

Universidad Internacional del Ecuador



Facultad de Ciencias Técnicas

Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

Trabajo de Integración Curricular

Artículo de Investigación para la obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Simulación de un tren motriz eléctrico aplicable a un vehículo liviano a través del análisis de sus características para optimizar la eficiencia de su funcionamiento en la UIDE.

Leonardo Andrés Pinto Castillo

Franklin Herbert Sigchos Morales

Director: Msc. Vladimir Azanza

Codirector: Msc. Denny Guanuche

Quito, noviembre 2020

Certificado

Nosotros, SIGCHOS MORALES FRANKLIN HERBERT y PINTO CASTILLO LEONARDO ANDRÉS declaramos bajo declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado profesional y que se ha consultado según la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador para que se publique y divulga en internet, según lo establecido en la ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Firma del Graduado

Franklin Herbert Sigchos Morales



Firma del Graduado

Leonardo Andrés Pinto Castillo

Yo, Ing. AZANZA LUTSAK EDUARDO VLADIMIR, Msc., certifico que, conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable tanto de su originalidad y autenticidad como de su contenido.



Firma del director de trabajo de grado

Ing. Eduardo Vladimir Azanza Lutsak, Msc.

ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

La Biblioteca de la Universidad Internacional del Ecuador se compromete a:

1. No divulgar, utilizar ni revelar a otros la **información confidencial** obtenida en el presente trabajo, ya sea intencionalmente o por falta de cuidado en su manejo, en forma personal o bien a través de sus empleados.
2. Manejar la **información confidencial** de la misma manera en que se maneja la información propia de carácter confidencial, la cual bajo ninguna circunstancia podrá estar por debajo de los estándares aceptables de debida diligencia y prudencia.

MARIA GABRIELA FERNANDEZ
DIRECTORA DE GESTION CULTURAL

Dedicatoria

Yo Leonardo Pinto, dedico esta investigación de culminación de carrera a todas aquellas personas que me han apoyado durante este camino, en especial a mi padre, madre y hermana que siempre han estado a mi lado todo este tiempo ya que sin ellos y su apoyo nada de esto sería posible.

Dedico este trabajo a la comunidad ecologista, y a la naturaleza en si, ya que con este trabajo espero inspirar a nuevas generaciones y a continuar mi formación en vehículos eléctricos para un futuro mas sustentable en nuestro planeta y prevenir catástrofes causantes por el calentamiento global impulsadas por la humanidad.

Igualmente, quiero dar un espacio especial para dedicar esto a mis amigos, quienes me han apoyado durante este año para seguir adelante y me alentado para culminar esta etapa de vida tan especial.

Finalmente hago mención especial a los alumnos de próximas generaciones, para que vayan tras de sus sueños y nunca dejen de perseguirlos hasta cumplirlos, ya que con mucha dedicación y esfuerzo se logran. Para mi es un honor poder culminar este trabajo y dar el primer paso a la rehabilitación del vehículo eléctrico UIDE, el cual estamos seguros que servirá para muchos estudios a futuro acerca de una tecnología que propone cosas muy interesantes para el futuro de la industria automotriz.

Leonardo Andrés Pinto Castillo

Dedicatoria

El presente artículo científico de graduación se lo dedico principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres Franklin Sigchos y Yolanda Morales quienes han sido la principal fuente de apoyo a lo largo de mi carrera profesional y en todos los aspectos de la vida, dándome aliento y seguridad para alcanzar mis metas. De igual manera se lo dedico a mis dos hermanas Anahí y Karla, quienes me han apoyado a lo largo de todos mis estudios dándome motivación e inspiración para fortalecer mis conocimientos y aptitudes.

Y finalmente a todas aquellos amigos, compañeros, maestros y tutores quienes toman de su tiempo para leer y conocer de la presente investigación que he realizado con esfuerzo para ellos.

Franklin Herbert Sigchos Morales

Agradecimientos

Agradezco a la universidad y a todos los docentes por su tiempo y esfuerzo invertido en sus estudiantes para formar profesionales de calidad para el desarrollo de nuestra sociedad, quiero dar mención especial a nuestros coordinadores Denny Guanuche y Vladimir Azanza por su iniciativa en este proyecto y por la guía que nos han brindado durante este.

De igual manera, a nuestros compañeros quienes han aportado para que este macroproyecto de rehabilitación pueda ser desarrollado, y por su dedicación en este. Espero que todos los proyectos culminen de la mejor manera.

A mi familia, a quien le debo todo esto, agradezco por creer en mí y apoyarme en mis proyectos, a mi tía Elizabeth que siempre me brinda su sabiduría con sus consejos.

Leonardo Andrés Pinto Castillo

Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento especialmente a Dios, quien nos brinda sabiduría y entendimiento para llevar a cabo nuestras metas. Por brindar bienestar a mi familia para que con esfuerzo y dedicación cumplamos nuestros objetivos cada día y llevemos una vida plena.

Agradezco también a mis padres Franklin Sigchos y Yolanda Morales, ya que gracias a los innumerables esfuerzos y actos de amor que han hecho por nuestra familia he podido convertirme en la persona que soy hoy en día y de la cual me siento orgulloso.

A mis dos hermanas Anahí y Karla que las quiero muchísimo porque han sido pilares fundamentales para mi crecimiento y formación como hermano y amigo.

A mis abuelos Rene, Celin, María y Dolores por educar y criar a quienes hoy son mis padres y además agradecerles por su sabiduría, ya que con sus palabras, enseñanzas y recuerdos me han ayudado a sobrellevar innumerables problemas. En especial a mi abuela Dolores y mi abuelo Celin que en paz descansen, estoy seguro de que me guían cada día.

Para finalizar agradezco de manera muy profunda a todos aquellos que junto a mi conformamos la comunidad universitaria de la UIDE por compartir tantos años juntos llenos de buenos momentos y experiencias increíbles a lo largo de nuestra formación profesional, en especial a mis tutores de grado Vladimir Azanza y Denny Guanuche por su gran apoyo a lo largo del desarrollo de este artículo.

A todas estas personas les agradezco por llenar mi vida de preciados, buenos y duros momentos que hemos vivido juntos y que sepan que todo eso lo llevare siempre en mi corazón.

Franklin Herbert Sigchos Morales

ÍNICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION	12
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12
3.	REQUERIMIENTOS DEL TREN MOTRIZ.....	13
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
5.	CONCLUSIONES.....	24
6.	REFERENCIAS.....	25
	ANEXOS	27
	Anexo 1 Objetivo General y específicos	27
	Anexo 2 Justificación	27
	Anexo 3 IEA, «CO2 Emissions,» Data and Statistics, 2020.	31
	Anexo 4 A European Strategy for low-emission mobility	35
	Anexo 5 Naciones Unidas. (15 de abril de 2015). Diez Principios.....	38
	Anexo 6 Thomas, C. (2009). Fuel cell and battery electric vehicles compared. Virginia, EEUU.: ScienceDirect.	39
	Anexo 7 All-Electric Vehicles.....	56
	Anexo 8 Environmental Implication of Electric Vehicles in China.....	58
	Anexo 9 EPMOP Movilidad y Obras, «Electrolineras Quito,» 2019.....	59
	Anexo 10 A. d. D. M. d. Quito, «Resolución No. A-020 Artículo 11.- Programaciones Especiales,» Quito, 2019.	61
	Anexo 11 Gino Sovran, General Motors Research and Environmental Staff, Warren, Michigan 48090-9055.....	62
	Anexo 12 Manual Práctico del Automóvil – Mecanismos, Georg Westermann Verlag, EDITORIAL REVERTE. S.A 1980.....	65
	Anexo 13 S. Dhameja, Electric Vehicle Battery Systems, Elsevier, 2001.....	69
	Anexo 14 A Guide to Understanding Battery Specifications MIT Electric Vehicle Team, December 2008.....	70
	Anexo 15 M. Carvajal, «Las calles en el Centro de Quito alcanzan hasta 23% de gradiente,» El Comercio.	77
	Anexo 16 Asamblea Nacional del Ecuador, Ley Organica de Transporte Terrestre, tránsito y seguridad vial, 2016.	82
	Anexo 17 M. Tutuianu, A. Marotta, H. Steven, E. Ericsson, T. Haniu, N. Ichikawa y H. Ishii, «Development of a World-wide Worldwide harmonized Light duty driving Test Cycle (WLTC),» DHC subgroup, 2013.	82
	Anexo 18 S. C. Walpole, D. Prieto-Merino y P. Edwards, «The weight of nations: an estimation of adult human biomass,» BMC Public Health, n° 439, p. 12, 2012.	85
	Anexo 19 G. Cevallos Paredes, J. F. Cueva y K. A. Pinto, «Quito, ciudad de altura,» Rev. Inv Acad. Educación, vol. 2, p. 14, 2018.....	86
	Anexo 20 L. Valoen y M. Shoesmith, «The Effect of PHEV and HEV duty Cycles on Battery and Battery Pack Performance,» Research Gate, Porsgrunn, Noruega, 2016.....	87

Anexo 21 European Commission, «A European Strategy for low-emission mobility,» 20 July 2016.	99
Anexo 22 Lámina para calculo de Área Frontal de vehículo Datsun 1000 EV.....	101
Anexo 23 Toma de medidas para área frontal del vehículo Datsun 1000 EV.....	102
Anexo 24 Medición de masa del vehículo Datsun 1000 EV en su estado actual	102
Anexo 25 Especificaciones generales de transmisión de manual de usuario Datsun 1000.....	103
Anexo 26 Curso MOOC edX “Electric and Conventional Vehicles” por Chalamers University.	104
Anexo 27 Descripción del producto MATLAB	105
Anexo 28 Descripción del software SIMULINK.....	106
Anexo 29 Sistemas disponibles en el mercado local para conversiones de autos a eléctricos. Rocco Performance Ecuador, Distribuidor autorizado de Organización Autolibre para Enpower en Ecuador.	108
Anexo 28 Modelamiento del vehículo en Simulink	109

SIMULACIÓN DE UN TREN MOTRIZ ELÉCTRICO APLICABLE A UN VEHÍCULO LIVIANO A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE SUS CARACTERÍSTICAS PARA OPTIMIZAR LA EFICIENCIA DE SU FUNCIONAMIENTO EN LA UIDE.

Ing. Vladimir Azanza L. MSc¹, Leonardo Pinto C.³, Franklin Sigchos M.⁴

¹ *Maestría de sistemas de energía térmica – Universidad de Sevilla, Ingeniero de la Energía / Universidad Rusa de la Amistad de los Pueblos Obtenido, edazanzalu@uide.edu., Quito – Ecuador.*

³ *Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, lepintoca@uide.edu.ec, Quito – Ecuador.*

⁴ *Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, frsigchosmo@uide.edu.ec, Quito – Ecuador.*

RESUMEN

El vehículo eléctrico Datsun 1000 EV de la UIDE, precisa una rehabilitación y optimización de su tren motriz para retomar su funcionamiento. En la actualidad los vehículos propulsados por un MCI continúan aportando en la polución por la emisión de gases contaminantes. Las nuevas normativas impulsan a la utilización de energías alternativas y renovables para el transporte en vehículos. Para modelar el vehículo eléctrico Datsun 1000 EV se analizan las fuerzas actuantes de resistencia al movimiento para determinar características del motor eléctrico, y basándose en una índole urbana para la utilización del vehículo se determina una autonomía estimada con la ayuda del software de simulación Simulink y la librería QSS de ETH Zúrich (Instituto Federal de Tecnología de Zurich). Se obtienen como resultados que un sistema con un motor de 30kW es adecuado para esta aplicación, ya que cumple con los parámetros establecidos como puntos de máxima exigencia mediante un ajuste en aceleración en pendientes. La batería deberá tener una autonomía cercana a los 85kms como mínimo para una conducción dentro de la ciudad de Quito y sus puntos de mayor interés a cada extremo de la ciudad, esto define una capacidad en la batería mínima de 10,71kWh, para que cumpla con requerimientos del sistema y con la autonomía mínima. En conclusión, el vehículo cumple con los requerimientos propuestos con la utilización de un sistema de 72V-30kW, las baterías cumplen con las exigencias de autonomía y potencia solicitada por el motor con una capacidad de 13,53kWh. El modelamiento del automóvil nos determina un consumo de 10,11kWh/100kms en función del ciclo de pruebas NEDC.

Palabras Clave: Fuerza, Potencia, Autonomía, Capacidad, motor, batería, Datsun 1000 EV.

ABSTRACT

The vehicle Datsun 1000 EV that belongs to UIDE requires fixing and optimizing its power train in order to run again. Vehicles that use ICE are and have contributed to high levels of pollution regarding their tailpipe emissions. Today's regulations give an impulse to alternative energy technologies for vehicle transportation. In order to do the modeling of the EV powertrain applied to the studied vehicle it's mandatory to calculate the forces acting against the vehicle movement to determine the electric machine specifications, and by analyzing distances between different points of interest in Quito, battery capacity can be determined. As a tool for modeling of the vehicle Simulink software us used with the QSS library from ETH Zurich (Federal Institute of Technology Zurich). A motor with 30kW of power can fit the vehicles needs, by adapting climbing middle gradients acceleration. To accomplish vehicle minimum range is determined to be 85kms and max power of charge and discharge, battery has to be able to stock 10,71kWh. In conclusion, this vehicle can operate under certain condition by using a 70V-30kW system, battery must be at least 13,53kWh capable to meet motor and range requirements. Finally, by modeling the vehicle Datsun 1000 EV, consumption will be 10,11kWh/100kms under NEDC cycle testing.

Key Words: Force, Power, Range, Capability, motor, battery, Datsun 1000 EV.

1. INTRODUCCION

El vehículo eléctrico Datsun 1000 EV perteneciente a la escuela de Ingeniería Automotriz de la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Internacional del Ecuador, precisa una rehabilitación y optimización de su tren motriz eléctrico para retomar su funcionamiento.

Para determinar de manera eficaz el funcionamiento deseado de este vehículo se plantea redefinir el sistema motriz eléctrico de este, tomando en cuenta un rendimiento apto para un entorno urbano. Es por esto que un proceso importante a seguir como parte de la rehabilitación de este vehículo es la simulación del tren motriz para el auto sobre el cual se aplicara este estudio. De esta manera se determinará a través de un análisis de las distintas propiedades presentes en el automóvil, las características que deben tener las partes principales que componen al tren motriz de un vehículo eléctrico para garantizar fiabilidad y eficiencia en su funcionamiento. Consiguiente a este estudio, se opta por la implementación del nuevo sistema motriz.

En la actualidad la industria automotriz y el motor de combustión interna con su alto nivel de madurez han motivado una gran inserción de su uso causando serios problemas de contaminación del medio ambiente con una aportación mayor al 24% de emisiones de CO_2 . [1] Las normas de regulación de emisiones y la promoción de la eficiencia energética constituyen un estímulo para promocionar energías más limpias y eficientes como los vehículos eléctricos a batería (VEB) y a pila de combustible de hidrogeno (FCV) siempre y cuando la generación de energía provenga de fuentes renovables. [2]

En Ecuador se está presenciando una estrategia para impulsar al cambio hacia vehículos eléctricos, con la reducción de aranceles de estos autos, sus componentes y cargadores a 0%. [3]. En el DM Quito también apreciamos el aporte municipal para una mayor inmersión de los vehículos eléctricos con la instalación de

infraestructura de carga a través de la ciudad [4] y otros incentivos como una mayor libertad de circulación de estos en la ciudad con restricción “Hoy no circula” de 8:30 a 9:30 y 17:30 a 19:00, restricción únicamente válida para Vehículos eléctricos a batería. [5]

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El principio de un vehículo eléctrico a batería, abreviado VEB, es sencillo en comparación con un vehículo a combustión interna. Estos vehículos están compuestos por tres componentes básicos, estos son; el motor eléctrico, un controlador y los almacenadores de energía o baterías.

El tren motriz de un vehículo eléctrico está compuesto básicamente por estos tres elementos mencionados anteriormente. El motor eléctrico es aquel que brinda la fuerza motriz a las ruedas sobre las cuales está conectado para generar movimiento del vehículo, este al no estar en capacidad de controlarse a sí mismo, requiere de una parte fundamental para el control de este a distintas cargas, el aparato encargado del control del motor eléctrico se lo denomina *controlador*. La energía con la cual se alimenta al sistema proviene del almacenamiento de energía eléctrica a través de baterías, de la capacidad que tenga el paquete de baterías instalado en el vehículo dependerá la autonomía de este. El almacenamiento de baterías proviene de la red eléctrica local (pública o autónoma), o bien de la generación de energía a través de la función freno regenerativo en el vehículo. Para adaptar la carga de la batería con una red doméstica, se requiere de un regulador o más conocido como cargador, el cual adapte la energía de entrada para la carga estable del paquete de baterías. [6]

Una de las partes fundamentales de un vehículo eléctrico es su motor, es el encargado de generar movimiento al eje que mueve a las ruedas del vehículo, transformando energía eléctrica en energía mecánica. En el caso de los vehículos eléctricos los motores

precisan ciertas características para ser operables tanto en bajas como en altas revoluciones para brindar una conducción acogedora al conductor. [6]

Un motor trifásico sin escobillas utiliza la inducción de un campo magnético giratorio en el estator para mover al rotor a la misma velocidad de giro. Este motor está construido por un bobinado trifásico en el estator, al ser energizado produce un campo magnético rotatorio, el rotor está construido como una jaula de ardilla, y electricidad es inducida en las barras de este lo cual produce movimiento en el rotor, esto sucede gracias a que según la ley de Faraday dice que un conductor al ser inducido con electricidad genera corriente en los conductores del rotor, y por otro lado, de acuerdo a la ley de Lawrence fuerzas perpendiculares se producirán en el rotor por donde circula corriente que permitirá el giro de este dentro del estator. [7]

Las baterías dentro del tren motriz de un vehículo eléctrico son el único componente capaz de almacenar energía, y resulta ser el más pesado y costoso entre todos los dispositivos que forman al VEB. Las baterías comúnmente utilizadas tanto para VEB o vehículos híbridos son las baterías de plomo de ciclo profundo, níquel-metal y iones de litio. Debido a su mayor eficiencia energética, en otras palabras, por tener mayor capacidad de almacenamiento por cada kilogramo de batería. [8]

El software MATLAB es un programa diseñado para resolver problemas de índole científico, es un “laboratorio de matrices” como su nombre lo indica en inglés. Este programa es capaz de procesar variables, realizar cálculos y permite generar gráficas en función de las matrices o variables. Es aplicada en procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, visión artificial, comunicaciones, finanzas computacionales, diseño de control, robótica y muchos otros campos. Simulink es un entorno de programación visual, que funciona sobre el entorno de programación

Matlab que sirve para simular el comportamiento de los sistemas dinámicos. [9]

3. REQUERIMIENTOS DEL TREN

MOTRIZ

El vehículo, en cualquier tipo de tren motriz, cumple con ciertos requerimientos para vencer las fuerzas actuantes sobre este para obtener movimiento en diferentes situaciones de gradientes. Esta investigación se enfocará en las fuerzas longitudinales actuantes sobre el vehículo, debido que estas son las principales en actuar sobre el tren motriz para oponerse al movimiento del vehículo. [10]

La Fuerza aerodinámica es una fuerza de longitudinal actuante en el vehículo, esta se define como la resistencia a mover un objeto por el aire en función de la velocidad que este contenga. [11] Esta fuerza está dada por:

$$F_{aero}(V_{veh}) = C_d * A_f \frac{\rho_{air} * V_{veh}^2}{2} \quad \text{Ec. [3.1]}$$

En donde se analiza la fuerza de resistencia aerodinámica al producto del coeficiente de arrastre (C_d), el área frontal del vehículo (A_f) y la mitad del producto entre la densidad del aire (ρ_{air}) y la velocidad del vehículo al cuadrado (V_{veh}^2). [10]

La fuerza de resistencia a la rodadura es la oposición que se presenta por el contacto de las ruedas con la calzada, esta se considera una fuerza constante durante cada ciclo de conducción, de igual manera mientras el vehículo se encuentre en reposo esta es igual a cero. La resistencia a la rodadura se analiza de la siguiente manera:

$$F_{ROLL}(\alpha) = \begin{cases} 0 \Rightarrow V_{veh} = 0 \\ C_r * m_{veh} * g * \text{Cos}(\alpha) \Rightarrow V_{veh} \neq 0 \end{cases} \quad \text{Ec. [3.2]}$$

Esta es una fuerza que resulta del producto del coeficiente a la rodadura (C_r), la masa del vehículo (m_{veh}) y el coseno del ángulo de gradiente ($\text{Cos}(\alpha)$). [10]

La tercera fuerza actuante sobre el vehículo de manera longitudinal es la Fuerza de gradiente, esta es la oposición adicional al movimiento dada cuando existe una variación entre la altura

y distancia en la horizontal del camino. Viene dada de la siguiente manera:

$$F_{Grad}(\alpha) = m_{veh} * g * \sin(\alpha)$$

Ec. [3.3]

Esta fuerza es el producto de la masa del vehículo (m_{veh}), la constante gravitacional (g) y el seno del ángulo de gradiente ($\sin(\alpha)$) [10]. Consiguientemente, también se tiene una fuerza neta la cual se define como la fuerza sobrante después de que una fuerza de tracción se vea alterada por fuerzas aerodinámicas, de rodadura y de gradiente. Es decir, es la fuerza sobrante una vez que la fuerza de tracción vence las fuerzas oponentes al movimiento, es utilizada para dar movimiento al cuerpo sobre la cual se aplica dicha fuerza de tracción. Esta se representa de la siguiente manera [12]:

$$F_{net} = F_{traction} - F_{aero} - F_{gradient}$$

Ec. [3.4]

Esta fuerza está definida por la segunda ley de Newton, en donde se relaciona la masa y la aceleración aplicada sobre un cuerpo la cual genera movimiento en esta. Cuando la fuerza neta es igual a cero, el cuerpo en reposo o, en caso de estar en movimiento, mantiene una velocidad constante.

$$F_{net} = m_{veh} * a$$

Ec. [3.5]

Todas estas fuerzas mencionadas anteriormente, son importantes para definir la fuerza de tracción, la cual se representa de la siguiente manera:

$$F_{traction}(V_{veh}, a_{veh}, \alpha) = F_{aero} + F_{roll} + F_{grad} + F_{net}$$

Ec. [3.6]

Para calcular la fuerza de tracción necesaria en un punto del funcionamiento de un tren motriz en un vehículo es importante determinar las fuerzas que afectan a este cuerpo de manera longitudinal. Esta fuerza está definida como la fuerza ejercida sobre un cuerpo para alterar el reposo de este, en el caso del vehículo, la fuerza que ejercen las ruedas sobre el pavimento para mover al automóvil. [10]

Para definir la fuerza necesaria que debe producir el tren motriz para mover al vehículo eléctrico Datsun 1000, es importante determinar los requerimientos del vehículo, estos están directamente relacionados con el entorno donde el vehículo transitará, en la ciudad de Quito. Dentro de los requerimientos se especifican las posibles variaciones de gradiente, velocidad deseada del vehículo para un entorno urbano y la aceleración deseada para diferentes escenarios.

