusta?		[Automoviles] [4x4] [Camionetas] [Station] [Deportivo]			
14) Que tipo de auto tiene?		[Automovil] [4x4] [Camioneta] [Station] [Deportivo]			
15) Le gustaria conducir un auto Electrico?		[si], [no]			

Anexo # 02, Equivalencias físicas Importantes

Magnitud física	Fórmula	Unidad	Símbolo
Fuerza		Newtons	N
Trabajo	Fuerza x distancia	Newton x metro=Joule	J
Potencia	Trabajo / tiempo	Watts=J/seg	W
Potencia Eléctrica	Voltaje x Corriente	Voltio x Amperio	VA=W
Energía	Potencia x tiempo	W x hora	3600Joules
Energía Eléctrica	Potencia Eléctrica x tiempo	VA x hora	VAh
Capacidad Nominal de Carga	Corriente x Tiempo	Amperios x hora	Ah
Energía Almacenada en una batería	Voltaje nominal x Capacidad Nominal de carga	VA x hora	3600Joules

Cuadro # 26, Elaboración Autor.

$$1 \text{ HP} = 745,7 \text{ W} = 0.7457 \text{ Kw}$$

Por tanto si se multiplica ambos miembros por una hora se tiene:

$$1\text{Wh}=1\text{VAh}$$

- Ejemplo1. En una batería de NiCD, viene expresado el voltaje de 1,2 V y la carga nominal de 800mAh. A continuación se presenta como calcular la energía almacenada en esta batería.

Energía Almacenada en la Batería = Voltaje nominal x Capacidad nominal de carga

$$\text{Energía Almacenada en la Batería} = 1,2 \text{ V} \times 0,8 \text{ Ah} = 0,96 \text{ VAh}$$

$$\text{Energía Almacenada en la Batería} = 0,96 \text{ Wh}$$

- Ejemplo2. En una batería de Li-Polymer, viene expresado el voltaje nominal de 3,6 V y la carga nominal de 780mAh. Calcular la energía almacenada en esta batería.

$$\text{Energía Almacenada en la Batería} = 3,6 \text{ V} \times 0,78 \text{ Ah} = 2,81 \text{ VAh}$$

$$\text{Energía Almacenada en la Batería} = 2,81 \text{ Wh}$$

- Ejemplo3. En una batería de Pb, viene expresado el voltaje nominal de 12 V y la carga nominal de 55Ah. Calcular la energía almacenada en esta batería.

$$\text{Energía Almacenada en la Batería} = 12 \text{ V} \times 55\text{Ah} = 660 \text{ VAh}$$

$$\text{Energía Almacenada en la Batería} = 660 \text{ Wh}$$

Anexo # 03, Configuraciones Básicas de Baterías

Se necesita impulsar un VE con un motor eléctrico de 12 HP durante una hora, a 12 V de voltaje nominal. Determinar el número de baterías, el peso del sistema de baterías, la energía del sistema y el costo, para cada tipo de baterías existentes en el mercado de Quito.

Aplicaciones:

- Baterías de Ión-Litio

Los datos se han tomado del capítulo 4 y corresponden al mercado de Quito:

Voltaje Nominal: 3,6 V

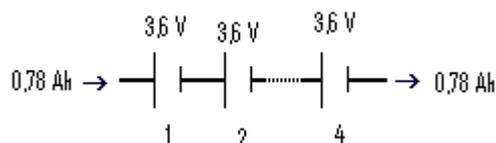
Carga Nominal: 0,78Ah

Densidad de Energía: 8,7 gr/wh

Transformando la potencia a watts, y calculando la energía consumida en una hora se tiene:

$$\text{Energía} = P \times t = 12 \times 745,7 \times 1 \text{ h} = 8948,4 \text{ Wh}$$

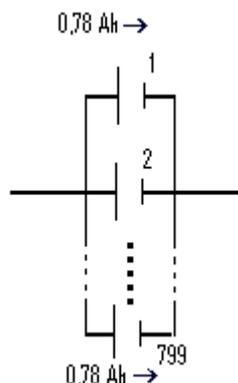
Para conseguir 12 V se necesita un paquete o sistema en topología en serie:



Son 4 baterías, que hacen un nuevo paquete de 14,4 V y carga 0,78 Ah. Cada uno de estos paquetes puede almacenar una energía de:

$$\text{Energía almacenada} = 14,4 \text{ V} \times 0,78 \text{ Ah} = 11,2 \text{ Wh}$$

Como se necesita 8948,4 Wh, se necesitan 799 paquetes (14.4V, 0.78 Ah) en topología paralela.