La ciudad de Quito al estar asentada en las faldas del volcán Pichincha se caracteriza por tener una geografía irregular en varios sectores, por lo cual las pendientes varían entre 10% al 23% en su máximo nivel. [13]

En la ciudad de Quito los límites de velocidad para vehículos livianos según el Art. 191 de la Ley de Tránsito establece los límites de velocidad dentro de la urbe entre 50-60km/h, mientras que para vías perimetrales el límite se establece en 90km/h. [14]

Tabla 1. Parámetros del vehículo Datsun 1000 EV.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Masa del vehículo	m_{veh}	885,8	kg
Área frontal	A_f	1,3	m ²
Coeficiente Resistencia rodadura	c_r	0,01	-
Coeficiente de arrastre aerodinámico	c_d	0,45	-
Densidad del aire	ρ_{aire}	1,293	kg/m ³
Coeficiente gravitacional	g	9,81	m/s ²
Gradiente	G	10-25	%

Fuente. Autores.

Para la modelación del vehículo se utilizará el nuevo ciclo de manejo europeo NEDC, al ser un modelo ampliamente utilizado y normalizado en varias partes del mundo ya que representa características típicas de manejo alrededor de Europa, este se encuentra en uso desde el 1997 para la medición y modelado de trenes motrices; adicional, mantiene un patrón de cambios de marcha para vehículos con transmisión manual. Es un ciclo simula dos

secciones de manejo urbano y una en la autopista. [15]

Considerando los datos del entorno de manejo y límites de velocidad, se consideran los siguientes datos para el análisis de requerimientos del tren motriz para este vehículo (Datsun 1000 EV).

La masa del vehículo se considera al vehículo en su estado actual, previamente convertido a eléctrico y sin baterías, adicionando la masa de dos personas para determinar un funcionamiento adecuado con una carga máxima real promedio y considerando un peso aproximado de un paquete de baterías de litio.

$$m_{veh} = m_o + (2m_{ocupante}) + m_B$$

Ec. [3.7]

Considerando que la masa del vehículo en su estado original es: 630 kg; la masa promedio de cada ocupante: 67.9 kg [16]; y la masa aproximada del paquete de baterías: 120kg.

$$m_{veh} = 885,8 \text{ kg}$$



Figura 1. Medición de masa del vehículo Datsun 1000.

Fuente. Autores.

El área frontal del vehículo Datsun 1000 se calcula con la medición de las superficies que abarcan únicamente el plano frontal del vehículo.

El coeficiente de resistencia a la rodadura se determina como la resistencia que generan las llantas contra la calzada para ejercer movimiento, se considera un valor de 0.010 para neumáticos en contacto con calzadas de asfalto. [17]

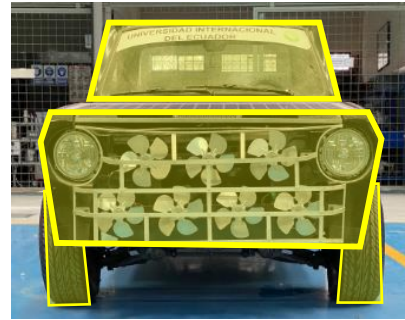


Figura 2. Determinación de superficie frontal Datsun 1000 EV.

Fuente. Autores.

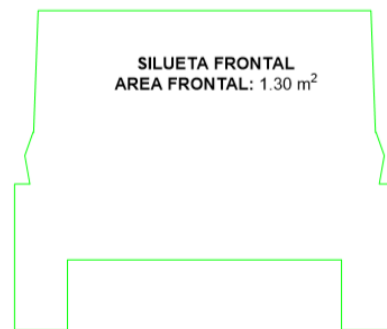
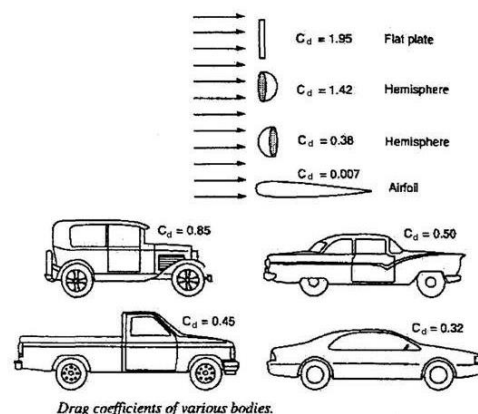


Figura 3. Silueta y área frontal vehículo Datsun 1000 EV.

Fuente. Autores.

El coeficiente de arrastre aerodinámico se considera con la forma del vehículo, como se puede observar en la figura siguiente los coeficientes relativos de acuerdo con la forma de cada uno.



Drag coefficients of various bodies.

Figura 4. Coeficientes de resistencia aerodinámicos de diferentes cuerpos.

Fuente. [18]

Este vehículo se considera con un c_d de 0,45 debido a su forma con ángulos pronunciados en su perfil.

La Densidad del aire es una variable estándar, que tiene mínimas variaciones en función de la

altura, temperatura y humedad. Para este caso se considera la densidad estándar del aire debido que estas variaciones no generan un cambio radical sino despreciable de la fuerza aerodinámica del vehículo; la densidad de aire estándar se aproxima a 1,293 kg/m³. [19]

Tabla 2. Requerimientos del vehículo Datsun 1000 EV.

Nº	Velocidad del vehículo [km/h]	Aceleración del vehículo [m/s ²]	Gradiente [%]
1	20	1	25
2	90	0	0
3	0	4	0
4	60	2	10

Fuente. Autores.

El vehículo requiere acelerar desde bajas velocidades en gradientes positivas de 20% para superar fácilmente cualquier desnivel positivo del área de análisis. También debe mantener una velocidad constante y acelerar sin dificultad en gradiente plana. Y para el caso de gradientes negativas, ser capaz de mantener a una velocidad adecuada a los límites.

Con el análisis de datos que antecede podemos determinar las fuerzas que actúan sobre el vehículo.

En principio, analizamos la Fuerza de Resistencia a la Rodadura (F_{ROLL}), que viene dada por:

$$F_{ROLL}(\alpha) = \begin{cases} 0 \Rightarrow V_{veh} = 0 \\ C_r * m_{veh} * g * \cos(\alpha) \Rightarrow V_{veh} \neq 0 \end{cases}$$

Ec. [3.2]

Para esta fuerza es importante considerar las gradientes con las que se va a trabajar ya que con estas se determina en función del ángulo con cual se calculara la fuerza F_{ROLL} . Los ángulos para las diferentes gradientes son los siguientes:

Tabla 3. Valores de ángulo y cosenos en función de las gradientes.

Gradiente [%]	Angulo [°]	a	Cos(a)	F _{Roll} [N]
0	0	1		86,90
10	5,71	0,995		86,46
25	14,03	0,97		84,29

Fuente. Autores.

Se aprecia que los valores del coseno para cada gradiente son muy cercanos, este valor se considera al mayor para poder superar cualquier fuerza de rodadura presente cuando $V_{VEH} \neq 0$ con un valor de 86,90N.

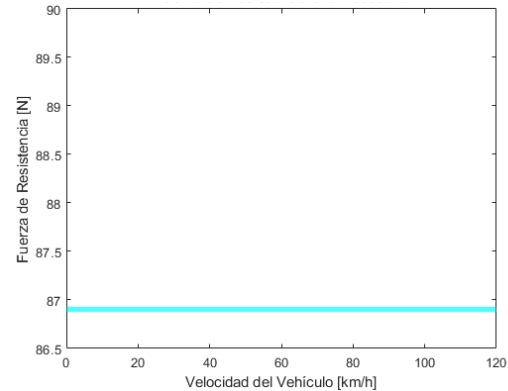


Figura 5. Fuerza de Resistencia a la Rodadura.

Fuente. Autores.

La Fuerza Aerodinámica (F_{AERO}) se calcula en función de la velocidad del vehículo y se representa de la siguiente manera.

$$F_{aero}(V_{veh}) = C_d * A_f \frac{\rho_{air} * V_{veh}^2}{2}$$

Ec. [3.1]

Se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4. Valores de Fuerza aerodinámica para diferentes velocidades del vehículo.

Velocidad del vehículo [km/h]	F _{Aero} [N]
0	0,00
20	11,67
60	105,06
90	236,38

Fuente. Autores.

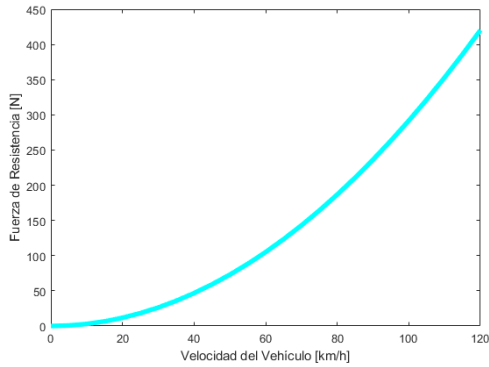


Figura 6. Fuerza de resistencia Aerodinámica.
Fuente. Autores.

Como se observa, esta fuerza es igual a cero en reposo, pero acorde aumenta la velocidad del vehículo, esta aumenta proporcionalmente al causar mayor presión sobre este.

La suma de las fuerzas de resistencia aerodinámicas y de rodadura resulta en una fuerza de resistencia, esta se presenta en cualquier situación en la que se encuentre el vehículo; es igual a:

$$F_{resistance} = F_{roll} + F_{aero}$$

Ec. [3.8]

Esta es nos determina los siguientes resultados.

Tabla 5. Cálculo de Fuerza de Resistencia para requerimientos del vehículo.

Velocidad del vehículo [km/h]	Aceleración del vehículo [m/s ²]	Gradiente [%]	Fuerza de resistencia [N]
20	1	25	101,43
60	2	10	194,82
90	0	0	326,14
0	4	0	89,76

Fuente. Autores.

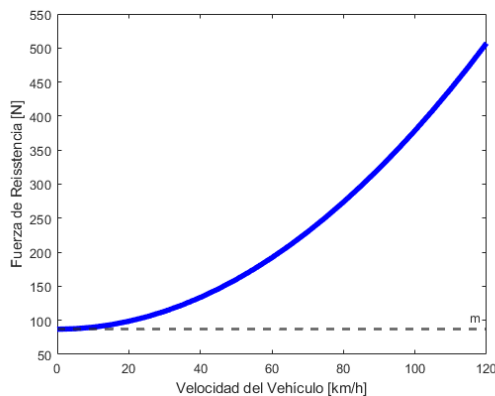


Figura 7. Fuerza de Resistencia
Fuente. Autores

La fuerza ocasionada por la gradiente es la resultante de a normal aplicada sobre el vehículo al este enfrentarse a una variación de ángulo en el camino, lo cual genera una resistencia adicional.

Tabla 6: Valores de ángulos y senos en función de las gradientes.

Gradiente [%]	Angulo a [°]	Sen(a)
0	0	0
10	5,71	0,099
25	14,03	0,242

Fuente. Autores.

Cabe recalcar que esta fuerza únicamente se presenta cuando hay variación en el ángulo del camino. Estas se expresan de la siguiente manera.

$$F_{Grad}(\alpha) = m_{veh} * g * \sin(\alpha)$$

Ec. [3.3]

Se realiza el análisis para cada gradiente, de donde se obtienen los siguientes resultados.

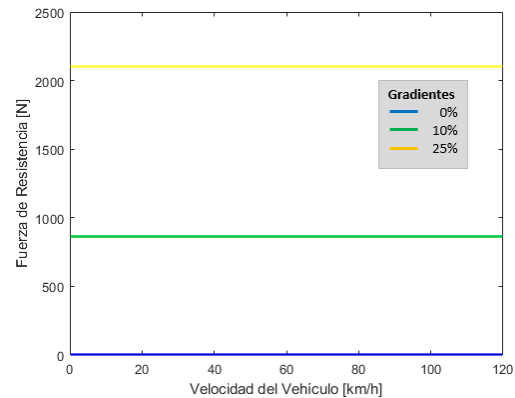


Figura 8. Fuerzas de Gradiente para diferentes requerimientos.3630.10

Fuente. Autores.

Se observa que la fuerza de gradiente se incrementa proporcionalmente con el aumento en ángulo de la gradiente.

Tabla 7. Resultados de Fuerzas resistentes con variación de gradientes.

Gradiente [%]	F _{GRAD} [N]
0%	0
10%	860,28
25%	2102,91

Fuente. Autores.

Para obtener la fuerza neta, se basa en la segunda Ley de Newton para los requerimientos propuestos para este vehículo.

$$F_{net} = m_{veh} * a \quad \text{Ec. [3.5]}$$

Tabla 8. Fuerza neta de aceleración del vehículo

Aceleración vehículo [m/s ²]	Fuerza Neta [N]
0	0
1	885,8
2	1771,6
3	2657,4
4	3543,2

Fuente: Autores.

Se observa que la fuerza Neta se incrementa proporcionalmente con la aceleración requerida.

Una vez obtenidos estos datos, se analiza la fuerza de tracción que necesita el vehículo para moverse. Es importante hacerlo en función de los requerimientos básicos del vehículo en base a la aceleración, gradiente y velocidad.

$$F_{tracción}(V_{veh}a_{veh}, \alpha) = F_{aero} + F_{roll} + F_{grad} + F_{net} \quad \text{Ec. [3.6]}$$

Tabla 9. Fuerza de tracción resultante para parámetros Datsun 1000 EV.

Velocidad del vehículo [km/h]	Aceleración del vehículo [m/s ²]	Gradiente [%]	Fuerza de Tracción [N]
20	1	25 ≈ 14,03°	3087,28
90	0	0	323,28
0	4	0	3630,10
60	2	10 ≈ 5,71°	2823,84

Fuente. Autores.

Con esto se obtiene varios puntos que se grafican para determinar el área de funcionamiento del tren motriz de acuerdo con los requerimientos.

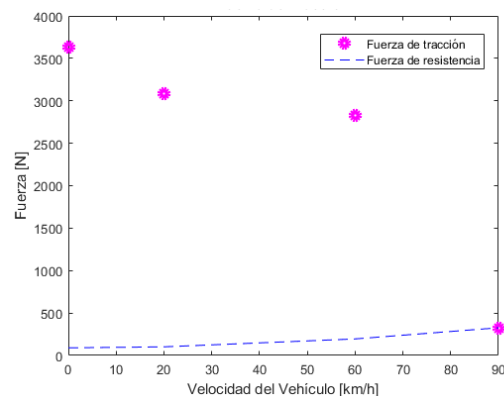


Figura 9. Fuerza de Tracción resultante para los distintos parámetros establecidos.

Fuente. Autores

Para determinar qué sistema se utiliza, comparamos entre las características de los trenes motrices disponibles en el mercado, los cuales son de 72V y 108V, cada uno ofrece un motor eléctrico con potencias de 30kW@2500rpm (90Nm) y 40kW@3000rpm (150Nm) respectivamente. Esto se compara frente a las fuerzas que requiere el vehículo según los parámetros establecidos, y así verificar cual motor es adecuado para el tren motriz de este vehículo.

Se analiza mediante comparación de los diferentes motores para las diferentes relaciones que mantiene el vehículo en su caja de cambios, de esta manera determinamos si los parámetros establecidos se logran y con qué motor se lo realiza, también determinar las relaciones de transmisión útiles para el vehículo Datsun 1000 EV.

Con cada relación de transmisión y relación final, la cual se representa cuantos radianes tiene que rotar el eje del motor cuando el vehículo recorre un metro; se obtiene la relación total para cada velocidad en división con radio de la rueda del vehículo.

$$C_{Tot} = \frac{i_{transm} * i_{final}}{r_{wheel}}$$

Ec. [3.8]

Tabla 10. Relaciones de transmisión de vehículo Datsun 1000.

Numero de cambio	Relación de Transmisión	c_{Tot} [1/m]
1	$i_1=3,76$	55,19
2	$i_2=2,17$	31,85
3	$i_3=1,40$	20,55
4	$i_4=1,00$	14,68
Retro	$i_R=3,64$	53,43
Final	$i_f=4,11$	-

Fuente. Manual de Servicio Datsun 100.

A partir del producto del torque del vehículo y la relación total se obtiene los límites en fuerza y velocidad de funcionamiento para cada marcha de cada motor. Con esto se logra graficar la región de funcionamiento de ambos motores para cada marcha con sus fuerzas máximas en función de la velocidad del vehículo.

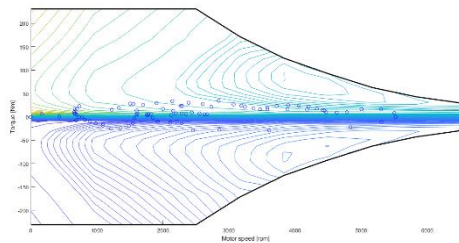


Figura 10. Mapa de motor de 30kW (Torque, Potencia y Velocidad motor eléctrico)

Fuente. [10]

Del mapa del motor obtenido, se desea graficar en fuerzas y velocidad del vehículo para comparar con los requerimientos previamente establecidos.

$$F_{Trac} = T_{EM} * c_{Tot}(i) \quad \text{Ec. [3.9]}$$

$$V_{veh} = \frac{\omega_{EM}}{C_{Tot}} \quad \text{Ec. [3.10]}$$

Tabla 11. Fuerzas de tracción de Motor 30kW.

Sistema de 72V – 30kW	
$c_{Tot}=55,19m^{-1}$	
$F_{TracMax}$ [N]	4967,1 @ 17,06kph
V_{vehMax} [km/h]	44,38
$c_{Tot}=31,85m^{-1}$	
$F_{TracMax}$ [N]	2866,5 @ 29,6 kph
V_{vehMax} [km/h]	76,93

$c_{Tot}=20,55m^{-1}$	
$F_{TracMax}$ [N]	1849,5 @ 45,86 kph
V_{vehMax} [km/h]	119,23
$c_{Tot}=14,68m^{-1}$	
$F_{TracMax}$ [N]	1321,2 @ 64,18 kph
V_{vehMax} [km/h]	166,9

Fuente. Autores.

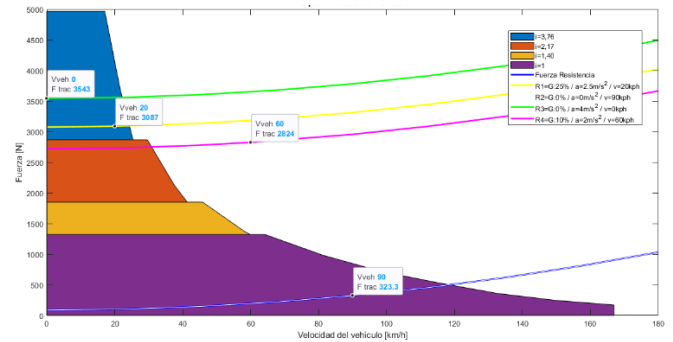


Figura 11. Área de funcionamiento de motor con Fuerzas de parámetros motor 30kW.

Fuente: Autores.

Como se aprecia, el requerimiento 4 no se cumple según los parámetros y el funcionamiento disponible para el motor de 30kW. Para esto se modifican los parámetros no alcanzados para localizarlos dentro del área de funcionamiento de este motor.

Tabla 12. Ajuste de parámetros para cumplir con funcionamiento de motor eléctrico 30kW.

Velocidad del vehículo [km/h]	Aceleración del vehículo [m/s ²]	Gradiente [%]	Fuerza de Tracción [N]
20	1	25 ≈ 14,03°	3087,28
90	0	0	323,28
0	4	0	3630,10
60	0,2	10 ≈ 5,71°	1234

Fuente. Autores.

$$F_{Net} = 178,9 N$$

$$a = 0,2 m/s^2$$

Con los ajustes realizados al requerimiento 4, únicamente se ve alterada la Fuerza Neta y la aceleración que se requiere producir para cumplir con ese punto dentro de los parámetros de funcionamiento de los motores eléctricos.

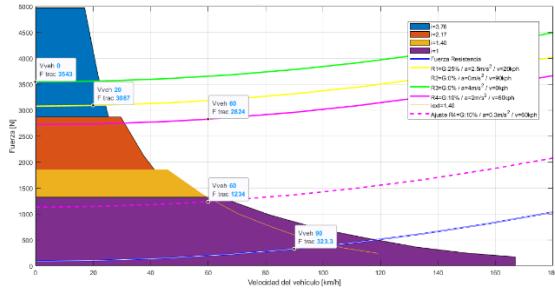


Figura 12. Ajuste de parámetros para motor 30kW.
Fuentes: Autores.

Tabla 12. Fuerzas de tracción de Motor 40kW.

Sistema de 108V – 40kW	
$c_{Tot}=55,19m^{-1}$	
$F_{TracMax}$ [N]	8278,5 @ 20,48
V_{vehMax} [km/h]	51,25
$c_{Tot}=31,85m^{-1}$	
$F_{TracMax}$ [N]	4777,5 @ 35,5 kph
V_{vehMax} [km/h]	88,77
$c_{Tot}=20,55m^{-1}$	
$F_{TracMax}$ [N]	3082,5 @ 55,04 kph
V_{vehMax} [km/h]	137,6
$c_{Tot}=14,68m^{-1}$	
$F_{TracMax}$ [N]	2202 @ 77,04 kph
V_{vehMax} [km/h]	192,6

Fuente. Autores.

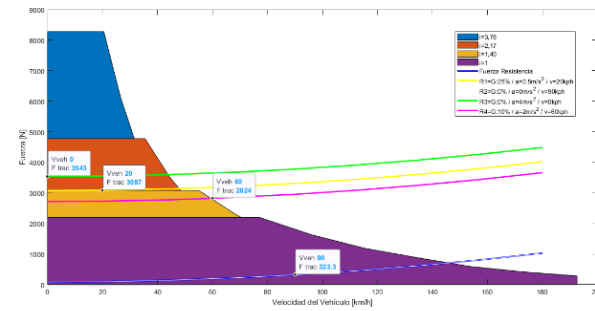


Figura 13. Área de funcionamiento de motor con Fuerzas de parámetros motor 40kW.

Fuente: Autores.

Por otro lado, se aprecia que para el motor del sistema de 108V, los puntos se cumplen en su totalidad, mejorando ampliamente el rendimiento del vehículo en cualquier instancia. Se verifica que la primera marcha de la caja de cambios no es necesaria para este sistema.

Para el freno regenerativo se define que se desea una aceleración de $-0,05 m/s^2$ y una fuerza de tracción de $-150N$ y una fuerza Neta de $-44,9N$, esto es posible gracias a las funciones que brinda el controlador del motor eléctrico que tiene la capacidad de obtener generación de

energía desde el motor a través de la energía cinética al momento de soltar el acelerador. Esta función es importante ya que ayuda al frenado del vehículo y a recuperar energía para las baterías. Se calcula en los siguientes parámetros para permitir la ayuda de frenado en velocidades límite dentro de la urbe para y con una baja aceleración para que pueda estar dentro de los niveles de carga de la batería.

Tabla 13. Fuerza de Tracción para freno regenerativo.

Velocidad del vehículo [km/h]	Aceleración del vehículo [m/s^2]	Gradiente [%]	Fuerza Tracción [N]
60	-0,05	0	-236,9

Fuente. Autores.

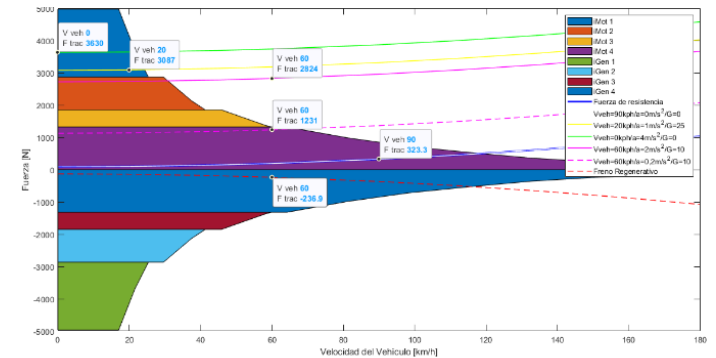


Figura 14. Requerimientos de freno regenerativo sistema 70V-30kW.

Fuente. Autores.

Se verifica que el punto propuesto para la función de freno regenerativo está dentro del área de funcionamiento del motor de 30kW, es viable utilizar este parámetro para este sistema.

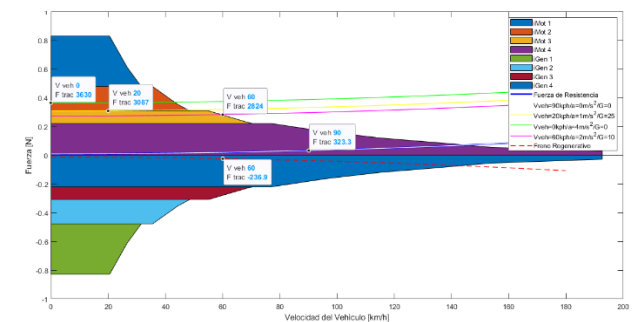


Figura 15. Requerimientos de freno regenerativo sistema 108V-40kW.

Fuente. Autores.

Igualmente se verifica el parámetro de freno regenerativo para el sistema de 40kW, de esta manera se utiliza este parámetro para cualquier motor, y esto define los límites de carga de la batería tanto para función motor y función generadora de la máquina eléctrica.

Para el dimensionamiento de baterías se realiza un análisis de la autonomía de acuerdo con los parámetros requeridos, en este caso para un entorno urbano. Dentro de la ciudad de Quito, se realiza un análisis con distancias a los lugares de interés en la ciudad, comparando las distancias existentes para determinar un límite mínimo de autonomía.

Tabla 14. Análisis de Recorridos en el D.M. Quito.

ANÁLISIS DE RECORRIDOS EN EL D.M. QUITO			
RECORRIDO	IDA[km]	VUELTA[km]	TOTAL[km]
UIDE - MITAD DEL MUNDO	38,2	38,2	76,4
UIDE - PARQUE LA CAROLINA	15,5	15,5	31
UIDE- QUICENTRO SUR	32,6	32,6	65,2
UIDE- PARQUE DE CUMBAYA	11,1	11,1	22,2
UIDE - AEROPUERTO INT. M.S.	35,1	35,1	70,2
UIDE - VALLE DE LOS CHILLOS	23,6	23,6	47,2
TOTAL RECORRIDO			312,2
PROMEDIO			55,51
DISTANCIA MAS CORTA			22,2
DISTANCIA MAS LARGA			76,4

Fuente. Google Maps.

De acuerdo con el análisis se determina una autonomía mínima de 76,4 kms, para mantener un margen de seguridad se considerará una autonomía de 85kms.

Para modelar la batería aplicable para el vehículo Datsun 1000 EV, se considera un voltaje de 72V para el sistema debido a que el motor eléctrico mínimo para este vehículo se establece que es el de 30kW. Entonces, considerando las baterías de tipo LFP(LiFePO₄) de iones de litio, al ser la más robusta y económica en baterías de litio disponibles en el mercado local, se procede a determinar un paquete de baterías que cumpla con los

requisitos de autonomía y con el voltaje del sistema(72V).

Modelando el sistema con los parámetros del vehículo, obtenemos un consumo de 10,21kWh/100kms en ciclo NEDC; entonces aproximamos que para 85kms el consumo en kWh sería de: $W_B:8,68$. [10]

Las baterías tienen ciertas pérdidas de eficiencia en la utilización de estas, es por ello que, se considera para el dimensionamiento de estas.

$$W_{Bint} = \frac{W_B}{\eta_{BAV}} \quad \text{Ec. [3.11]}$$

Considerando una eficiencia de la batería de 90% se obtiene un margen para la capacidad de la batería a $W_{Bint}=9,64kWh$.

Consiguiente, se determina una ventana de utilización de la batería, con el fin de resguardar los atributos de esta y su estado de carga por mayor tiempo evitando que cumpla sus ciclos con cada carga y descarga de su energía almacenada. Para lograr esto, se determinan límites de estados de carga de la batería. En este caso prevemos una ventana del 90% (ΔSoC_{MAX}) del total de su capacidad.

$$W_{Gap} \geq \frac{W_{Bint}}{\Delta SoC_{MAX}} \quad \text{Ec. [3.12]}$$

Entonces, para mantener un rendimiento óptimo de la batería por un largo periodo de tiempo, su capacidad deberá ser de $W_{Cap}=10,71kWh$.

La capacidad de carga de la batería se define de acuerdo con el dispositivo cargador de baterías que forma parte del sistema para estabilizar la cantidad de energía que ingresa a estas desde la fuente de energía. Los cargadores de máxima capacidad compatibles con este sistema tienen una entrega de potencia de carga máxima de 3,3kW y se utiliza para la carga tanto en conexiones domesticas como en cargadores de nivel 2.

Los límites de potencia de la batería se dan por los requerimientos de potencia más elevados en el tren motriz, estos alteran los límites determinados previamente y nos generan una nueva área de funcionamiento, al cual las baterías se deben acoplar para brindar un rendimiento adecuado al vehículo. Los límites

de potencia para el tren motriz se analizan de la manera siguiente:

$$P_{Trac} = F_{Trac} * V_{veh}$$

Se obtiene del producto de la fuerza de tracción y la velocidad del vehículo en m/s².

Tabla 15. Potencia de tracción para el motor eléctrico en el vehículo Datsun 1000 EV.

Nº	F _{Trac} [N]	P _{Trac} [kW]
1	3087,28	17,15
2	323,28	8,08
3	3630,10	0
4	1771,6	29,52
5	-236,9	-4

Fuente. Autores.

$$P_B = \frac{P_{Trac}}{\eta_{EM}} \quad \text{Ec. [3.13]}$$

Tabla 16. Potencia de Batería en función de la potencia de tracción y rendimiento.

F _{Trac} [N]	P _{Trac} [kW]	η _{EM}	P _B [kW]
3087,28	17,15	0,90	19,1
323,28	8,08	0,90	8,97
3630,10	0	0,90	0
1771,6	29,52	0,90	33,33
-150	-4	0,90	-4,44

Fuente. Autores.

De donde obtenemos que el mayor valor de Potencia para carga y descarga; estos determinan un límite superior de descarga en el área de funcionamiento de la batería para el mayor valor, mientras que el menor determina el límite inferior de carga.

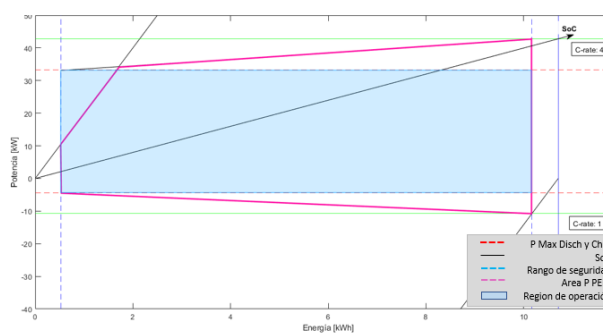


Figura 16. Área de funcionamiento de baterías.

Fuente. Autores.

Los límites están dados por la *Máxima Potencia de Carga*: -4,44kW; *Máxima Potencia de Descarga*: 33.33kW; los *Estados de carga* y

descarga (SoC) -10,71kWh y 42,84kWh respectivamente, según la constante de carga y descarga (C-rate); *Carga máxima*: 10,17kWh y *Descarga máxima*: 0,53kWh, esta área se ve alterada por pérdidas de eficiencia por el tipo de batería de un 5% tanto en altos niveles de carga como descarga como característicos del tipo de baterías y las pérdidas [20] El estado de carga de una batería se considera como una relación entre la capacidad disponible y la capacidad máxima de carga que puede almacenar la batería. [21] La constante de carga o C-Rate es la medida con la cual la batería es descargada y es relativa a su máxima capacidad. [22]

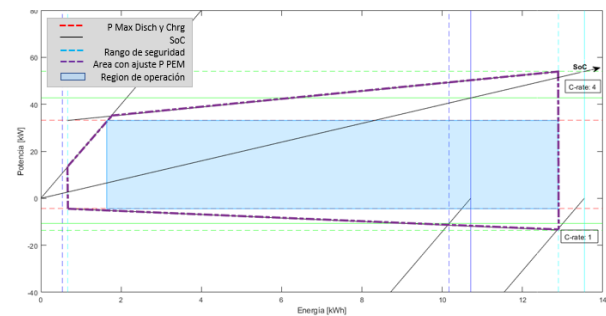


Figura 17. Requerimientos de batería con ajuste según región de funcionamiento del motor eléctrico.

Fuente. Autores.

Se realiza un ajuste para mantener el régimen de funcionamiento requerido sin pérdidas debido a la batería y sus pérdidas de rendimiento por eficiencia, para esto se transpone el área de régimen de funcionamiento del sistema hasta donde entren todos sus puntos dentro del funcionamiento de esta, esto genera que se ajusten los límites de capacidad de batería como de potencia.

La manera de aumentar estos límites es en función del SoC de las baterías, así, se obtiene un funcionamiento adecuado para todo el régimen y la autonomía aumenta a 132,52km debido que la capacidad se incrementó a 13,53kWh, la potencia de descarga a 54,16kW y potencia de carga a -13,53kW.

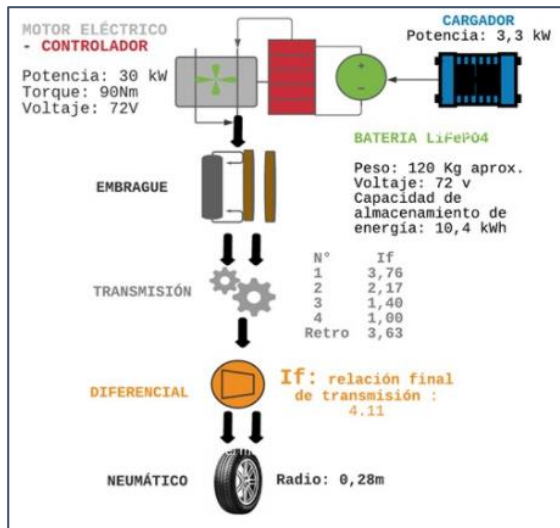


Figura 18. Diagrama de características del modelamiento vehículo Datsun 1000 EV.
Fuente. Autores.

Para realizar el modelado del vehículo, se utiliza la biblioteca de modelamiento QSS desarrollada por de ETH Zúrich (Instituto Federal de Tecnología de Zurich). En base a los bloques disponibles, se conectan el ciclo de conducción, configurado para el ciclo WLTC; características del vehículo; transmisión manual, conjunto motor eléctrico y batería para vehículo eléctrico. A cada bloque, se configura según los datos obtenidos previamente en el estudio de motor y batería.

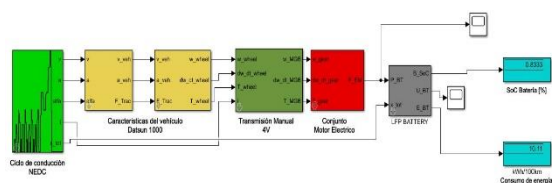


Figura 19. Modelado de vehículo Datsun 1000 EV.
Fuente. [10]

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con lo analizado previamente para la determinación del motor eléctrico adecuado para ciertos parámetros establecidos, se determina que, un sistema de 72V con una potencia de 30kW abastece a los parámetros para el vehículo Datsun 1000 EV, los cuales se determinan en base a diferentes situaciones que debe superar para brindar total fiabilidad del sistema en un entorno urbano como la ciudad de Quito. Con los ajustes realizados, y

analizando el funcionamiento y capacidad del motor por cada marcha de la caja de cambios existente en el vehículo, se considera seguro la implementación de un sistema de 72V-30kW. De igual manera, existe la posibilidad de implementar un sistema de mayor capacidad, esto mejoraría ampliamente el rendimiento del vehículo en cualquier situación.

Para obtener una autonomía mínima adecuada para la ciudad de Quito, se calcula con un mínimo de 85kms. Ya que se exige que la batería del tren motriz cumpla con requisitos de potencia para el sistema y a su vez al tener ciertas limitaciones en cuestión de eficiencia y capacidad de carga y descarga(C-Rate), se analiza de tal manera que el rango de funcionamiento de potencia requerida en función de la capacidad de almacenamiento de energía de la batería sea capaz de alojar esta condición del sistema. Realizado este análisis se aprecia que la capacidad de almacenamiento de energía y potencia de la batería aumentan en función del estado de carga, con un incremento del 55% para alojar al rango requerido por el sistema.

Tabla 17. Resumen de características de vehículo Datsun 1000 EV.

RESUMEN DE MODELO DATSUN 100 EV	
$i_1=3,76$	$C_{Tot} =55,19$
$i_2=2,17$	$C_{Tot} =31,85$
$i_3=1,40$	$C_{Tot} =20,55$
$i_4=1,00$	$C_{Tot} =14,68$
$i_1=3,76$	$C_{Tot} =55,19$
Torque Motor Eléctrico (ME)	90 Nm
Velocidad ME	6500 rpm
Potencia ME	30 kW
Capacidad de Batería	13,53 kWh
Tipo de baterías	LiFePO4, optimizadas para almacenamiento de energía.
Autonomía del vehículo	132,52 km NEDC

Fuente. Autores.

En el modelamiento del vehículo en el programa Simulink, se visualizan claramente el comportamiento del vehículo en un ciclo de

manejo teórico. El ciclo se somete este vehículo para las pruebas es el ciclo NEDC, al ser una versión más actualizada y asertivo que su predecesor NEDC. Finalmente, reproduciendo la simulación, se observa que el consumo de energía inicialmente es de $10,21kWh/100kms$ ya que se corrió el modelo del vehículo con una batería de menor capacidad, luego al configurar el modelo con las características de batería obtenidas se logró un consumo de $10,11kWh/100kms$; el estado de carga de la batería después de reproducir el modelo para un ciclo NEDC disminuye a 83,33%. Estos datos se generan considerando todas las fuerzas actuantes sobre el vehículo para sus características y según el recorrido en el ciclo teórico NEDC.

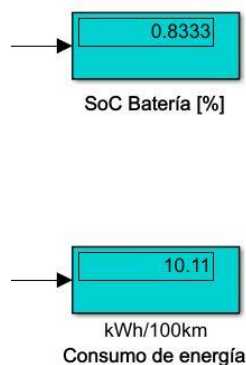


Figura 20. Consumo de energía y estado de batería modelado Datsun 1000 EV.
Fuente. [10]

5. CONCLUSIONES

Se determinaron las características del motor eléctrico, mediante la comparación del funcionamiento de los dos sistemas disponibles en el mercado local para vehículos livianos, por medio de un análisis de su funcionamiento para las diferentes velocidades que conforman la caja de cambios instalada por el fabricante en el vehículo. De esta manera se determina que ambos sistemas, de 30kW y 40kW, son utilizables ya que ambos cumplen con un rendimiento adecuado para el análisis del vehículo y su utilización en la ciudad de Quito. El sistema de 30kW, gracias a la utilización de la caja de cambios, cumple con todos los puntos

requeridos basados en situaciones de mayor exigencia y de manejo que se pueden presentar.

Para el entorno urbano se determinan ciertos parámetros que reflejan situaciones con cierta dificultad para el tren motriz, y que este cumple con el fin de satisfacer las necesidades de transporte del usuario. Para la ciudad de Quito, lugar donde se establece el vehículo, se definen estos requerimientos de acuerdo con las gradientes máximas en la ciudad y los límites de velocidades permitidos tanto en vías dentro de la urbe y autopistas adyacentes a esta. En conclusión, el automóvil con un sistema de 72V-30kW cumple con los requisitos mediante un ajuste en aceleración de pendientes a velocidad media para cumplir con el área de funcionamiento del motor eléctrico, brindando un rendimiento considerable. De igual manera, es posible utilizar un sistema de mayor potencia, lo cual incrementaría ampliamente su capacidad cumpliendo con todos los requisitos.

Para seleccionar la batería se determina la capacidad en base a la autonomía requerida en kilómetros para la ciudad de Quito. Mediante un análisis de las distancias de puntos de interés importantes en la ciudad y la potencia requerida por el sistema eléctrico se determina una autonomía mínima de $85kms$. Las baterías que se instalaran para cumplir la autonomía analizada contienen una capacidad de $10,71kW$. Al momento de analizar la potencia en función del almacenamiento de energía de la batería se concluyó en un aumento en capacidad de la batería a $13,53kWh$, de esta manera satisface la potencia de tracción necesaria para el tren motriz y cumple con la autonomía requerida para la ciudad de Quito.

Se realizó la simulación del vehículo para analizar el comportamiento en base al ciclo de conducción NEDC, con ello se obtuvieron los valores de consumo de energía para cada ciclo y el estado de la batería después de cada recorrido de este. En esta simulación se incluyen todos los datos pertinentes al vehículo de estudio, con esto se determinó el

comportamiento del vehículo en función de su consumo para un ciclo establecido.

6. REFERENCIAS

- [1] IEA, «CO2 Emissions,» *Data and Statistics*, 2020.
- [2] H. Huo, Q. Zang, M. Wang, D. Streets y K. He, «Environmental implication of electric vehicles in China,» *Environ. Sci. Technol.*, n° 10.1021/es100520c, p. 44, 2019.
- [3] Registro Oficial del Gobierno del Ecuador, «Índice Mensual de Legislación (No 6),» 2019. [En línea]. Available: <https://www.registroficial.gob.ec/index.php/registro-oficial-web/publicaciones/indice/item/11847-indice-6>.
- [4] EPMMOP Movilidad y Obras, «Electrolineras Quito,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/gestion-2019/electrolineras.html>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [5] A. d. D. M. d. Quito, «Resolución No. A-020 Artículo 11.- Programaciones Especiales,» Quito, 2019.
- [6] J. Larminie y J. Lowry, *Electric vehicle technology explained*, New York: Wiley, 2012.
- [7] A. Hughes y B. Dury, *Electric Motors and Drives : Fundamentals, Types and Applications*, Oxford: Elsevier Science, 2013.
- [8] S. Dhameja, *Electric Vehicle Battery Systems*, Elsevier, 2001.
- [9] The MathWorks, Inc., «MATLAB & Simulink Onramp,» 2019. [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/learn/tutorials/simulink-onramp.html>. [Último acceso: 5 11 2020].
- [10] A. Grauers y S. B. Andersson, *Electric and Conventional Vehicles MOOC*, Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2020.
- [11] K. Mahmoud, F. Harambat, A. Yammine y H. Peerhossaini, «Aerodynamic forces on a simplified car body - Towards innovative designs for car drag reduction,» *ASME*, p. 11, 2010.
- [12] K. R. Symon, *Mechanics*, Addison-Wesley Pub., 1960.
- [13] A. M. Carvajal, «Las calles en el Centro de Quito alcanzan hasta 23% de gradiente,» *El Comercio*, p. 2, 2 marzo 2018.
- [14] Asamblea Nacional del Ecuador, *Ley Organica de Transporte Terrestre, tránsito y seguridad vial*, 2016.
- [15] M. Tutuianu, A. Marotta, H. Steven, E. Ericsson, T. Haniu, N. Ichikawa y H. Ishii, «Development of a World-wide Worldwide harmonized Light duty driving Test Cycle (WLTC),» DHC subgroup, 2013.
- [16] S. C. Walpole, D. Prieto-Merino y P. Edwards, «The weight of nations: an estimation of adult human biomass,» *BMC Public Health*, n° 439, p. 12, 2012.
- [17] W. Schwoch, *Manual práctico del Automóvil*, Berlín: Reverté.
- [18] L. J. Janssen y W. H. Hucho, *The effect of various parameters on the aerodynamic drag of passenger cars*, Cranfield, UK: British Hydromec Ass., 1973.
- [19] G. Cevallos Paredes, J. F. Cueva y K. A. Pinto, «Quito, ciudad de altura,» *Rev. Inv Acad. Educación*, vol. 2, p. 14, 2018.
- [20] L. Valoen y M. Shoesmith, «The Effect of PHEV and HEV duty Cycles on Battery and Battery Pack Performance,» Research Gate, Porsgrunn, Noruega, 2016.
- [21] B. Sundén, *Hydrogen, Batteries and Fuel Cells*, Academic Press, 2019.
- [22] MIT Electric Vehicle Team, «A Guide to Understanding Battery Specifications,» *Information About EVs*, vol. 1, n° 1, p. 3, 2008.
- [23] A. Singh, *Electric Vehicles: And the End of ICE age*, Kindle Edition, 2019.
- [24] European Commission, «A European Strategy for low-emission mobility,» 20 July 2016. [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_16_2497.
- [25] Naciones Unidas, «Diez Principios,» 15 Abril 2015. [En línea]. Available:

<https://www.pactomundial.org/2015/04/principio-9/>.