Esto significa 803 baterías básicas. Multiplicando la densidad de energía por la energía requerida, se tiene $8,7 \text{ gr/wh} \times 8948,4 \text{ Wh} = 78 \text{ Kg}$.

Y un costo de $8948,4 \text{ Wh} \times 7,8 \text{ USD/Wh} = 69798 \text{ USD}$

- Baterías de Ni-Cd

La unidad de batería básica que se encuentra en el mercado tiene los siguientes parámetros, ver capítulo 4:

Voltaje nominal = 1,2 V

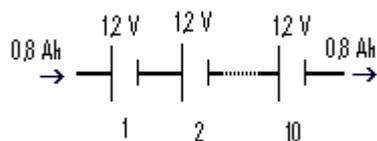
Carga nominal = 0,8 Ah

Densidad de Energía: 20 gr/wh

Transformando la potencia a watts, y calculando la energía consumida en una hora se tiene:

$$\text{Energía} = P \times t = 12 \times 745,7 \times 1 \text{ h} = 8948,4 \text{ Wh}$$

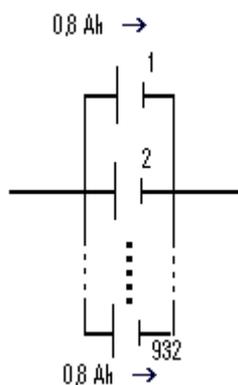
Para conseguir 12 V se necesita un paquete o sistema en topología en serie:



Son 10 baterías, que hacen un nuevo paquete de 12 V y carga 0,8 Ah. Cada uno de estos paquetes puede almacenar una energía de:

$$\text{Energía almacenada} = 12 \text{ V} \times 0,8 \text{ Ah} = 9,6 \text{ Wh}$$

Como se necesita 8948,4 Wh, se necesitan 932 paquetes (12V, 0,8 Ah) en topología paralela.



Esto significa 932 baterías básicas. Multiplicando la densidad de energía por la energía requerida, se tiene $20 \text{ gr/wh} \times 8948,4 \text{ Wh} = 179 \text{ Kg}$. Y un costo de $8948,4 \text{ Wh} \times 1,56 \text{ USD/Wh} = 13960 \text{ USD}$

- Baterías de Pb- Acido

La unidad de batería básica que se encuentra en el mercado tiene los siguientes parámetros, ver capítulo 4:

Voltaje Nominal: 12 V

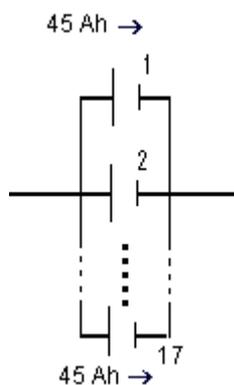
Carga Nominal: 45 Ah

Densidad de Energía: 27,8 gr/wh

La energía consumida en una hora es:

$$\text{Energía} = P \times t = 12 \times 745,7 \times 1 \text{ h} = 8948,4 \text{ Wh}$$

La unidad básica ya tiene 12 V, y su carga es 45 Ah, lo que en energía es $12 \text{ V} \times 45 \text{ Ah} = 540 \text{ Wh}$. Se necesita únicamente una configuración paralela de $(8948,4 / 540) = 16,6$ baterías.



Multiplicando la densidad de energía por la energía requerida, se tiene $27,8 \text{ gr/wh} \times 8948,4 \text{ Wh} = 249 \text{ Kg}$. Y un costo de $8948,4 \text{ Wh} \times 0,15 \text{ USD/Wh} = 1342,2 \text{ USD}$.

Anexo # 04, Costo de la Energía almacenada para baterías de Pb-secas

- a) Tabla con valores tomados del mercado local, en distintas páginas del internet para baterías de 12 V y tecnología de plomo ácido secas.

Voltaje (V)	Carga(Ah)	Costo(USD)	Energía(Wh)	USD/Wh
12	1,3	12	15,6	0,77
12	0,8	12	9,6	1,25
12	4	15	48	0,31
12	7	19	84	0,23
12	7	28	84	0,33
12	12	35	144	0,24
12	20	45	240	0,19
12	17	60	204	0,29
12	33	95	396	0,24
12	75	170	900	0,19
12	100	210	1200	0,18
12	100	229	1200	0,19

Cuadro # 27, Elaboración autor, 2010: Carga y costos de baterías Pb secas

- b) La gráfica siguiente se ha elaborado con los datos de la tabla anterior, y se puede observar como la energía almacenada en las baterías es directamente proporcional con el costo de las baterías, lo cual es algo lógico.