- [26] Global EV Outlook 2020, «Entering the decade of electric drive,» Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>.
- [27] C. Thomas, «Fuel cell and battery electric vehicles compared,» ScienceDirect, Virginia, EEUU., 2009.
- [28] J. Sutherland y K. Gunter, «A global perspective on the environmental challenges facing the automotive industry,» Michigan Technological University, Houghton, 2004.
- [29] M. I. MBA Bermeo Valencia, *Carta de Adhesión al Pacto Mundial para Organizaciones sin actividad empresarial*, Quito: Universidad Internacional del Ecuador, 2017.
- [30] U.S. Department of Energy, «Fuel economy,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>.
- [31] S. A. Kalogirou, «Photovoltaic Systems,» de *Solar Energy Engineering*, Academic Press, 2013, p. 59.

ANEXOS

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Anexo 1 Objetivo General y específicos

Objetivo General

Simulación del tren motriz eléctrico para una camioneta Datsun 1000 mediante un análisis de sus características para definir las propiedades que debe cumplir el sistema eléctrico de este automóvil a fin de aportar en la restauración del EV UIDE.

Objetivos Específicos

Determinar las características que deben poseer los componentes principales del tren motriz eléctrico.

Analizar el tren motriz eléctrico del vehículo de acuerdo a los parámetros necesarios para un funcionamiento efectivo del automóvil EV UIDE en un entorno urbano.

Analizar el funcionamiento del vehículo a través de simulación.

Anexo 2 Justificación

En la actualidad la industria automotriz y el motor de combustión interna con su alto nivel de madurez han motivado una gran inserción de su uso causando serios problemas de contaminación del medio ambiente con una aportación mayor al 24% de emisiones. (IEA, 2020) Las normas de regulación de emisiones y la promoción de la eficiencia energética constituyen un estímulo para promocionar

energías más limpias y eficientes como los vehículos eléctricos a batería (VEB) y a pila de combustible de hidrogeno (FCV) siempre y cuando la generación de energía provenga de fuentes renovables (Huo et al., 2010). Varios grandes fabricantes de autos a nivel mundial han optado por la tecnología VEB al ser más accesible tanto en infraestructura como en precios frente a los FCV. El equipamiento necesario para los FCV, mencionados anteriormente, requieren de una mayor cadena de distribución de combustible que alimenta su sistema el cual sería el hidrogeno. Mientras que, para un VEB, se requiere de una adaptación eléctrica local y un dispositivo cargador para mejorar la potencia de carga y así disminuir los tiempos de carga de las baterías de este tipo de autos (Thomas, 2009).

Este proyecto se realiza con el fin de rehabilitar el EV UIDE el cual ha estado en estado inmóvil debido a fallos en su tren motriz eléctrico, se propone realizarlo con ciertas optimizaciones que permitan mejorar el rendimiento de este vehículo, aportando con la simulación del tren motriz eléctrico aplicado a la carrocería de este coche para determinar un funcionamiento apropiado de todo el conjunto motriz.

Por otro lado, que este pueda servir como caso de estudio para futuras generaciones acerca de esta tecnología alternativa a los vehículos MCI la cual ha demostrado tener un gran desarrollo ya que ha registrado un crecimiento en ventas de un 40% interanual y a medida que el progreso en la tecnología de vehículos eléctricos avanza se están expandiendo significativamente y los

ambiciosos anuncios de políticas han sido fundamentales para estimular en los fabricantes de automóviles el ofrecimiento de esta tecnología en sus modelos (Global EV Outlook 2020, 2020); y a fin de que sirva como impulso para que nuevas generaciones opten por especializarse en esta ciencia ya que requiere de importante progreso e innovación a pesar de los actuales avances en estas tecnologías que permiten mejor rendimiento para estar a la altura y competir con características cada vez más similares a otras tecnologías de propulsión en los vehículos por sus altos costos y su todavía limitada autonomía frente a lo que ofrecen los MCI (Sutherland & Gunter, 2004), por otro lado; ya que por su eficiencia y reducida contaminación resulta ser una opción prometedora para lograr reducir los niveles de contaminación que están causando fuertes estragos a la sociedad y el medio ambiente. Para ello países que conforma la unión europea están aplicando varios planes para generar una economía baja en emisiones de carbono como la estrategia de avanzar hacia vehículos de cero emisiones para aumentar la eficiencia del sistema de transporte, la cual promueve una transición hacia la electrificación del transporte o utilización de biocombustibles y energías renovables, de esta manera reducir la dependencia de los combustibles fósiles. (European Commission, 2016)

La UIDE al promover los 10 Principios de las Naciones Unidas y mantener el Pacto Global, se propone educar acerca de sostenibilidad a un diverso sector al alcance de su influencia (MBA Bermeo Valencia, 2017). Remarcando al noveno principio “Las empresas deben favorecer el desarrollo y la difusión de las

tecnologías respetuosas con el medioambiente” (Naciones Unidas, 2015) nos apegamos para aportar con este pacto para generar un impacto en la Escuela de Ingeniería Automotriz con la divulgación de este proyecto el cual transmite el concepto de Vehículos Eléctricos y favorece al desarrollo de tecnologías responsables con el medio ambiente.

Este proyecto como parte de la comunidad universitaria de la facultad de ciencias técnicas propone reactivar el caso de estudio de un vehículo eléctrico perteneciente a la universidad el cual demuestra el funcionamiento de un tren motriz eléctrico, esto puede impulsar a la comunidad universitaria al uso de este tipo de tecnologías alternas a los autos MCI.

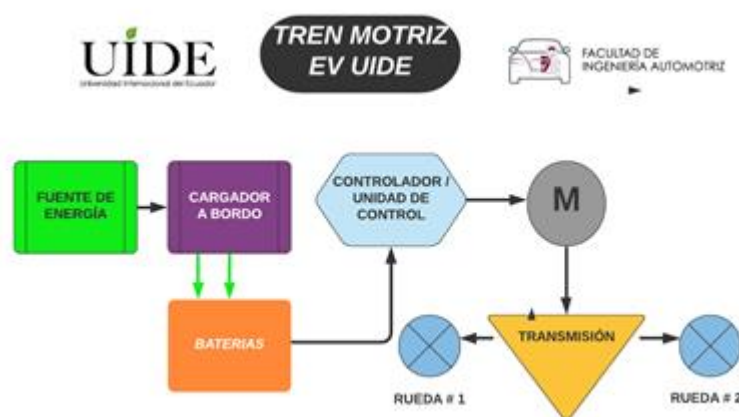


Figura 1. Diagrama del tren motriz del EV UIDE.

Fuente: Sigchos F. & Pinto L., 2020

Anexo 3 IEA, «CO2 Emissions,» Data and Statistics, 2020.

“Las ventas mundiales de automóviles de pasajeros fueron lentas en 2019, pero los automóviles eléctricos tuvieron otro año excepcional”

“Las ventas de autos eléctricos superaron los 2.1 millones a nivel mundial en 2019, superando a 2018, que ya es un año récord, para aumentar el stock a 7.2 millones de autos eléctricos. Los automóviles eléctricos, que representaron el 2,6% de las ventas mundiales de automóviles y alrededor del 1% del stock mundial de automóviles en 2019, registraron un aumento interanual del 40%. A medida que avanza el progreso tecnológico en la electrificación de vehículos de dos o tres ruedas, autobuses y camiones y crece el mercado para ellos, los vehículos eléctricos se están expandiendo significativamente. Los anuncios de políticas ambiciosas han sido fundamentales para estimular el despliegue de vehículos eléctricos en los principales mercados de vehículos en los últimos años. En 2019, los indicios de un cambio continuo de los subsidios directos a enfoques de políticas que se basan más en medidas regulatorias y otras medidas estructurales, incluidos los mandatos de vehículos de cero emisiones y los estándares de economía de combustible, han establecido señales claras y a largo plazo para la

industria automotriz y los consumidores de que apoyar la transición de una manera económicamente sostenible para los gobiernos.”

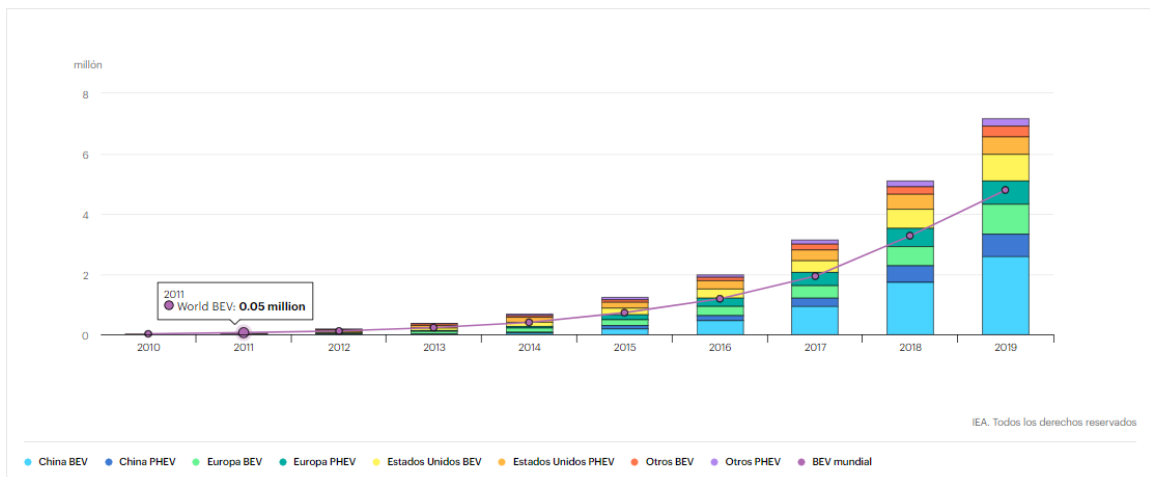
“La mayor parte de la carga se realiza en casa y en el trabajo, pero la implementación de puntos de carga de acceso público está superando las ventas de vehículos eléctricos”

La infraestructura para la carga de vehículos eléctricos continúa expandiéndose. En 2019, había alrededor de 7,3 millones de cargadores en todo el mundo, de los cuales alrededor de 6,5 millones eran cargadores lentos privados para vehículos ligeros en hogares, edificios de viviendas múltiples y lugares de trabajo. La conveniencia, la rentabilidad y una variedad de políticas de apoyo (como tarifas preferenciales, incentivos para la compra de equipos y reembolsos) son los principales impulsores de la prevalencia del cobro privado.

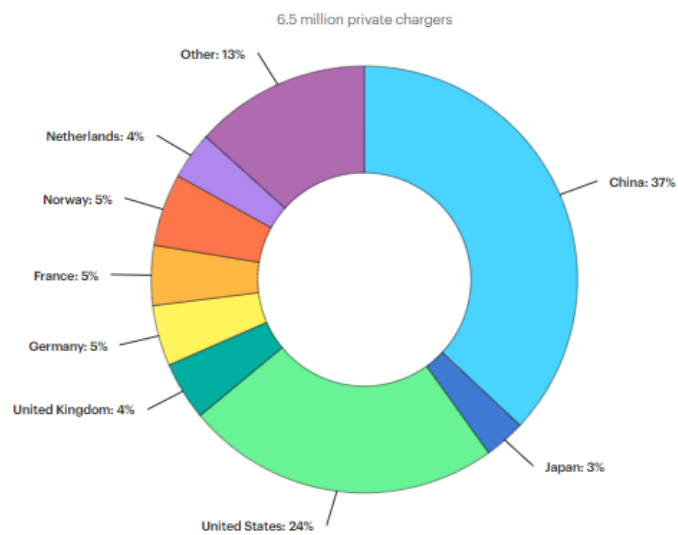
“Los objetivos medioambientales y de sostenibilidad impulsan el apoyo a las políticas de vehículos eléctricos en todos los niveles de gobernanza”

Los vehículos eléctricos son una tecnología clave para reducir la contaminación del aire en áreas densamente pobladas y una opción prometedora para contribuir a la diversificación energética y los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Los beneficios de los vehículos eléctricos incluyen cero emisiones de escape, mejor eficiencia que los vehículos con motor de combustión interna y un gran potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero cuando se combinan con un sector de electricidad con bajas emisiones de carbono. Estos objetivos son los principales impulsores del apoyo político de los países en el desarrollo y despliegue de sistemas de propulsión eléctricos para el transporte. Hasta la fecha, 17 países han anunciado objetivos de vehículos de emisión cero del 100% o la eliminación gradual de los vehículos con motor de combustión interna hasta 2050. Francia, en diciembre de 2019, fue el primer país en poner esta intención en ley, con un plazo de 2040.

- <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>



Cargadores lentos de vehículos eléctricos privados por país, 2019



- IEA, Stock global de vehículos eléctricos, 2010-2019 , IEA, París

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-car-stock-2010-2019>

Anexo 4 A European Strategy for low-emission mobility

➤ “The global shift towards low-carbon, circular economy has started and its pace is accelerating. To ensure Europe stays competitive and will be able to respond to the increasing mobility needs of people and goods, the Commission's low-emission mobility strategy sets clear and fair guiding principles to Member States to prepare for the future. The Energy Union strategy contributes to this goal.”

➤ “The low-emission mobility strategy frames the initiatives that the Commission is planning in the coming years, and it maps the areas in which it is exploring options. It also shows how initiatives in related fields are linked and how synergies can be achieved. It should be seen as one of the tools to modernise the European economy and strengthen its Internal Market.”

The main elements of the Strategy:

- **Increasing the efficiency of the transport system** by making the most of digital technologies, smart pricing and further encouraging the shift to lower emission transport modes,

- **Speeding up the deployment of low-emission alternative energy for transport**, such as advanced biofuels, renewable electricity and renewable synthetic fuels and removing obstacles to the electrification of transport

- **Moving towards zero-emission vehicles.** While further improvements to the internal combustion engine will be needed, Europe needs to accelerate the transition towards low- and zero-emission vehicles.

- **Cities and local authorities** are crucial for the delivery of this strategy. They are already implementing incentives for low-emission alternative energies and vehicles, encouraging modal shift to active travel (cycling and walking), public transport and/or shared mobility schemes, such as bike, car-sharing and car-pooling, to reduce congestion and pollution.

- Finally, this Strategy reiterates Europe's commitment in pursuing **global efforts** to control emissions from international aviation and maritime transport.

A strategy to promote the use of low-emission energy in transport:

- “Transport in the EU still depends on oil for about 94% of its energy needs. Through the Strategy, the Commission is looking into how to accelerate the use of low-emission alternative energy, such as advanced

biofuels, electricity, hydrogen and renewable synthetic fuels by providing strong incentives to innovate. With such policy measures the share of low-emission energy could increase, providing about 15-17% of transport energy demand in 2030 and replacing oil products.”

➤ “The Commission is also looking into better synergies between the energy and transport systems, for example addressing distribution challenges of electricity at peak times. This would make charging of electric vehicles easier.”

➤ “In accordance with Directive on alternative fuel infrastructure, Member States are required to implement common standards, including a common plug for electric vehicles, and roll out infrastructure for alternative fuels. In co-operation with Member States and the European Standardisation Organisations, the work on better interoperability and standardisation in particular for electro-mobility continues. In addition, the Commission will develop a methodology for easy price comparison of electricity and other conventional and alternative fuels.”

- https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_16_2

Anexo 5 Naciones Unidas. (15 de abril de 2015). Diez Principios.



Carta de Adhesión al Pacto Mundial para Organizaciones sin actividad empresarial

22 de Septiembre de 2017

H.E. António Guterres
Secretario General de la
Organización de las Naciones Unidas
Nueva York, NY 10017
EUA

Estimado señor Secretario General,


Me complace comunicarle que la Universidad Internacional del Ecuador apoya los Diez Principios del Pacto Mundial en materia de derechos humanos, derechos laborales, medio ambiente y la lucha contra la corrupción. A través de esta comunicación, expresamos nuestra intención de apoyar e implementar estos Principios en el marco de nuestra esfera de influencia. Además, informaremos puntualmente de este compromiso a nuestros grupos de interés y al público en general.

También nos comprometemos a involucrarnos con el Pacto Mundial de las Naciones Unidas en las siguientes formas:

- a. Promover los Diez Principios del Pacto Mundial de las Naciones Unidas y educar a una variedad de audiencias sobre sostenibilidad;
- b. Realizar investigaciones aplicadas y liderazgo de pensamiento para avanzar en las mejores prácticas

Reconocemos que un requisito clave para participar en el Pacto Mundial es el envío cada dos años de una Comunicación de Involucramiento (COE) que describa los esfuerzos de nuestra organización para apoyar la implementación de los diez principios y para involucrarse con el Pacto Mundial. Apoyamos la transparencia y la rendición de cuentas, y por lo tanto nos comprometemos a reportar el progreso de aquí a dos años de haber ingresado al Pacto Mundial, y cada dos años desde esa fecha, tal como lo indica la política de COE del Pacto Mundial.

Atentamente,


MBA, Marisol Isabel Bermeo Valencia
Rectora
Universidad Internacional del Ecuador



Anexo 6 Thomas, C. (2009). Fuel cell and battery electric vehicles compared. Virginia, EEUU.: ScienceDirect.

Introduction

Detailed computer simulations demonstrate that all electric vehicles will be required to meet our energy security and climate change reduction goals¹ .

As shown in Figure 1, hybrid electric vehicles (HEV's) and plugin hybrid electric vehicles (PHEV's) both reduce greenhouse gas (GHG) emissions, but neither of these vehicles that still use internal combustion engines will be adequate to cut GHGs to 80% below 1990 levels, the goal set by the climate change community, even if biofuels such as cellulosic ethanol are used in place of gasoline to power the internal combustion engines.

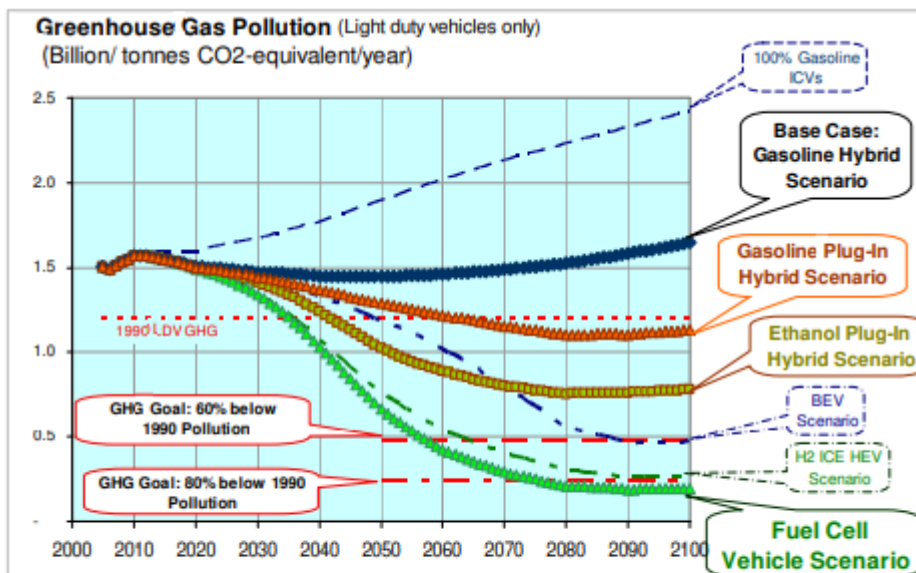


Figure 1. Projected greenhouse gases for different alternative vehicle scenarios over the 21st century for the US light duty vehicle fleet, assuming that both the electrical grid and hydrogen production reduce their carbon footprints over time (BEV= battery electric vehicle; H2 ICE HEV = hydrogen internal combustion engine hybrid electric vehicle)

Similarly, Figure 2 shows that HEV's and PHEV's powered by biofuels could not reduce oil consumption in the US to levels that would allow us to produce most of our petroleum from American sources if needed in a crisis. To achieve oil "quasiindependence" and to cut GHGs to 80% below 1990 levels, we will have to eliminate the internal combustion engine from most light duty vehicles. We will have to transition to allelectric vehicles over the next few decades to meet our societal goals

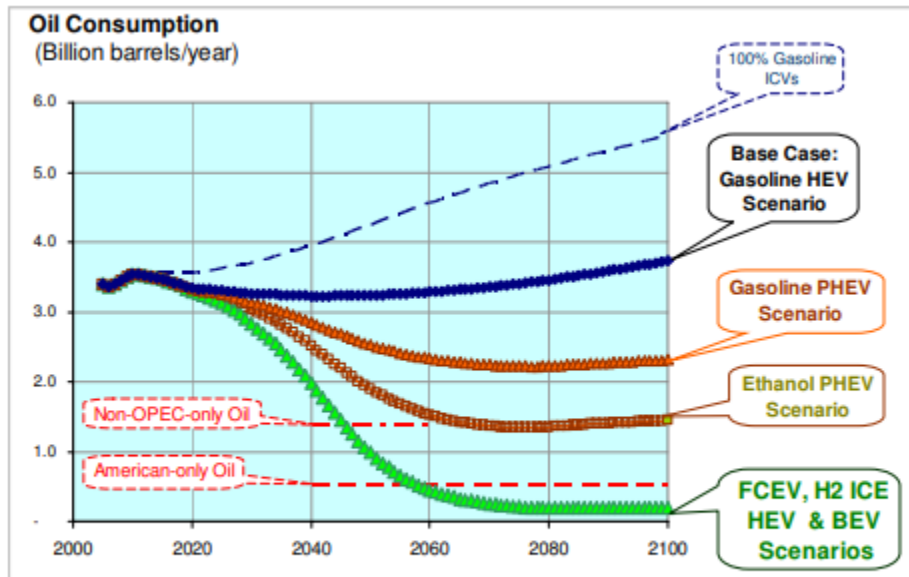


Figure 2. Oil consumption from US light duty vehicles over the 21st century for different alternative vehicle scenarios

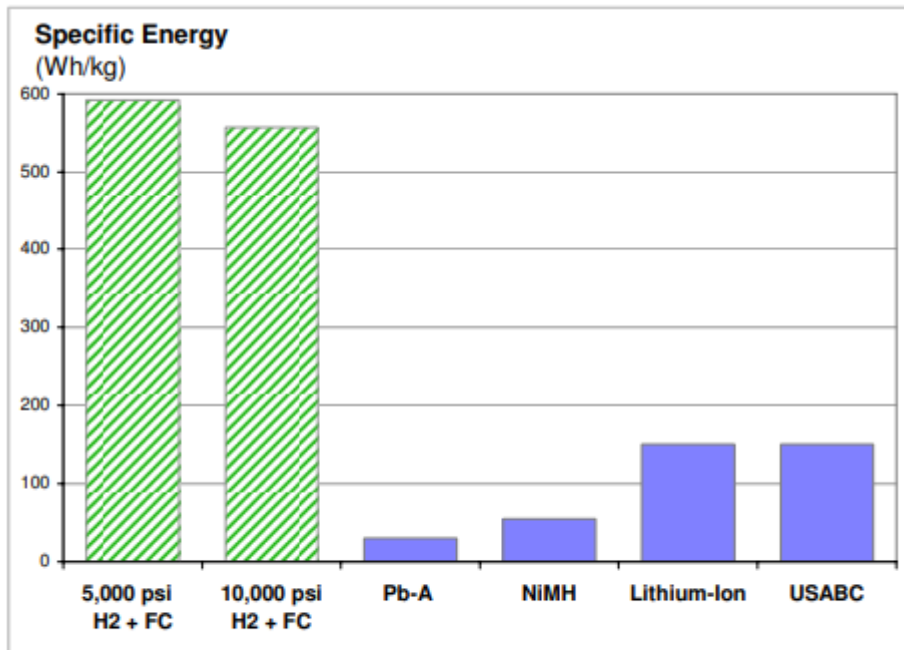
We have but two choices to power allelectric vehicles: fuel cells or batteries. Both produce electricity to drive electric motors, eliminating the pollution and inefficiencies of the venerable internal combustion engine. Fuel cells derive their power from hydrogen stored on the vehicle, and batteries obtain their energy from the electrical grid. Both hydrogen and electricity can be made from low or zerocarbon sources including renewable energy and nuclear energy.

Fuel Cell and Battery Comparisons

In the following sections, we compare hydrogen-powered fuel cell electric vehicles (FCEVs) with battery-powered electric vehicles (BEVs) in terms of weight, volume, greenhouse gases and cost.

Vehicle Weight

Figure 3 compares the specific energy (energy per unit weight) of current deep discharge leadacid (PbA) batteries, nickel metal hydride (NiMH), LithiumIon and the US ABC (Advanced Battery Consortium) goal with the specific energy of a PEM fuel cell plus compressed hydrogen storage tanks. Two hydrogen pressures are shown: 5,000 psi and 10,000 psi with fiber-wrapped composite tanks. The 10,000 psi tanks weigh more than the 5,000 psi tanks due to the requirement for extra fiber wrap to provide the needed strength².



H2Gen: Wt_Vol_Cost.XLS; Tab 'Battery'; S58 - 3 / 25 / 2009

Figure 3. The specific energy of hydrogen and fuel cell systems compared to the specific energy of various battery systems

Compressed hydrogen and fuel cells can provide electricity to a vehicle traction motor with weights that are between eight to 14 times less than current batteries, and four times less than the US ABC goal. As a result, EVs must be much heavier than FCVs for a given range, as shown in Figure 4. This chart is based on a 5passenger Ford AIV (aluminum intensive vehicle) Sable with a FCEV test weight of 1280 kg, drag coefficient of 0.33, frontal area of 2.127 m², and rolling resistance of 0.0092.

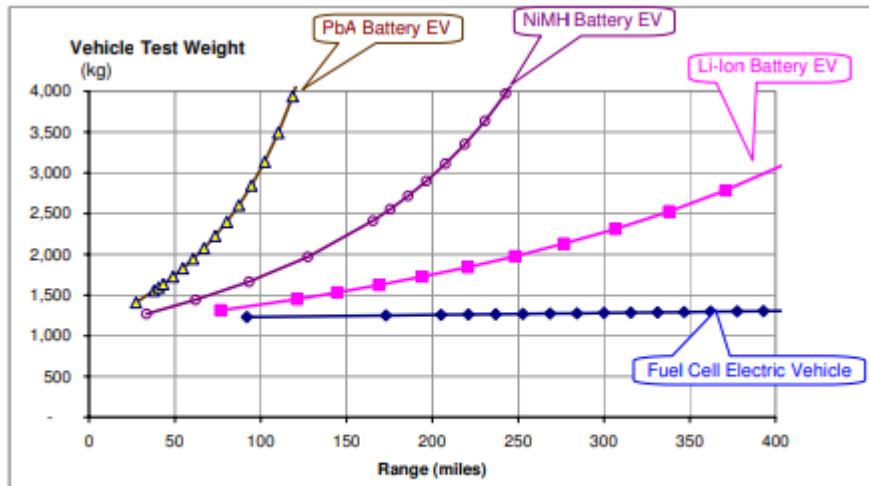


Figure 4. Calculated weight of fuel cell electric vehicles and battery electric vehicles as a function of the vehicle range

As shown here, the extra weight to increase the range of the fuel cell EV is negligible, while the battery EV weight escalates dramatically for ranges greater than 100 to 150 miles due to weight compounding. Each extra kg of battery weight to increase range requires extra structural weight, heavier brakes, a larger traction motor, and in turn more batteries to carry around this extra mass, etc.

Storage Volume

Some analysts are concerned about the volume required for compressed gas hydrogen tanks. They do indeed take up more space than a gasoline tank, but compressed hydrogen tanks take up much less space (including the fuel cell system) than batteries for a given range. The basic energy density of the hydrogen fuel cell system in wathours per liter is compared with that of batteries in Figure 5.

The hydrogen system has an inherent advantage in basic energy density. But this advantage is amplified on a vehicle as a result of weight compounding. Thus the battery EV requires more stored energy per mile than the FCEV as a result of the heavier batteries and resulting heavier components. The net effect on the volume required for the energy supply on the car is shown in Figure 6, again as a function of range. The space to store lead acid batteries would preclude a full fivepassenger vehicle with a range of more than 150 miles, while the NiMH would be limited in practice to less than 200 to 250 miles range.³

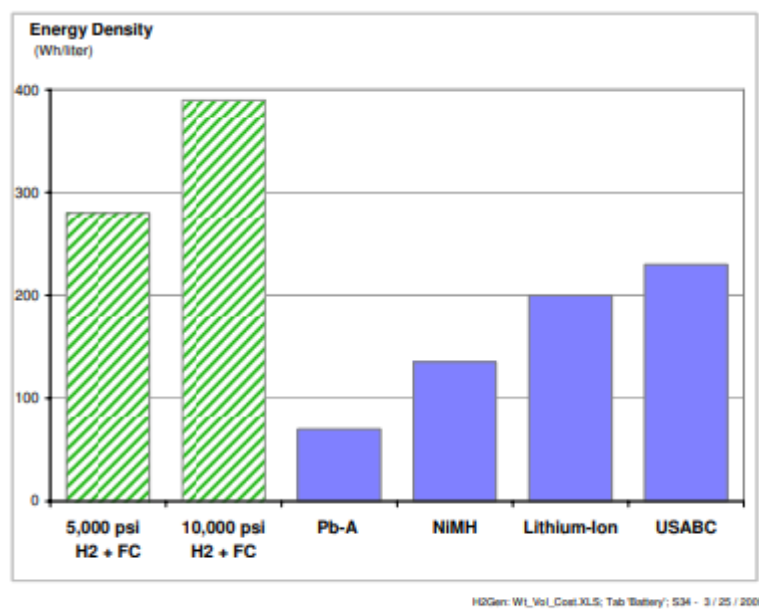


Figure 5. Energy density of hydrogen tanks and fuel cell systems compared to the energy density of batteries

An EV with an advanced LiIon battery could in principle achieve 250 to 300 miles range, but these batteries would take up 400 to 600 liters of space

(equivalent to a 100 to 160 gallon gasoline tank!). The fuel cell plus hydrogen storage tanks would take up less than half this space, and, if the DOE hydrogen storage goals are achieved, then the hydrogen tanks would occupy only 100 liters (26 gallons) volume for 300 miles range.

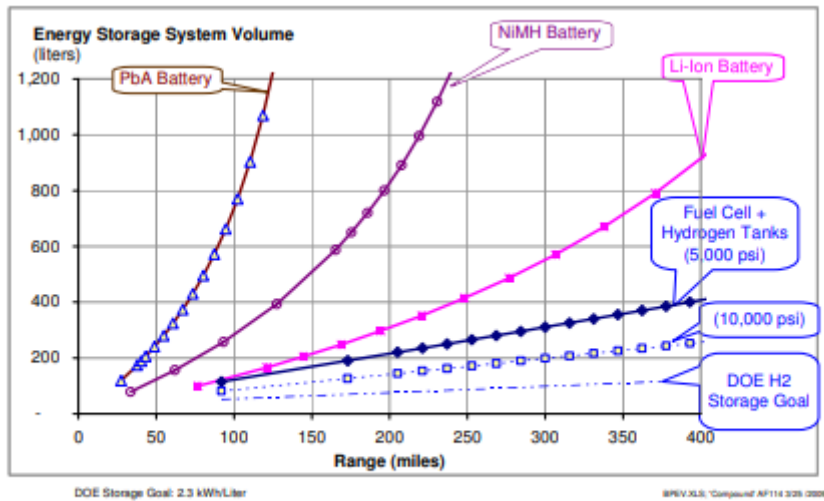


Figure 6. Calculated volume of hydrogen storage plus the fuel cell system compared to the space required for batteries as a function of vehicle range

Battery Performance Assumptions

The previous charts assume somewhat optimistic battery parameters for both specific energy and specific power. We placed star symbols on Figure 7 from Kromer and Heywood⁴ of MIT to illustrate the energy and power ratings used in this model. In all cases we have assumed higher specific energy and power levels than existing capability for each battery technology. That is, the stars lie above the broad curves of existing performance for each battery. We have assumed in particular that the Li-ion

battery technology achieves the BEV goal of 150 Wh/kg and 300 W/kg, well above current Li-ion battery system achievements. Note that Li-ion batteries have demonstrated 150 Wh/kg, but only at very low power levels. Similarly Li-ion batteries with very thin plates have achieved up to 800 W/kg specific power levels, but only at very low energy levels that would be totally unsuitable for a BEV.

These curves demonstrate that all battery technologies involve a tradeoff between energy and power. For hybrid vehicles power is the major driver, since the onboard fuel provides stored energy via the internal combustion engine. An allelectric vehicle requires much more energy storage, which involves sacrificing specific power. In essence, high power requires thin battery electrodes for fast response, while high energy storage requires thick plates.

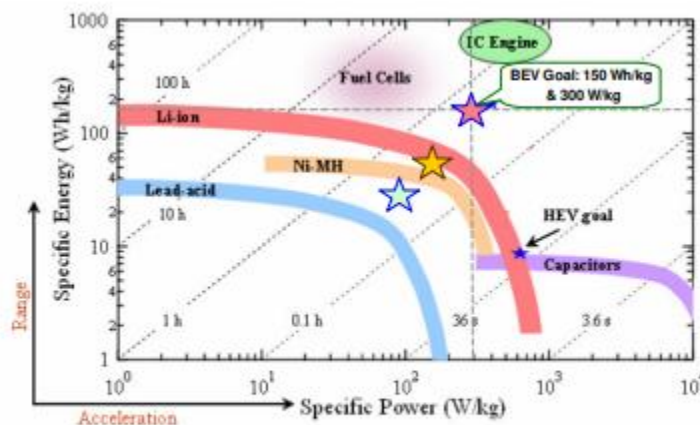


Figure 7. Specific Energy vs. Specific Power for battery technologies from Kromer and Heywood (MIT), May 2007; star symbols indicate the battery parameters used in this study that are all more optimistic than current battery performance

Greenhouse Gas Pollution

The greenhouse gas (GHG) implications of charging battery EVs with today's power grid are serious. Since on average 52% of our electricity in the US comes from coal, and since the grid efficiency is on the order of only 35%, GHGs would be much greater for EVs than for hydrogen - powered FCEVs, assuming that most hydrogen was made by reforming natural gas for the next decade or so.

The increased weight of the EV to achieve reasonable vehicle range increases fuel consumption as the vehicle becomes heavier. The impact on GHGs with today's marginal grid mix is shown in Figure 8 below. Once again, the hydrogen FCEV running on hydrogen made from natural gas can achieve the 300 to 350 mile range demanded by American drivers without sacrificing GHG reductions. For frame of reference, the gasoline ICE version of the AIV Sable produces about 480 g/mile of CO₂equivalent emissions, so the hydrogen FCV would immediately cut GHG emissions by more than 50% compared to regular cars. This GHG calculation includes all "welltowheel" GHGs adjusted for a 100 year atmospheric lifetime.

From this analysis, a 5 passenger battery EV range would be limited to about 60 to 70 miles before that EV with lead acid batteries would generate

more net GHGs than the gasoline version of the same car generating about 480 g/mile. The nonet GHG increase range for a NiMH battery EV would be about 125 to 150 miles with these data, and an EV with advanced Li-Ion batteries would be limited to 250 miles range on a GHG limitation. Greater range is possible⁶, but only by generating more GHGs than current cars of the same size.

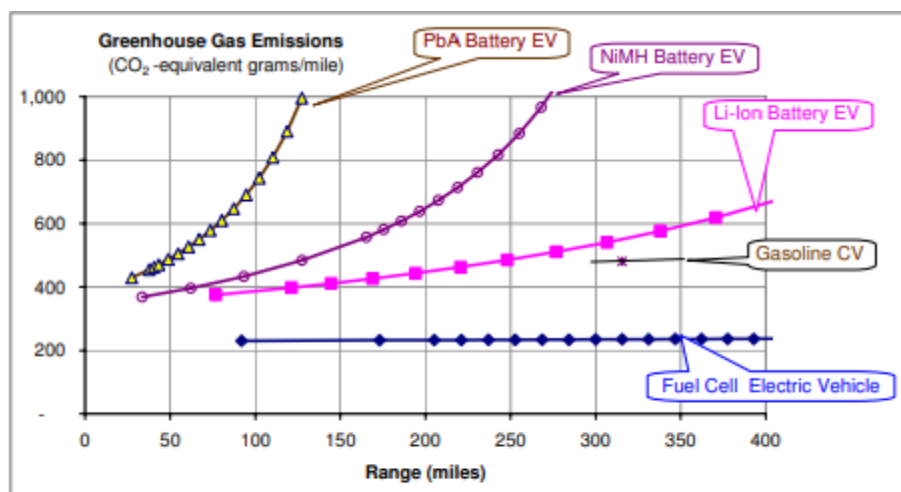
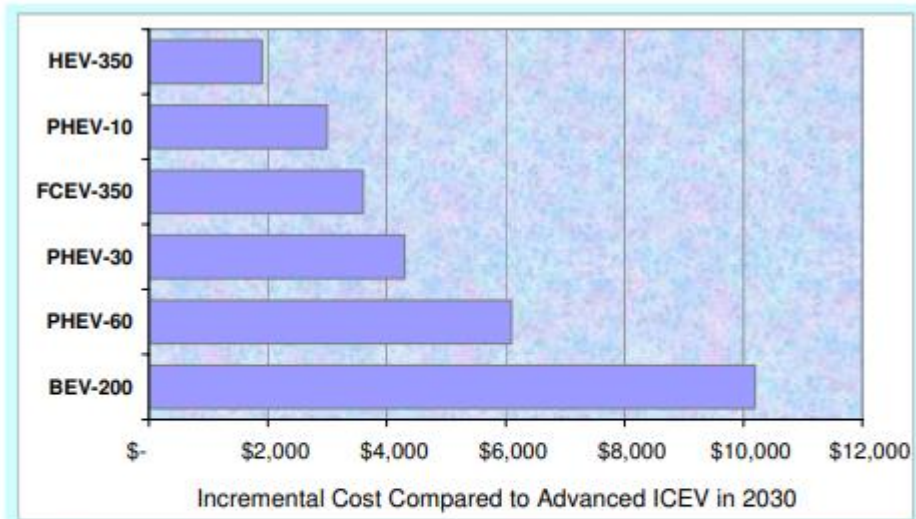


Figure 8. Well-to-wheels greenhouse gas emissions as a function of vehicle range for the average US marginal grid mix; all hydrogen is made from natural gas

Kromer and Heywood at MIT have analyzed the likely costs of various alternative vehicles in mass production. They conclude that an advanced battery EV with 200 miles range would cost approximately \$10,200 more than a conventional car in 2030, whereas a FCEV with 350 miles range is projected to cost only \$3,600 more in mass production. Plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) with only 10 miles all electric range would cost less than the FCEV as shown in Figure 9, but plug-in hybrids with 60 miles

range are projected to cost over \$6,000 more than conventional gasoline cars. If we extrapolate the Kromer and Heywood data for BEVs to 300 miles range, then the BEV would cost approximately \$19,500 more than a conventional car.



Ref: Kromer & Heywood, "Electric Powertrains: Opportunities & Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet" Report # LFEE 2007-03RP, MIT, May, 2007, Table 53

HEV-350 = hybrid electric vehicle with 350 miles range; PHEV-10 = plug-in hybrid electric vehicle with 10 miles all-electric range; FCEV-350 = fuel cell electric vehicle with 350 miles range on hydrogen; PHEV-30 = plug-in with 30 miles electric range; PHEV-60 = plug-in with 60 miles electric range; BEV-200 = battery powered electric vehicle with 200 miles range

Figure 9. Estimated mass production incremental cost of hybrid and electrical vehicles compared to a conventional gasoline internal combustion engine vehicle in the 2030 time frame

We conclude that the fuel cell electric vehicle could provide the range, passenger and trunk space and refueling times demanded by modern drivers for full function vehicles. All electric battery powered electric vehicles will probably find niche applications as city cars and limited range commuter cars. A major breakthrough in battery technology, well beyond the US ABC battery goals, would be required before a battery EV could satisfy customer's needs for conventional passenger cars, particularly with respect to battery recharging times. Most drivers would not accept more than 15 to

20 minutes charging time on long distance travel for EVs, while FCEVs can be refueled in the 5 to 10 minutes expected by consumers.

WelltoWheels Efficiency

Some analysts have concluded that fuel cell electric vehicles are less efficient than battery electric vehicles since the fuel cell system efficiency over a driving cycle might be only 52%, whereas the roundtrip efficiency of a battery might be 80%. However, this neglects the effects of extra vehicle weight on fuel economy. Since battery EVs are heavier than fuel cell EVs for any given range, the BEV will require more energy per mile driven.

In other words, we need to estimate the total “welltowheels” efficiency of the vehicle, not just the efficiency of any one component acting in isolation. For example, suppose we have one million btu’s of natural gas. What is more efficient: to convert that natural gas to electricity to drive a battery EV, or to convert that natural gas to hydrogen to run a fuel cell electric vehicle?

Figure 10 illustrates the answer: one would need to burn approximately 1.77 million btu's (MBTU) of natural gas in a combustion turbine generate the electricit to power a battery EV for 300 miles on the EPA's 1.25X accelerated combined driving cycle. For a more efficient combined cycle gas turbine generator system, 1.18 MBTU's of natural gas would be required. But only 0.81 MBTU's of natural gas would be required to generate enough hydrogen to power a fuel cell EV for 300 miles. On a full-cycle welltowheels basis, then, the hydrogenpowered fuel cell electric vehicle is between 1.5 to 2.2 times more energy efficient than a battery EV in converting natural gas to vehicle fuel.

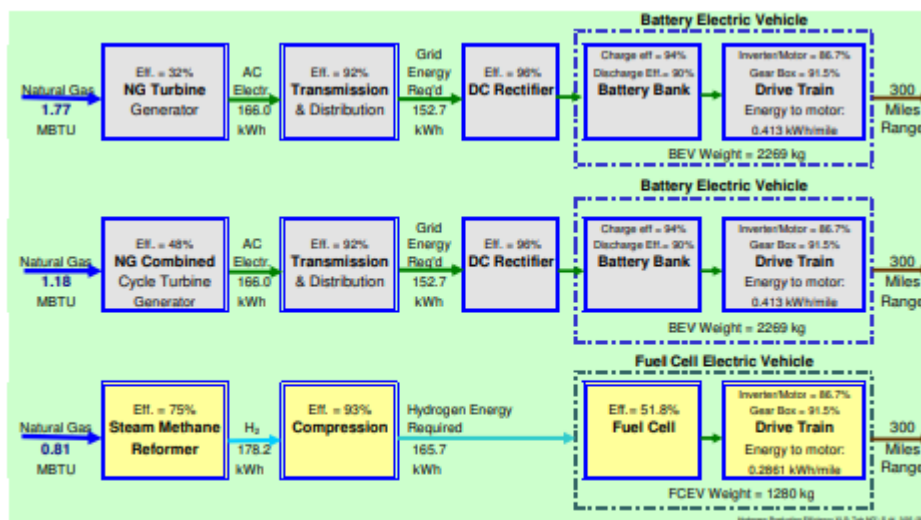
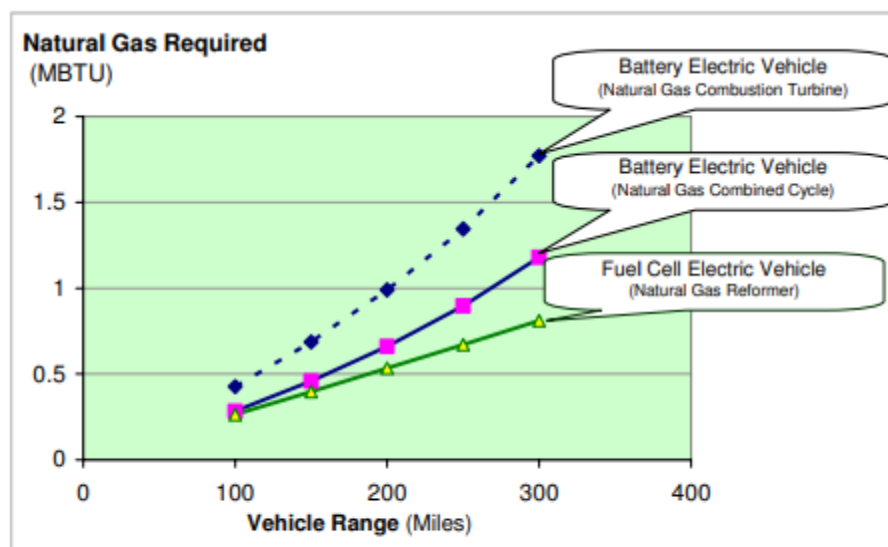


Figure 10. Comparison of the amount of natural gas required to propel a battery EV 300 miles compared to a fuel cell EV traveling 300 miles

In effect, the increased weight of a long range battery EV, even assuming advanced Liion battery systems, almost eliminates the improved roundtrip

efficiency of the battery pack compared to the fuel cell system. Note that the heavy battery EV (2,269 kg) requires almost as much energy (152.7 kWh) as the fuel cell EV (165.7 kWh) to travel 300 miles. This advantage diminishes at shorter range as the battery EV becomes lighter. As shown in Figure 11, the efficiency of a battery EV with only 100 miles range is almost identical to the total system efficiency of a fuel cell EV, assuming that the electricity is generated by a modern combined cycle turbine with 48% total system efficiency.