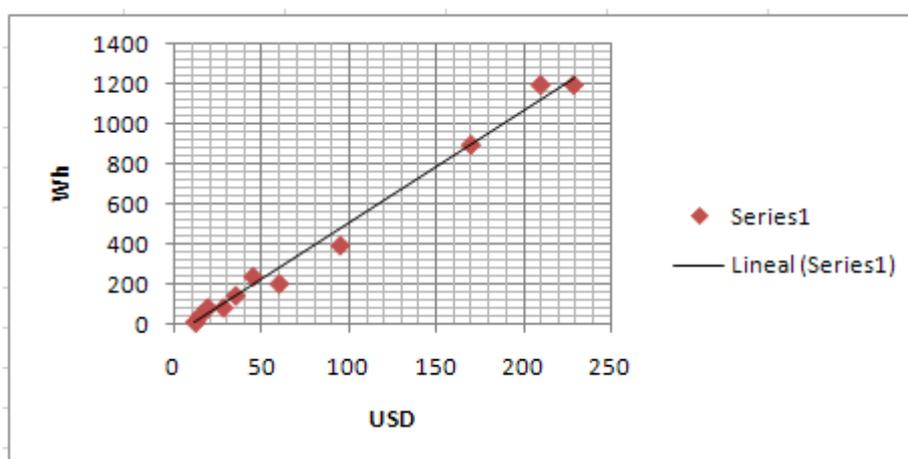


Fig. # 61 Elaboración autor, 2010: Relación entre carga y costo en baterías Pb-secas

Índice de figuras

Figura	Página
Fig. # 01, Velocidad preferida al manejar.....	16
Fig. # 02, Pareto de velocidad.....	16
Fig. # 03, Distancia recorrida diariamente.....	17
Fig. # 04, Pareto de Distancia.....	18
Fig. # 05, Gasto de Gasolina.....	18
Fig. # 06, Número de personas	19
Fig. # 07, Pareto de Número de Personas.....	20
Fig. # 08, Le gusta ganarles a los otros autos.....	20
Fig. # 09, Rapidez de manejo.....	21
Fig. # 10, Pareto de rapidez de manejo.....	22
Fig. # 11, Conocimiento sobre vehículos eléctricos.....	22
Fig. # 12, Disposición a cambiar de auto.....	23
Fig. # 13, Contaminación del ambiente.....	24
Fig. # 14, Preferencia de combustible.....	25
Fig. # 15, Número de autos en casa.....	25
Fig. # 16, Pareto de número de autos.....	25
Fig. # 17, Cuantas personas comparten el auto.....	26
Fig. # 18, Pareto de personas que comparten el auto.....	26
Fig. # 19, Gusto sobre autos.....	27
Fig. # 20, El auto que se tiene.....	27
Fig. # 21, Gusto por conducir un VE.....	28
Fig. # 22, Diagnóstico de Corpaire.....	29
Fig. # 23, Tipo de falla en un vehículo con motor Otto.....	30

Fig. # 24, Matriz Energética.....	33
Fig. # 25, Consumo Anual de Energía 2008.....	44
Fig. # 26, Consumo Anual de Energía 2009.....	44
Fig. # 27, Consumo diario de Energía 2008.....	45
Fig. # 28, Consumo diario de Energía 2009.....	45
Fig. # 29, Baterías en serie.....	50
Fig. # 30, Baterías en paralelo.....	51
Fig. # 31, Pila seca.....	53
Fig. # 32. Carga específica para distintos tipos de ánodos.....	57
Fig. # 33. La masa necesaria en cada batería para almacenar la misma carga.....	58
Fig. # 34, BATERIA ION-LITIO.....	58
Fig. # 35, Batería de Hidruro Metálico.....	59
Fig. # 36, Pila de Combustible.....	61
Fig. # 37, Batería de NiCd.....	62
Fig. # 38, Motores eléctricos para VE.....	67
Fig. # 39, Tarjeta de control de ME.....	68
Fig. # 40, Partes de un auto con motor Otto.....	71
Fig. # 41, Motor Otto.....	72
Fig. # 42, Motor eléctrico en VE.....	73
Fig. # 43, VE VS451, Ecuatoriano.....	74
Fig. # 44, Isetta BMW.....	75
Fig. # 45, VE Mini BMW.....	76
Fig. # 46, VE Chevrolet.....	76
Fig. # 47, VE Ford.....	77