Hydrogen Production Efficiency.XLS; Tab NG per mile; AM 28 325 0009

Figure 11. Quantity of natural gas required to power an advanced Li-ion battery EV compared to a hydrogen-powered fuel cell EV as a function of vehicle range

Conclusions

The fuel cell EV is superior to the advanced Li-ion battery full function EV on six major counts; the fuel cell EV:

- Weighs less

- Takes up less space on the vehicle
- Generates less greenhouse gases
- Costs less
- Requires less well to wheels energy
- Takes less time to refuel

These advantages are dominant if the battery EV must have 300 miles range to serve as a fully functional all purpose vehicle, but the fuel cell EV also has superior attributes for EVs with only 200 miles range as summarized in Table 1. These advantages are also plotted in Figure 12 as the ratio of the battery EV value to the fuel cell EV value for each attribute. The advanced battery EV has over twice the volume, greenhouse gas emissions and cost as the fuel cell EV, and over 50% more weight and energy requirements to travel 200 to 300 miles.

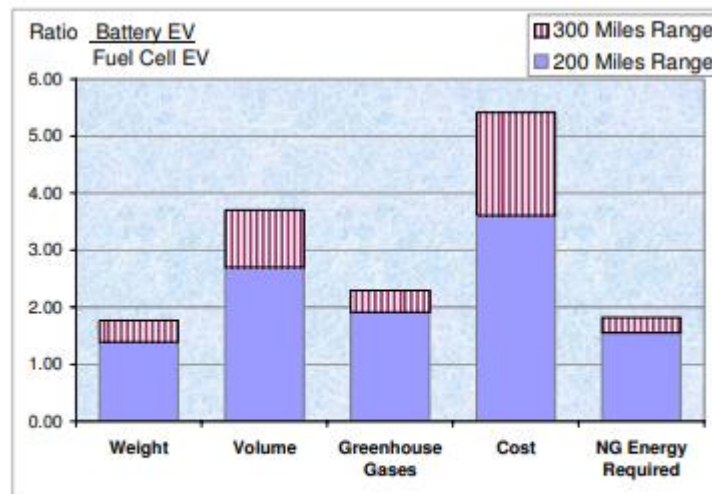
These advantages explain why nearly all major automobile companies dropped their pure battery electric vehicle developments in the 1990's and devoted most of their efforts to the fuel cell EV. While the car companies are now considering plugin hybrids that do not require as overwhelming battery requirements as the all electric EV, and while some car companies are developing short range city cars for niche markets, the underlying

benefits of the fuel cell have not changed. We fully expect that the fuel cell EV will eventually dominate the transportation market.

Table 1. Summary of fuel cell EV attributes compared to those of the advanced battery EV for 200-mile and 300-mile range

	300 miles Range			200 miles Range		
	Fuel Cell EV	Battery EV	Ratio BEV/FCEV	Fuel Cell EV	Battery EV	Ratio BEV/FCEV
Vehicle Weight (kg)	1280	2270	1.77	1256	1750	1.39
Storage Volume (Liters)	100	560	5.60	75	300	4.00
	310	560	1.81	215	300	1.40
Greenhouse Gases (g/mile)	234	535	2.29	232	445	1.92
Incremental Cost (\$)	3,600	19,500	5.42	2,830	10,200	3.60
Natural Gas Req'd (MBTU)	0.81	1.18	1.46	0.53	0.66	1.25
	0.81	1.77	2.19	0.53	0.99	1.87

Story Simultaneous.XLS; Tab: XEV Cost; N43 3/25/2008



Story Simultaneous.XLS; Tab: XEV Cost; N47 3/25/2008

Figure 12. Ratio of advanced battery EV attribute to fuel cell EV attribute for both 200 and 300 miles range

“While the capital costs per vehicle are comparable once fueling systems are deployed, more drivers could have access to electricity initially than access to hydrogen fueling stations. An individual BEV owner who is able to pay \$2100 for a Level 2 home charging outlet fixture will be able to utilize his or her car within half the vehicle range from home even if no other driver has a

BEV in the area. A driver contemplating the purchase of a FCEV, however, would generally require at least one hydrogen fueling station within five or 10 kilometers of home. Most potential FCEV owners could not afford his or her own hydrogen fueling station.¹⁴ We assume that some combination of government and private investment would supply the capital to build the initial batch of hydrogen fueling stations, starting in clusters around a group of major metropolitan cities. Governments would be motivated to jump-start the hydrogen fueling systems to reap the huge societal benefits that will follow from the introduction of large numbers of zero-emission fuel cell EVs. Private investors will eventually be motivated to build new hydrogen fueling stations since the return on investment will be very lucrative once there are many FCEV on the road.”

Anexo 7 All-Electric Vehicles.

All-electric vehicles (EVs) run on electricity only. They are propelled by one or more electric motors powered by rechargeable battery packs. EVs have several advantages over conventional vehicles:

Energy efficient. EVs convert over 77% of the electrical energy from the grid to power at the wheels. Conventional gasoline vehicles only convert about 12%–30% of the energy stored in gasoline to power at the wheels.

Environmentally friendly. EVs emit no tailpipe pollutants, although the power plant producing the electricity may emit them. Electricity from nuclear-, hydro-, solar-, or wind-powered plants causes no air pollutants.

Performance benefits. Electric motors provide quiet, smooth operation and stronger acceleration and require less maintenance than internal combustion engines (ICEs).

Reduced energy dependence. Electricity is a domestic energy source.

EVs have some drawbacks compared to gasoline vehicles:

Driving range. EVs have a shorter driving range than most conventional vehicles—although EV driving ranges are improving. Most EVs can travel more than 100 miles on a charge, and some can travel in excess of 200 or 300 miles depending on the model.

Recharge time. Fully recharging the battery pack can take 3 to 12 hours. Even a "fast charge" to 80% capacity can take 30 min.

Batteries for EVs are designed for extended life, and a study by DOE's National Renewable Energy Laboratory suggest these batteries may last 12 to 15 years in moderate climates and 8 to 12 years in severe climates. However, these batteries are expensive, and replacing them may be costly if they fail.

- <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>

Anexo 8 Environmental Implication of Electric Vehicles in China.

HONG HUO, QIANG ZHANG,

MICHAEL Q. WANG, DAVID G. STREETS, AND KEBIN HE.

“Institute of Energy, Environment and Economy, Tsinghua University, Beijing 100084, China, Center for Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China, Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, 9700 South Cass Avenue, Argonne, Illinois 60439, Decision and Information Sciences Division, Argonne National Laboratory, 9700 South Cass Avenue, Argonne, Illinois 60439, and State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China Received February 15, 2010.”

Revised manuscript received May 10, 2010. Accepted May 11, 2010.


“Today, electric vehicles (EVs) are being proposed in China as one of the potential options to address the dramatically increasing energy demand from on-road transport. However, the mass use of EVs could involve multiple environmental issues, because EVs use electricity that is generated primarily

from coal in China. We examined the fuel-cycle CO₂, SO₂, and NO_x emissions of EVs in China in both current (2008) and future (2030) periods and compared them with those of conventional gasoline vehicles and gasoline hybrids. EVs do not promise much benefit in reducing CO₂ emissions currently, but greater CO₂ reduction could be expected in future if coal combustion technologies improve and the share of nonfossil electricity increases significantly. EVs could increase SO₂ emissions by 3-10 times and also double NO_x emissions compared to gasoline vehicles if charged using the current electricity grid. In the future, EVs would be able to reach the NO_x emission level of gasoline vehicles with advanced emission control devices equipped in thermal power plants but still increase SO₂. EVs do represent an effective solution to issues in China such as oil shortage, but critical policy support is urgently needed to address the environmental issues caused by the use of EVs to make EVs competitive with other vehicle alternatives.”

Anexo 9 EPMMOP Movilidad y Obras, «Electrolineras Quito,» 2019.

Un plan para instalar 10 ‘electrolineras’ acordaron el alcalde Jorge Yunda y la Empresa Eléctrica Quito.

“Instalar 10 ‘electrolineras’ o estaciones de cargas de vehículos eléctricos es la primera medida de un plan que el Municipio y la Empresa Eléctrica Quito

EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE MOVILIDAD Y OBRAS PÚBLICAS					
PROGRAMA:	SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE PÚBLICO				
PROYECTO:	MEJORAMIENTO DE LA MOVILIDAD	AVANCE A LA FECHA:	30.00%		
OBRA/PRODUCTO:	IMPLEMENTACIÓN, MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE UNA ELECTROLINERA EN EL ESTACIONAMIENTO DE LA CAROLINA 8, E INSTALACIÓN DE 9 CARGADORES RÁPIDOS EN LOS ESTACIONAMIENTOS DEFINIDOS POR LA				
UBICACIÓN:	Administración Zonal:	EUGENIO ESPEJO	Barrio / Sector:	CAROLINA	
INICIO DE INTERVENCIÓN:	TRIMESTRE I	<input checked="" type="checkbox"/>	TRIMESTRE II	TRIMESTRE III	TRIMESTRE IV
ESTADO DE LA OBRA:					
ACCIONES RELEVANTES	<ul style="list-style-type: none"> Actualmente se han instalado 3 cargadores rápidos, en los Estacionamientos: <ul style="list-style-type: none"> - Cadisan y la Ronda 23 de julio de 2019 - Montufar 24 de julio de 2019 - San Blas 24 de julio 2019 Se realizó la inspección para instalación de cargadores rápidos el 31 de julio de 2019, en Terminal Quitumbe, Terminal Carcelén y Parque Carolo 				
MODO DE INTERVENCIÓN:	ADMINISTRACIÓN DIRECTA		CONTRATISTA:	Compañía AEKIA S.A	
	CONVENIO	<input checked="" type="checkbox"/>			

(EEQ) acordaron impulsar. El objetivo es promover que en la ciudad circulen vehículos de “energía limpia”.”

“Quito, julio 2019.- Comprometidos en generar energías limpias y hacer de Quito una ciudad más sustentable, este lunes 22 de julio de 2019 se firmó un convenio marco de cooperación entre AEKIA S.A, representante de la marca Kia Motors en Ecuador, y la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP) para la instalación de electrolineras en varios puntos estratégicos de la ciudad.”

“Con un enfoque de amplia cobertura para los clientes actuales y futuros. La propuesta contempla en una primera fase, la instalación de 10 puntos de carga en los estacionamientos de La Ronda, San Blas, Cadisán, Montúfar 1, La Esquina en Cumbayá; los terminales terrestres de Quitumbe y Carcelén,

y en los accesos a los parques metropolitanos Bicentenario, Carollo y La Carolina.”

“La electrolinera es una estación de carga de vehículos eléctricos; permite cargas de forma rápida (30 minutos) y también se contará con estaciones de carga media de 220V (hasta 4 horas). Una carga le permite a un vehículo circular entre 160 y 180 kilómetros; se estima que un vehículo en nuestra ciudad recorre hasta 50 kilómetros.

Actualmente, en la capital circulan diariamente una flota de 150 vehículos livianos eléctricos. Para ellos, desde 2016, Kia Motors diseñó un plan de impulso a la movilidad sostenible, mismo que promueve un servicio de recarga gratuita en todos los concesionarios de Kia Motors y en varios centros comerciales de la ciudad, para cualquier vehículo eléctrico ya que el cargador es universal y funciona para varias marcas.”

- <http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/gestion-2019/electrolineras.html>.

Anexo 10 A. d. D. M. d. Quito, «Resolución No. A-020 Artículo 11.- Programaciones Especiales,» Quito, 2019.

Art. 10.- Programaciones especiales.- No podrán circular dentro del área de restricción establecida en el art. 14 de este reglamento, entre las 08h00 y 09h30, en la mañana; y, las 17h30 y las 19h00 en la tarde y noche, de conformidad con el calendario previsto para la programación general en el art. 9 precedente, los vehículos de propulsión por motor eléctrico de uso particular.

ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Anexo 11 Gino Sovran, General Motors Research and Environmental Staff, Warren, Michigan 48090-9055.

“In fluid mechanical terms, road vehicles are bluff bodies in very close proximity to the ground. Their detailed geometry is extremely complex. Internal and recessed cavities which communicate freely with the external flow (i.e. engine compartment and wheel wells, respectively) and rotating wheels add to their geometrical and fluid mechanical complexity. The flow over a vehicle is fully three-dimensional. Boundary layers are turbulent. Flow separation is common and may be followed by reattachment. Large turbulent wakes are formed at the rear and in many cases contain longitudinal trailing vortices. As is typical for bluff bodies, drag (which is a key issue for most road vehicles--but far from the only one) is mainly pressure drag. This is in contrast to aircraft and ships, which suffer primarily from friction drag. The avoidance of separation or, if this is not possible, its control are among the main objectives of vehicle aerodynamics. With regard to their geometry, road vehicles comprise a large variety of configurations (Figure 1). Passenger cars, vans, and buses are closed, single bodies. Trucks and race

cars can be of more than one body. Motorcycles and some race cars have open driver compartments. With the race car being the only exception, the shape of a road vehicle is not primarily

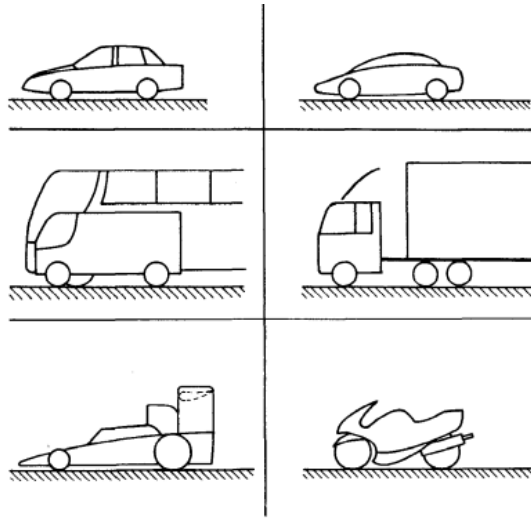


Figure 1 With respect to geometry, road vehicles comprise a wide variety of shapes. Race cars and, even more so, motorcycles have to be studied with the driver in place.

determined by the need to generate specific aerodynamic effects--as, for instance, an airplane is designed to produce lift. To the contrary, a road vehicle's shape is primarily determined by functional, economic and, last but not least, aesthetic arguments. The aerodynamic characteristics are not usually, generated intentionally; they are the consequences of, but not the reason for, the shape. These "other than aerodynamic" considerations place severe constraints on vehicle aerodynamicists. For example, there are good reasons for the length of a vehicle being a given. Length for a passenger car is a measure of its size, and thus its class. To place a car in a specific market niche means recognizing length as an invariant in design. Furthermore, mass

and cost are proportional to length. In the same sense all the other main dimensions of a vehicle, such as width and height (which define frontal area), are frozen very early in the design process. Even the details of a car's proportions are prescribed to close limits for reasons of packaging and aesthetics. Of course, some maneuvering room must be left to the aerodynamicists (the hatched regions). Otherwise, they would do no more than just measure the aerodynamic characteristics of configurations designed by others. Depending on the specific purpose of each type of vehicle, the objectives of aerodynamics differ widely. While low drag is desirable for all road vehicles, other aerodynamic properties are also significant. Negative lift is decisive for the cornering capability of race cars, but is of no importance for trucks. Cars and, even more so, vans are sensitive to cross wind, but heavy trucks are not. Wind noise should be low for cars and buses, but is of no significance for race cars. While the process of weighing the relative importance of a set of needs from various disciplines is generally comparable to that in other branches of applied fluid mechanics, the situation in vehicle aerodynamics is unique in that an additional category of arguments has to be taken into account: art, fashion, and taste. In contrast to technical and economic factors, these additional arguments are subjective in nature and cannot be quantified. Exterior design (the term "styling" that was formerly used is today usually avoided) has to be recognized as extremely important.

"Design is what sells" rules the car market worldwide. While design gives technical requirements a form that is in accord with fashion, the fundamental nature of fashion is change. Consequently, although vehicle aerodynamics is getting better and better, it is not progressing toward a single ultimate shape as in the case, for instance, of subsonic transport aircraft. To the contrary, it must come to terms with new shapes again and again. There is no question, however, that aerodynamics does influence design. The high trunk typical of notchback cars with low drag is the most striking example. Despite the fact that it tends to look "bulky," it had to be accepted by designers because of its favorable effect on drag--and the extra luggage space it provides. Today's cars are streamlined more than ever, and an "aero-look" has become a styling feature of its own."

- <https://pdfs.semanticscholar.org/dc99/6989c04ba17a840c46d1e189d2026a938cb2.pdf>

Anexo 12 Manual Práctico del Automóvil – Mecanismos, Georg Westermann Verlag, EDITORIAL REVERTE. S.A 1980.

“Un automóvil debe vencer durante su marcha la resistencia a la rodadura y la resistencia del aire, así como ocasionalmente en las subidas la resistencia que éstas oponen.”

Resistencia a la rodadura.

“Debido a la carga que grava sobre las ruedas, los neumáticos ejercen una presión sobre la calzada en las superficies de contacto, presión que origina durante el rodamiento del coche una reacción del suelo sobre ellos, denominada resistencia a la rodadura. Su magnitud depende de la profundidad de la impresión, la que a su vez depende del diámetro de los bandajes, de la presión de los neumáticos y de la resistencia de las calzadas. Un diámetro pequeño de neumáticos deja sobre calzadas blandas, una impresión más profunda que un diámetro de neumáticos grande sobre una calzada dura. Las diversas circunstancias vienen incluidas en un coeficiente de resistencia a la rodadura.

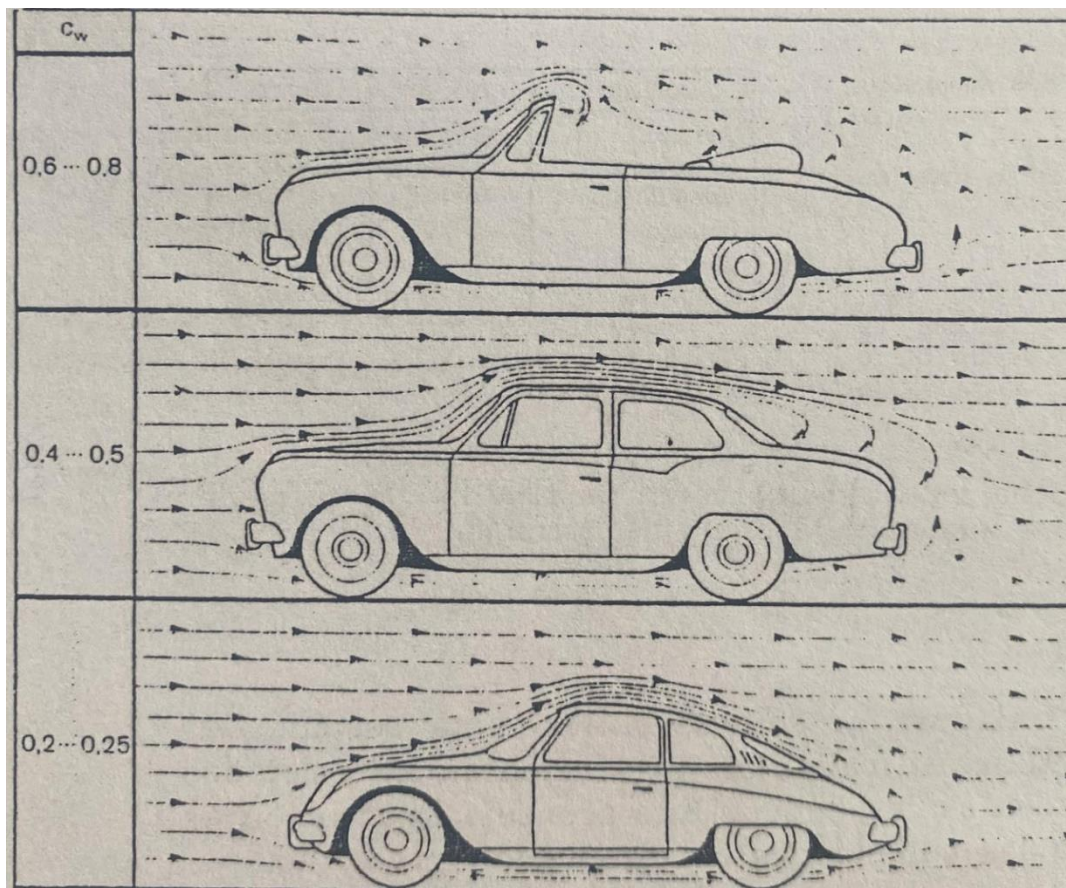
$$\begin{aligned} \text{Coeficiente de resistencia} &= \frac{\text{Impresión del neumático}}{\text{Diámetro del neumático}} \\ \text{o bien} \quad f &= \frac{a}{r} \\ \text{Resistencia a la rodadura} &= \text{Peso} \cdot \text{coeficiente de resistencia} \\ \text{o bien} \quad F_R &= F_G \cdot f \end{aligned}$$

Con una gran resistencia a la rodadura no sólo se obtiene una pérdida de potencia, sino que además los bandajes se calientan más intensamente debido la continuidad de choques, y pierden su resistencia. Ello aconseja la atención a las impresiones neumáticos y a las velocidades de circulación prescritas.”