Fig. # 48, VE Honda.....	78
Fig. # 49, VE VW.....	78
Fig. # 50, VE TATA.....	79
Fig. # 51, BEEPO PONY EV.....	80
Fig. # 52, VE CHANA BENNI BEV.....	80
Fig. # 53, VE FaamEcomile.....	81
Fig. # 54, VE USA GEM e4.....	81
Fig. # 55, VE JDM Aloes.....	82
Fig. # 56, VE tipo camión MEGA BEV.....	83
Fig. # 57, VE MODEC BEV	83
Fig. # 58, VE Piaggio Porter.....	84
Fig. # 59, VE Think City.....	84
Fig. # 60, Diagrama de cuerpo libre para un VE.....	87
Fig. # 61, Relación entre carga y costo en baterías Pb-secas.....	115

Índice de Cuadros

Cuadro	Página
Cuadro # 01, Matriz Energética.....	34
Cuadro # 02, Producción por fuente.....	35
Cuadro # 03, Energía Bruta por fuente.....	36
Cuadro # 04, Energía de Servicio Público.....	36
Cuadro # 05, Producción de Centrales Hidroeléctricas.....	37
Cuadro # 06, Nuevos proyectos Hidroeléctricos.....	37
Cuadro # 07, Producción hidro de centrales pequeñas.....	38
Cuadro # 08, Sitios de interés para proyectos Eólicos.....	39
Cuadro # 09, Capacidad de generación Eólica.....	39
Cuadro # 10, Sitios de interés Geotérmico.....	40
Cuadro # 11 Precio del KWh en algunos países.....	40
Cuadro # 12 Precio medio de Energía en Quito.....	41
Cuadro # 13, Producción de energía neta 2009.....	42
Cuadro # 14, Compra a empresas generadoras públicas.....	43
Cuadro # 15, Compra a empresas generadoras privadas, en el 2010.....	43
Cuadro # 16, Resumen de compra de Energía en el 2009.....	43
Cuadro # 17, Cátodos en baterías Ion-Li.....	56
Cuadro # 18, Densidad, volumen y precio de las Baterías.....	64
Cuadro # 19, Precio de baterías BOSCH.....	64
Cuadro # 20, Precio de baterías ECUADOR.....	64
Cuadro # 21, Precios de ME para VE.....	71
Cuadro # 22, Resumen de oferta de VE.....	85

Cuadro # 23, Coeficientes de rodadura.....	87
Cuadro # 24, Costos de insumos de un auto tradicional.....	100
Cuadro # 25, Costos de insumos de un VE.....	101
Cuadro #26, Equivalencias físicas importantes.....	111
Cuadro #27, Carga y costos de baterías Pb-secas.....	115

Índice de Fórmulas

Fórmula	Página
F1, Tamaño de la muestra.....	14
F2, Fuerza electromotriz de una pila.....	52
F3, Reacción química en una pila seca de Zinc.....	53
F4, Reacción química en una pila seca de Hg.....	53
F5, Reacción química en batería de Plomo.....	54
F6, Reacción química en pila de combustible.....	60
F7, Rendimiento de una pila de combustible.....	62
F8, Reacción química en batería de Ni-Cd.....	62
F9, Ley de Faraday.....	67
F10, Velocidad de giro, motor asíncrono AC.....	69
F11, Potencia de un motor asíncrono AC.....	69
F12, Torque de un ME.....	70
F13, Fuerzas en X sobre un VE.....	87
F14, Fuerzas en Y sobre un VE.....	87
F15, Masa total del auto.....	87
F16, Fuerza motriz de un auto.....	88
F17, Energía para mover un VE.....	88
F18, Porcentaje de regeneración.....	88
F19, Ecuación general de la energía para mover un VE.....	88
F20, Energía de un VE con movimiento horizontal.....	90
F21, Velocidad final en el pique en función del tiempo.....	90
F22, Velocidad final en el pique en función de la distancia.....	90
F23, Fuerza para producir un pique.....	91
F24, Combustión de la gasolina.....	98