Resistencia del aire.

“Durante la marcha se crea una corriente de aire, que ejerce sobre el coche una contrapresión influenciando notablemente su velocidad. Esta presión circulatoria de aire, denominada también presión resistente, depende principalmente de la velocidad del aire y de la del coche. En el caso de grandes diferencias de altura interviene también la densidad del aire.”

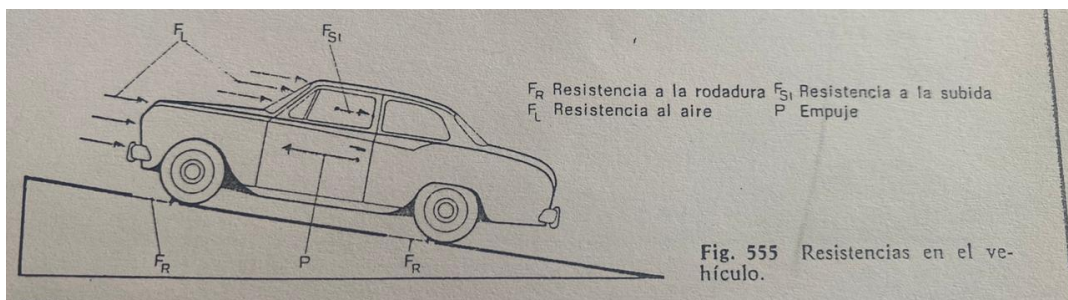
“La presión circulatoria actúa sobre la superficie frontal del vehículo. Cuanto menor es esta superficie, tanto menor es también la contrapresión y con ella el efecto de frenado de la corriente de aire. La superficie de incidencia del aire se puede calcular aproximadamente en función de la anchura de ejes y la altura del vehículo.”



“Cuando la carretera asciende, una parte del peso del coche gravita contra el sentido de marcha. Esta resistencia, denominada resistencia en las subidas, depende del ángulo de inclinación de la calzada y del peso del vehículo. El ángulo de inclinación se obtiene en función de la relación de la altura ascendida a la longitud del propio tramo. En los gráficos de recorridos figuran indicados los correspondientes ángulos de las pendientes en %.”

“Para vencer una pendiente es necesario mucho esfuerzo. Por tanto procede la inserción oportuna de la marcha correspondiente, la cual es función de la potencia del coche.”

“Todas las resistencias a la marcha determinan conjuntamente la potencia necesaria para el mantenimiento de la velocidad deseada. Deben considerarse también las resistencias por rozamiento creadas en el mecanismo de transmisión. La resistencia total resulta por consiguiente de la suma de las resistencias aisladas y del rendimiento mecánico del mecanismo integral de transmisión.”



- [W. Schwoch, Manual práctico del Automóvil, Berlín: Reverté.](#)

Anexo 13 S. Dhameja, Electric Vehicle Battery Systems, Elsevier, 2001.

“Li-ion batteries are the third type most likely to be commercialized for EV applications. Because lithium is the metal with the highest negative potential and lowest atomic weight, batteries using lithium have the greatest potential for attaining the technological breakthrough that will provide EVs with the greatest performance characteristics in terms of acceleration and range. Unfortunately, lithium metal, on its own, is highly reactive with air and with most liquid electrolytes. To avoid the problems associated with metal lithium, lithium intercalated graphitic carbons (Li,C) are used and show good potential for high performance, while maintaining cell safety.”

“In the 1990s, concerns both over the worldwide growth of demand for fossil fuels for transportation, namely petroleum and the reduction of vehicle emissions has once again intensified EV development. This in turn has led to advances in research and development of traction batteries for EVs. The U.S. Department of Energy (DOE) has formed the U.S. Advanced Battery Consortium (USABC) to accelerate the development of advanced batteries for use in EV design. The Consortium is a government- industry partnership between DOE and the three largest automobile manufacturers-Daimler-Chrysler, Ford, and General Motors-and the Electric Power Research

Institute (EPRI). The USABC has established battery performance goals intended to make EVs competitive with conventional IC engine vehicles in performance, price, and range. The path of technological development for EV batteries will emphasize advanced Pb-acid, NIMH batteries, Li-ion, and lithium-polymer batteries. Daimler-Chrysler, Ford, and General Motors will initially use Pb-acid batteries. Honda and Toyota will produce vehicles that use nickel metal-hydride batteries, while Nissan will demonstrate vehicles using Li-ion batteries.”

Anexo 14 A Guide to Understanding Battery Specifications MIT Electric Vehicle Team, December 2008



A battery is a device that converts chemical energy into electrical energy and vice versa. This summary provides an introduction to the terminology used to describe, classify, and compare batteries for hybrid, plug-in hybrid, and electric vehicles. It provides a basic background, defines the variables used to characterize battery operating conditions, and describes the manufacturer specifications used to characterize battery nominal and maximum characteristics.

Battery Basics

- Cell, modules, and packs – Hybrid and electric vehicles have a high voltage battery pack that consists of individual modules and cells organized in series and parallel. A cell is the smallest, packaged form a battery can take and is generally on the order of one to six volts. A module consists of several cells generally connected in either series or parallel. A battery pack is then assembled by connecting modules together, again either in series or parallel.

- Battery Classifications – Not all batteries are created equal, even batteries of the same chemistry. The main trade-off in battery development is between power and energy: batteries can be either high-power or high-energy, but not both. Often manufacturers will classify batteries using these categories. Other common classifications are High Durability, meaning that the chemistry has been modified to provide higher battery life at the expense of power and energy.

- C- and E- rates – In describing batteries, discharge current is often expressed as a C-rate in order to normalize against battery capacity, which is often very different between batteries. A C-rate is a measure of the rate at which a battery is discharged relative to its maximum capacity. A 1C rate means that the discharge current will discharge the entire battery in 1 hour.

For a battery with a capacity of 100 Amp-hrs, this equates to a discharge current of 100 Amps. A 5C rate for this battery would be 500 Amps, and a C/2 rate would be 50 Amps. Similarly, an E-rate describes the discharge power. A 1E rate is the discharge power to discharge the entire battery in 1 hour.

- Secondary and Primary Cells – Although it may not sound like it, batteries for hybrid, plug-in, and electric vehicles are all secondary batteries. A primary battery is one that can not be recharged. A secondary battery is one that is rechargeable.

Battery Condition This section describes some of the variables used to describe the present condition of a battery.

- State of Charge (SOC)(%) – An expression of the present battery capacity as a percentage of maximum capacity. SOC is generally calculated using current integration to determine the change in battery capacity over time.

Depth of Discharge (DOD) (%) – The percentage of battery capacity that has been discharged expressed as a percentage of maximum capacity. A discharge to at least 80 % DOD is referred to as a deep discharge.

- Terminal Voltage (V) – The voltage between the battery terminals with load applied. Terminal voltage varies with SOC and discharge/charge current.
- Open-circuit voltage (V) – The voltage between the battery terminals with no load applied. The open-circuit voltage depends on the battery state of charge, increasing with state of charge.
- Internal Resistance – The resistance within the battery, generally different for charging and discharging, also dependent on the battery state of charge. As internal resistance increases, the battery efficiency decreases and thermal stability is reduced as more of the charging energy is converted into heat. Battery Technical Specifications This section explains the specifications you may see on battery technical specification sheets used to describe battery cells, modules, and packs.
- Nominal Voltage (V) – The reported or reference voltage of the battery, also sometimes thought of as the “normal” voltage of the battery.
- Cut-off Voltage – The minimum allowable voltage. It is this voltage that generally defines the “empty” state of the battery.

- Capacity or Nominal Capacity (Ah for a specific C-rate) – The coulometric capacity, the total Amp-hours available when the battery is discharged at a certain discharge current (specified as a C-rate) from 100 percent state-of-charge to the cut-off voltage. Capacity is calculated by multiplying the discharge current (in Amps) by the discharge time (in hours) and decreases with increasing C-rate.
- Energy or Nominal Energy (Wh (for a specific C-rate)) – The “energy capacity” of the battery, the total Watt-hours available when the battery is discharged at a certain discharge current (specified as a C-rate) from 100 percent state-of-charge to the cut-off voltage. Energy is calculated by multiplying the discharge power (in Watts) by the discharge time (in hours). Like capacity, energy decreases with increasing C-rate.
- Cycle Life (number for a specific DOD) – The number of discharge-charge cycles the battery can experience before it fails to meet specific performance criteria. Cycle life is estimated for specific charge and discharge conditions. The actual operating life of the battery is affected by the rate and depth of cycles and by other conditions such as temperature and humidity. The higher the DOD, the lower the cycle life.

- **Specific Energy (Wh/kg)** – The nominal battery energy per unit mass, sometimes referred to as the gravimetric energy density. Specific energy is a characteristic of the battery chemistry and packaging. Along with the energy consumption of the vehicle, it determines the battery weight required to achieve a given electric range.

Specific Power (W/kg) – The maximum available power per unit mass. Specific power is a characteristic of the battery chemistry and packaging. It determines the battery weight required to achieve a given performance target.

- **Energy Density (Wh/L)** – The nominal battery energy per unit volume, sometimes referred to as the volumetric energy density. Specific energy is a characteristic of the battery chemistry and packaging. Along with the energy consumption of the vehicle, it determines the battery size required to achieve a given electric range.

- **Power Density (W/L)** – The maximum available power per unit volume. Specific power is a characteristic of the battery chemistry and packaging. It determines the battery size required to achieve a given performance target.

- **Maximum Continuous Discharge Current** – The maximum current at which the battery can be discharged continuously. This limit is usually defined by the battery manufacturer in order to prevent excessive discharge rates that would damage the battery or reduce its capacity. Along with the maximum continuous power of the motor, this defines the top sustainable speed and acceleration of the vehicle.

- **Maximum 30-sec Discharge Pulse Current** –The maximum current at which the battery can be discharged for pulses of up to 30 seconds. This limit is usually defined by the battery manufacturer in order to prevent excessive discharge rates that would damage the battery or reduce its capacity. Along with the peak power of the electric motor, this defines the acceleration performance (0-60 mph time) of the vehicle.

- **Charge Voltage** – The voltage that the battery is charged to when charged to full capacity. Charging schemes generally consist of a constant current charging until the battery voltage reaching the charge voltage, then constant voltage charging, allowing the charge current to taper until it is very small.

- Float Voltage – The voltage at which the battery is maintained after being charge to 100 percent SOC to maintain that capacity by compensating for self-discharge of the battery.
- (Recommended) Charge Current – The ideal current at which the battery is initially charged (to roughly 70 percent SOC) under constant charging scheme before transitioning into constant voltage charging.
- (Maximum) Internal Resistance – The resistance within the battery, generally different for charging and discharging.
- http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf

Anexo 15 M. Carvajal, «Las calles en el Centro de Quito alcanzan hasta 23% de gradiente,» El Comercio.

“Las calles en el Centro de Quito alcanzan hasta 23% de gradiente”

“No importa qué tan experimentado sea un conductor. Cuando el semáforo de la intersección entre las calles Olmedo y Cuenca, en el Centro Histórico

de Quito, se pone en rojo en una tarde lluviosa y hay que detenerse, es inevitable sentir la dificultad para ponerse nuevamente en marcha sobre las piedras cuando se enciende la luz verde.

Entre más mojada está una vía empedrada, más complicado es retomar el camino. Situaciones similares se repiten en calles del barrio de San Juan, como la Carchi, Panamá o las vías que van a Toctiuco.

Quito es una ciudad de geografía irregular, por estar asentada en las faldas del Pichincha y otras elevaciones, como el Atacazo, por lo cual las cuestas son comunes en la ciudad.

Debido a esta clase de topografía, hay muchas zonas de cuestas con una gradiente mayor al 10% (10 metros de altura por cada 100 metros de longitud), que según Alex Rivera, gerente de Estudios de la Epmmp, es considerado un nivel alto de pendiente. Así, la calle Galápagos, entre García Moreno y Cuenca, tiene una gradiente del 23%, por lo que está considerada la vía más empinada de Quito.

Estas cuestas pronunciadas son comunes en sectores como San Juan, Toctiuco, la Cima de la Libertad, La Vicentina Baja. Existen otros sectores en el sur, como La Ferroviaria o Chilibulo; y en el norte, como La Pulida y

La Florida Alta, con pendientes altas. Sin embargo, en estos sitios la mayoría de vías tiene asfalto o adoquín.

Según el consultor en movilidad Roberto Custode en el pasado las vías de este tipo se cubrían con piedra porque la maquinaria no permitía poner el asfalto, pues era difícil hacerlo. “Pero la piedra se vuelve jabón, más cuando llueve, y aunque bajas lento, un frenazo te descoloca”. Ahora, la maquinaria está habilitada para poner material más seguro y por eso se ha decidido reemplazar piedra por asfalto en calles como la Bosmediano (norte).

Sin embargo, en otras zonas de la ciudad, como en el Centro Histórico o en Guápulo, la piedra no puede ser sustituida, ya que esta forma parte de los bienes inventariados dentro de la Declaratoria que hizo la Unesco sobre Quito, como Patrimonio Cultural de la Humanidad. Eso incluye edificaciones y espacios públicos como calles y plazas en un perímetro de 71,32 hectáreas, más un área protegida de 304,82 hectáreas, según el Instituto Metropolitano de Patrimonio (IMP).

Estas vías no deberían recibir alto flujo vehicular, porque la tracción de las llantas deteriora o desprende las piedras. Debido a que la posibilidad de

limitar su uso es mínima, el IMP hace mantenimiento tanto de piedras como de la base.

Rivera indica que el diseño actual de pavimentos permite que se ponga cualquier material en las vías, sin importar su inclinación, si se toman precauciones. Pero aclara que el asfalto es la mejor opción.

En el caso de cuestas, siempre debe haber un tratamiento especial, porque cuando un vehículo está circulando, se detiene y vuelve a salir, genera un rozamiento adicional. Esto causa corrimientos en el asfalto o desprendimiento de adoquines de piedra o de cemento.

Para el caso del asfalto, se requiere de un diseño de la mezcla asfáltica más gruesa. La brea debe estar bien diluida y los agregados (ripio) deben ser más grandes. Cuando se trata de adoquines o piedra, se deben colocar bermas (muros) en el centro de la vía, para garantizar mayor ligadura. Estos últimos se recomiendan para vías de menor carga vehicular.

En materia de seguridad vial, de preferencia una cuesta no debería ser de doble vía, según Custode. Si un vehículo baja por la pendiente y pierde el

control, tiende a cambiarse de carril y podría impactarse con el auto que sube. Pero hay vías que no tienen una alternativa.

Por ello, además de respetar los límites de velocidad, existen mecanismos de control, como reducción del ancho de la vía, semáforos, señalética, resonadores (bandas) o reductores de velocidad virtuales (pintura) o físicos para reducir la accidentalidad.

En contexto

Las vías empinadas abundan en Quito, por su ubicación en medio de accidentes geográficos. Aunque técnicamente es posible recubrir esas calles con piedra, adoquín o asfalto, la tercera opción es la más segura, porque facilita el agarre de las llantas.

Este contenido ha sido publicado originalmente por **Diario EL COMERCIO** en la siguiente **dirección:** <https://www.elcomercio.com/actualidad/calles-centro-quito-pendiente-epmmop.html>. Si está pensando en hacer uso del mismo, por favor, cite la fuente y haga un enlace hacia la nota original de donde usted ha tomado este contenido. [ElComercio.com](https://www.elcomercio.com)”

Anexo 16 Asamblea Nacional del Ecuador, Ley Organica de Transporte Terrestre, tránsito y seguridad vial, 2016.

CAPITULO VI DE LOS LIMITES DE VELOCIDAD

Para vehículos livianos, motocicletas y similares:

“Tipo de Límite Rango Fuera del Vía máximo moderado rango moderado
(Art. 142.g (Art. 145.e de la Ley) de la Ley)

Urbana 50 Km/h mayor que 50 Km/h mayor que 60 - menor o igual km/h
que 60 Km/h

Perimetral 90 Km/h mayor que 90 Km/h mayor que 120 - menor o igual
Km/h que 120 km/h”

- <https://www.ses.com.ec/reglamento-a-la-ley-de-transporte-terrestre/>

Anexo 17 M. Tutuianu, A. Marotta, H. Steven, E. Ericsson, T. Haniu, N. Ichikawa y H. Ishii, «Development of a World-wide Worldwide harmonized Light duty driving Test Cycle (WLTC),» DHC subgroup, 2013.

“The development of the WLTC was carried out under a program launched by the World Forum for the Harmonization of Vehicle Regulations (WP.29) of the United Nations Economic Commission for Europe (UN-ECE) through the working party on pollution and energy transport program (GRPE). The aim of this project was to develop a World-wide harmonized Light duty driving Test Cycle (WLTC), to represent typical driving characteristics around the world, to have the basis of a legislative worldwide harmonized type certification test from 2014 onwards.”

“Driving cycles are produced by different countries and organizations and used to assess the performance of vehicles, such as pollutant emissions, fuel consumption and traffic impact. There are two main categories of test cycles: legislative cycles employed in type-approval tests for vehicles emissions certification and non-legislative cycles mainly used in research. Several international harmonized engine dynamometer cycles have been developed for engine emission certification of heavy-duty and non-road engines (WHSC, WHTC, NRTC). A worldwide harmonized test cycle has been developed also for motorcycles emissions (WMTC).

For Light-Duty (LD) vehicles, various vehicle dynamometer test cycles are employed in type-approval tests for emission certification. Such test cycles are: the NEDC1 used in Europe, JC082 applied in Japan, the UDDS (FTP-75) 3 used in the United States. The NEDC cycle includes four urban driving cycle (ECE) segments characterized by low vehicle speed, low engine load, and low exhaust gas temperature, followed by one extra-urban segment to account for more aggressive and higher speed driving. JC08, represents driving in congested city traffic, including idling periods and frequently alternating acceleration and deceleration. In the U.S, currently the Federal Test Procedure (FTP-75) is used for emission certification of cars and light duty trucks. The US FTP -75 is a transient cycle produced from real measurements in Los Angeles and it represents only a specific region in the US.

Each of these driving cycles has advantages and drawbacks/disadvantages. For example, NEDC, which consists of several steady-steady test modes, is quite simple to drive and thus repeatable. However, it is well known that NEDC does not represent real driving behavior of a vehicle in actual traffic thus, does not necessarily reflect pollutant emissions and fuel consumption. JC08 represents real driving behavior but only in congested city traffic situations and does not cover other driving conditions and road types. FTP-

75 covers a wider range of driving conditions than JC08, however it is still not complete enough to cover all possible driving situations (in fact, in the USA, vehicles have to be additionally tested on a Highway cycle and two Supplemental Federal Test Procedures (SFTP) designed to address shortcomings with the FTP-75 in the representation of (1) aggressive, high speed driving (US06), and (2) the use of air conditioning (SC03)”

“Therefore, when the WLTC project was started it was agreed to design a new legislative driving cycle to predict More accurately the exhaust emissions and fuel consumption under real-world driving conditions. The world-wide harmonized light duty test cycle (WLTC) presented in this paper, was derived from “real world” driving data from five different regions: EU + Switzerland, USA, India, Korea and Japan covering a wide range of vehicle categories (M1, N1 and M2 vehicles, various engine capacities, power-to-mass ratios, manufacturers etc), over different road types (urban, rural, motorway) and driving conditions (peak, off-peak, weekend).”

- https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp29grpe/G_RPE-68-03e.pdf

Anexo 18 S. C. Walpole, D. Prieto-Merino y P. Edwards, «The weight of nations: an estimation of adult human biomass.,» BMC Public Health, n° 439, p. 12, 2012.

WHO region	Adult population (millions)	Average body mass (kg)
Asia	2815	57.7
Europe	606	70.8
Africa	535	60.7
Latin Am. Caribbean	386	67.9
Northern Am.	263	80.7
Oceania	24	74.1
World	4630	62.0
Scenario (1): all countries have BMI distribution of Japan	4630	58.8
Scenario (2): all countries have BMI distribution of USA	4630	74.6

Anexo 19 G. Cevallos Paredes, J. F. Cueva y K. A. Pinto, «Quito, ciudad de altura,» Rev. Inv Acad. Educación, vol. 2, p. 14, 2018.

“El aire como toda materia, es una masa gaseosa que ocupa un espacio tiene un volumen y ejerce una presión y a diferencia de los sólidos, puede ser comprimido. El aire tiene una densidad aproximada de 1 ,293 grs/litro, esta

es la responsable de la presión atmosférica en forma proporcional, así, al variar la densidad, incrementa el peso del aire o lo disminuye proporcionalmente. “

- <https://www.revistaacademica-istcre.edu.ec/admin/postPDF/Quito,ciudaddealtura.pdf>

Anexo 20 L. Valoen y M. Shoesmith, «The Effect of PHEV and HEV duty Cycles on Battery and Battery Pack Performance,» Research Gate, Porsgrunn, Noruega, 2016.

Coulombic efficiency can be seen as a measure of how much of the electric charge that is used for the intended purpose of an electrical device. Non-aqueous battery chemistries tend to run very small side reaction currents, hence achieving near 100% coulombic efficiency, even for real life duty cycles as seen in power tools or electric vehicles. The energy efficiency is the fraction of the total stored energy in a cell that is measurable as electrical energy. No battery chemistry can obtain 100% energy efficiency, for the simple reason that there will always be energy dissipated as heat through internal impedances. Generally, the efficiency drops as the current is increased because the rate dependent component of electrode overpotentials and the formation of concentration gradients will consume energy. In order to effectively design and utilize batteries for real life, powerdemanding

applications, some understanding of how the heat to electrical energy ratio varies with current and duty cycle is required.

➤ The aim of the present paper is to demonstrate a methodology for adequately comparing different batteries or different battery chemistries for real life type of duty cycles without having to deal with the exact details of such duty cycles.

➤ Duty cycles are often defined in terms of their average current I ; however, this is insufficient to characterize pulsed duty cycles that may contain numerous steps. The standard deviation σ gives a representation of the departure from the constant current state. To make it more universally applicable and to enable scaling we define the duty cycle eccentricity (DCE) as a unitless quantity given by

$$DCE = \frac{\sigma}{I} = \frac{\sqrt{I^2 - \bar{I}^2}}{\bar{I}}$$

➤ If we then choose duty cycles such that the mean current remains constant in all cases, we can measure the cell efficiency as the duty cycle eccentricity grows.

➤ Ignoring concentration gradients and assuming constant temperature, the cell will exhibit ohmic behavior: the voltage drop will be exactly proportional to the current. We use this theoretical behaviour to estimate the net contribution from temperature changes and concentration gradients

and to determine whether they are positive or negative by extrapolating a least squares fit of energy efficiency vs DCE at low currents. Selecting current profiles

➤ For pulsed current testing involving different cell chemistries, selection of the current profile becomes non-trivial since the coulombic efficiency must be kept as close to unity as possible for the charge step when characterizing the discharge step and vice versa when characterizing the charge step. This is relatively straightforward for Li-ion batteries as long as the temperature is kept around room temperature or lower, and provided the recommended voltage range is not exceeded. This is possible because side reactions are virtually absent for the aforementioned conditions.

➤ For aqueous chemistries, the situation is quite different, particularly for the charging reaction since the reversible hydrogen evolution potential is 1.23V (Aylward and Findlay 1974). This means that at any voltage exceeding 1.23V, some hydrogen evolution will occur. The rate of the hydrogen evolution will be dependent on the voltage difference between the electrodes.

EXPERIMENTAL

Standard E-One Moli Energy IMR26700A cells using LiMn_2O_4 based positive electrodes were employed for all tests with Li-ion batteries.

Nickel-Cadmium (NiCd) batteries were obtained from an 18V 2.4Ah power tool pack. Nickel-Metal hydride (NiMH) cells were obtained from a 19.2V, 2.6Ah power tool pack.

➤ High current measurements were performed using an E-One Moli Energy charger system or a Maccor Series 4000 battery cycler.

Calorimetric measurements were performed using a Columbia Scientific Industries Accelerating Rate Calorimeter (ARC) and a Kikusui PLZ 700W electronic load.

➤ For characterizing pulsed discharge, Li-ion batteries were charged using a constant current/constant voltage regime, starting with a current of 1C, switching to a constant voltage once 4.2V was reached. Charge was terminated when the combined charge time reached 90min. This 100% state-of-charge (SOC) was chosen as a reference state for the Li-ion cells.

➤ NiMH batteries were first tested for coulombic efficiency using a charge current of C/10. It was found that the coulombic efficiency was near 100% up to a SOC of 90% using this current. The fully charged, reference state was therefore defined as 90% SOC for the NiMH batteries. For the NiCd batteries, the charge efficiency was somewhat lower using C/10 as a

charge current and 80% SOC was chosen as the fully charged, reference state.

➤ For all cells, a charge approximately equal to 10% of the battery capacity was removed during the pulsed discharge step. The cells were then charged up replacing an equal amount of charge compared to what was removed during the discharge step. For the NiMH and the NiCd batteries, a charge current of C/10 was selected whereas the Li-ion batteries could sustain 1C charge current without the coulombic efficiency dropping. To compensate for limitations in the testing equipment, some of the tests were conducted using NiMH and NiCd 3 cell series packs.

➤ For characterizing pulsed charge, a lower cutoff voltage was selected and used to define the discharged state. For NiCd and NiMH, discharged state was defined as a C/10 discharge to 0.9V. For Li-ion, the cells were discharged to a lower cutoff voltage of 2.5V using a C-rate current. This was defined as the fully discharged reference state. After every pulsed charge an equal amount of charge was removed before the next charge was initiated.

➤ **RESULTS AND DISCUSSION** Figures 1, 2, and 3 show the coulombic efficiencies for the three battery types using a C/10 constant charge current.

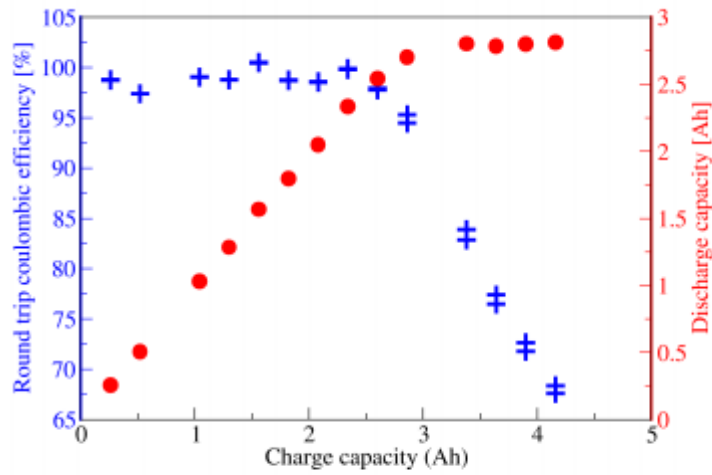


Figure 1: NiMH Round trip coulombic efficiency and discharge capacity as a function of charged capacity for C/10 currents.

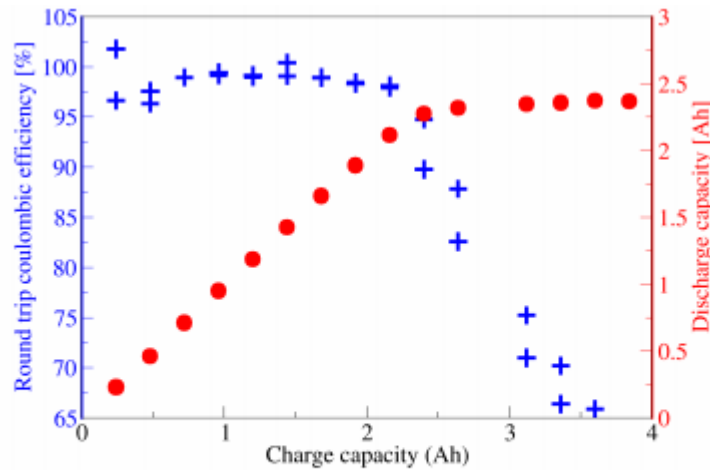


Figure 2: NiCd Round trip coulombic efficiency and discharge capacity as a function of charged capacity for C/10 currents.

It can be observed that both full efficiency and full discharge capacity are unobtainable even for this relatively low current. In particular for NiMH (Figure 1) and NiCd (Figure 2) cells the discharge efficiency drops rapidly

as the cell approaches its fully charged state. The onset of this efficiency loss was chosen as the fully charged reference state for energy efficiency tests. This corresponds to approximately 90% of the maximum discharge capacity for the NiMH cell and 80% for the NiCd cells.

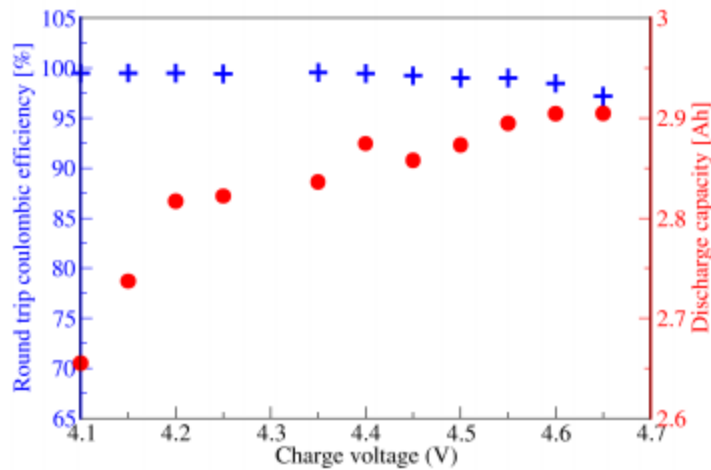


Figure 2: Li-ion Round trip coulombic efficiency and discharge capacity as a function of charge voltage for C/10 currents. Unlike NiMH and NiCd Li-ion batteries are charged using a CC-CV charging routine. This makes it easier to avoid cells being overcharged using a simple charger with no temperature monitoring

For the lithium ion cells, the coulombic efficiency is voltage determined. This is due to the constant voltage charge method. The fully charged state for a Li-ion cell is typically 4.2V, and the coulombic efficiency is very close to 100% at this point. As the voltage increases beyond 4.7V the efficiency does start to drop since electrolyte decomposition starts to take effect. There will be some voltage threshold for all battery chemistries beyond which this electrolyte decomposition starts to happen. However, there is a fundamental difference between NiCd/NiMH and Li-ion since this

electrolyte decomposition is mostly reversible for the former, whereas for the latter electrolyte decomposition is irreversible (Besenhard, 1998).

In Figure 4, the measured round-trip efficiency as a function of the duty cycle eccentricity is shown. In all tests the average current was kept to 3.3C (10A). For the tests with variable current on charge, the discharge current was kept constant at 1C and for the tests with variable current on discharge; the charge current was kept constant at 1C.

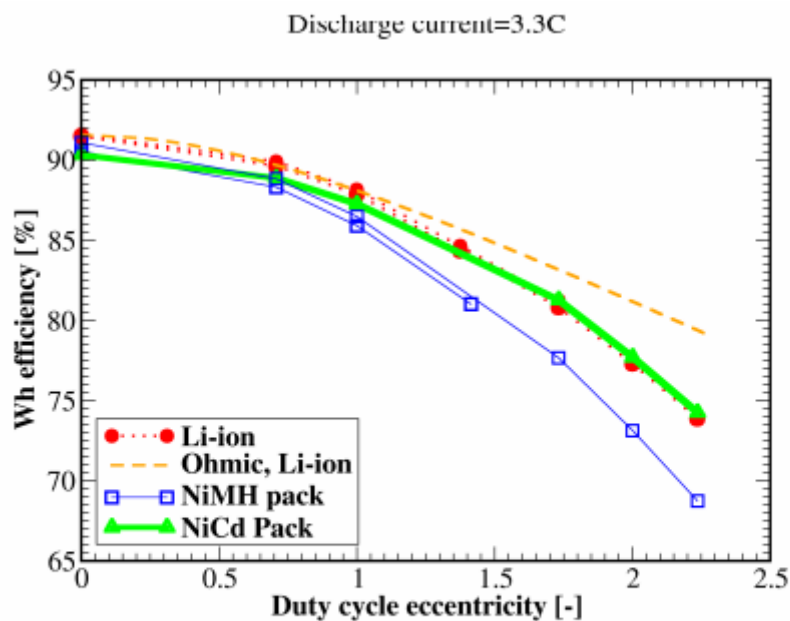


Figure 4: Measured round-trip charge and discharge efficiencies as a function of duty cycle eccentricity for 3.3C (10A) discharges.

For constant current, Li-ion shows a higher efficiency than NiMH and NiCd.

As the duty cycle eccentricity increases the energy efficiency drops for all chemistries tested. The NiMH packs drops off faster than NiCd and Li-ion.

As previously described, we can predict an ideal curve for efficiency vs. duty cycle eccentricity, denoted 'ohmic' in the plot. It can also be observed that the discharge efficiency deviates from predicted ohmic behavior once the eccentricity is greater than one. This is an indication that non-ohmic processes, such as diffusion or reaction kinetics, start to significantly influence the cell performance above that point.

From Figure 4, it can be observed that as the duty cycle eccentricity of the current profile increases, the efficiency decreases for all the battery systems tested. The efficiency for the Li-ion batteries is higher than for the NiMH and the NiCd batteries for the constant current discharge. The NiMH batteries showed a higher decline in efficiency compared to the Li-ion and the NiCd batteries whereas the latter were comparable. It is also worthwhile to observe that the measurements performed using 3 cell series packs for NiCd and NiMH cells yielded the same efficiencies as the measurements performed for single cell tests.

Since the coulombic efficiency is very close to 1 for Li-ion batteries, it is also possible to analyze the efficiency as a function of duty cycle eccentricity for the charge current in a very straightforward, simple way. This is shown in Figure 5.

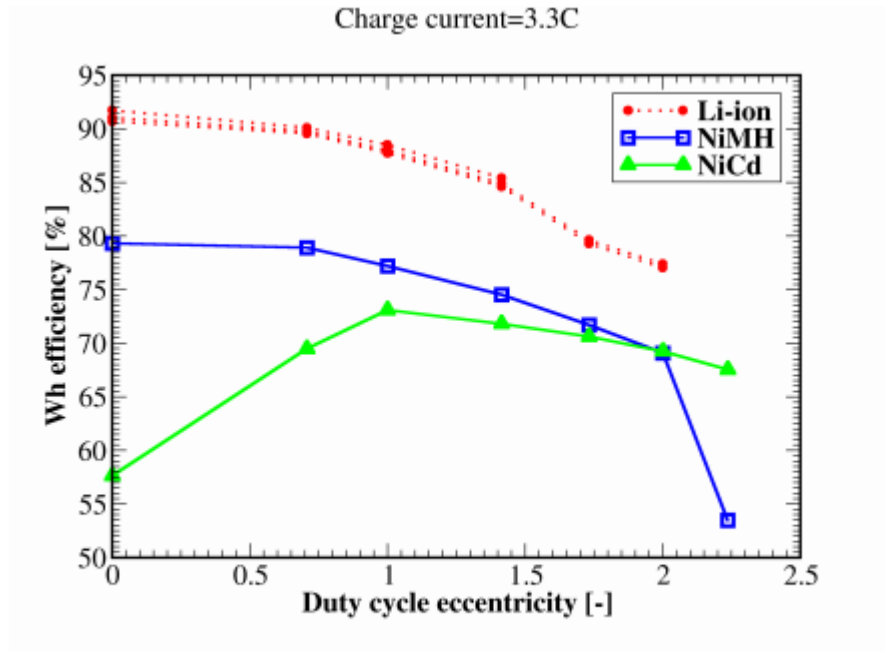


Figure 5: Measured charge efficiencies as a function of ratio of duty cycle eccentricity for NiCd, NiMH and Li-ion batteries

From Figure 5 it can be observed that the behavior is fundamentally different for the different battery chemistries. Li-ion has a very high charge efficiency, decreasing slightly as the duty cycle eccentricity increases. For the NiCd batteries, the charge efficiency is substantially lower. The NiCd efficiency shows a peak for an intermediate duty cycle eccentricity. For constant current, the coulombic efficiency is quite low, increasing with increasing duty cycle eccentricity of the current profile. However, as the duty cycle eccentricity increases, the heat production increases and offsets the gain in coulombic efficiency.

The importance of the findings presented in Figure 5 are of less importance for a battery charged using abundant power from the grid than for a battery

charged from a limited energy source such as recaptured energy from regenerative braking. For a plug-in hybrid or electric vehicle, this will impact the all-electric-range (AER) and dependent on the AER extension provided by the regenerative braking significantly contribute to which battery chemistry would constitute the ideal selection for such vehicles.

In Figure 6, the efficiency as a function of the depth of discharge (DOD) is given. The heat production is measured using the accelerated rate calorimetry (ARC) technique.

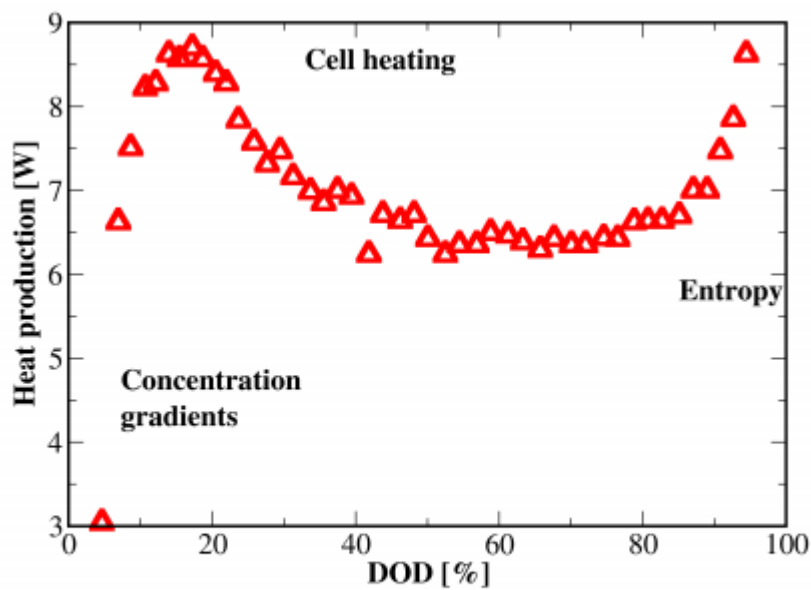


Figure 6: Heat production as a function of discharged capacity for a 6.7C(20A) discharge for a Li-ion battery

As can be seen from Figure 6, the heat production starts out low and increases while internal concentration gradients are building. This peaks when approximately 20% of the cell capacity has been utilized. The heat production then decreases and stays low until the end of discharge where it

increases rapidly as heat is produced from entropy effects towards the end of the discharge.

CONCLUSION

In the present paper, a methodology for comparing different batteries, including different battery chemistries for real life parameters is presented. Average current was found to be insufficient for characterizing real life duty cycles. The performance of any battery is highly dependent on the duty cycle and knowledge of the power profile is crucial for battery and battery pack design. Development of standard tools for characterizing and grouping together duty cycles is important to be able to design optimal batteries and battery packs. It is also shown that the charge and discharge efficiencies decrease as the duty cycle eccentricity of the current profile is increasing. This holds for all three battery chemistries tested. The energy efficiency of Moli IMR26700A LiMn₂O₄ based batteries remained remarkably high under all test conditions. This indicates the excellent viability of Li-ion batteries in applications requiring high efficiency. Heat production for a constant current discharge was found to increase rapidly in the beginning of the discharge, and then decrease as the cell temperature escalated due to self-heating. At the end of the discharge, increased entropy production again increases the heat production.

- http://umanitoba.ca/outreach/conferences/phev2007/PHEV2007/proceedings/PluginHwy_PHEV2007_PaperReviewed_Valoen.pdf

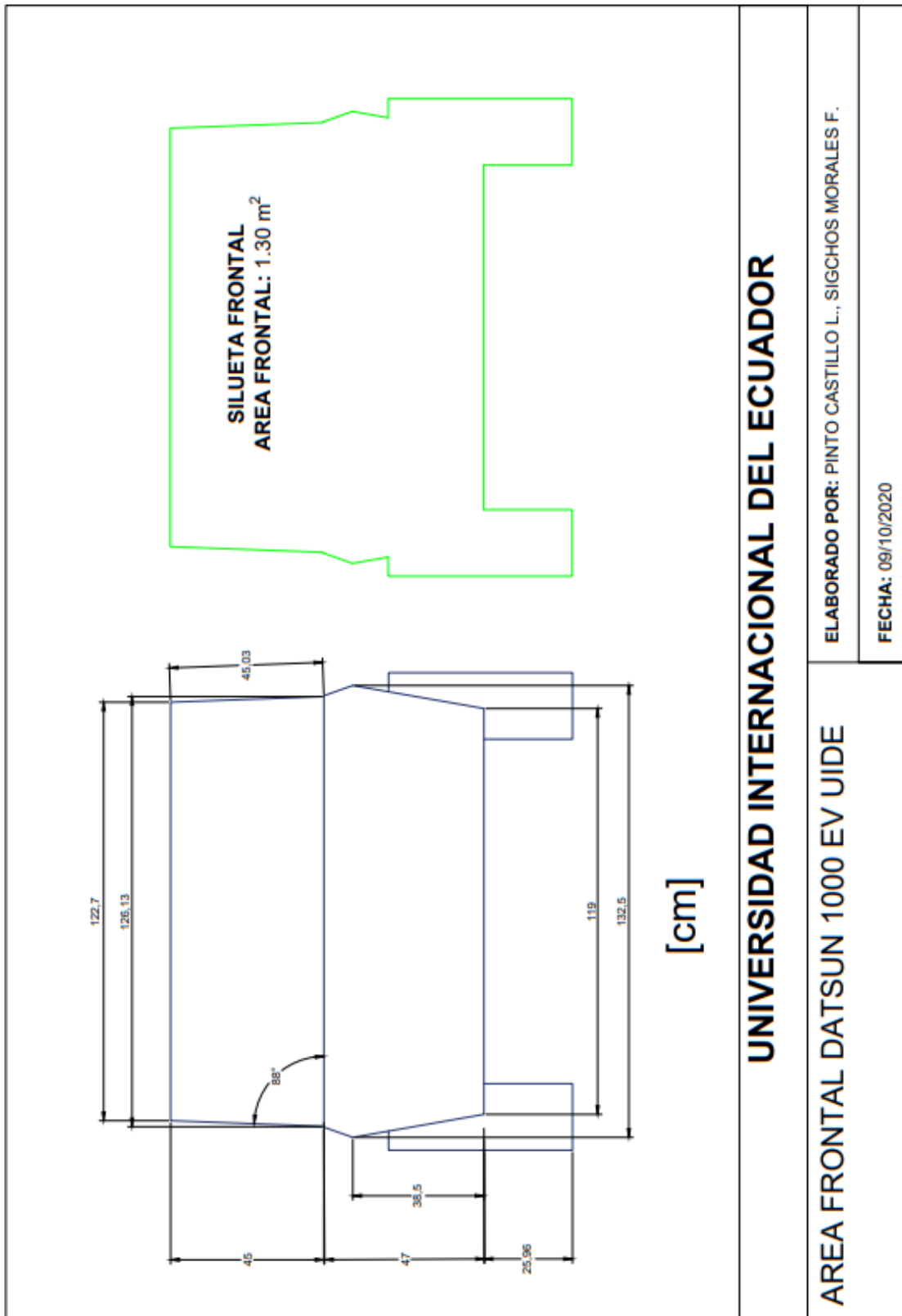
Anexo 21 European Commission, «A European Strategy for low-emission mobility,» 20 July 2016.

“Transport is the backbone of the economy, an enabler of growth and jobs, essential for the functioning of the single market and the free movement of goods and people. Market integration, economic growth and transport activity are strongly related. The global transition towards a low-carbon economy has started, supported by the Paris Climate Agreement. Transport will need to play an important role in this transition. The transition towards a low-carbon economy also represents a major opportunity for jobs and growth in the transport sector, as markets for low-emission mobility grow globally. This transition will be supported by a number of disruptive trends, such as digitalisation and new technologies. Transport is increasingly becoming an on-demand service as consumer needs and perceptions of mobility solutions evolve. Taken together, these trends also imply important competitiveness challenges and significant effort will be required from businesses and regulators to turn them into growth and employment opportunities for Europe. A forward looking and long-term policy approach

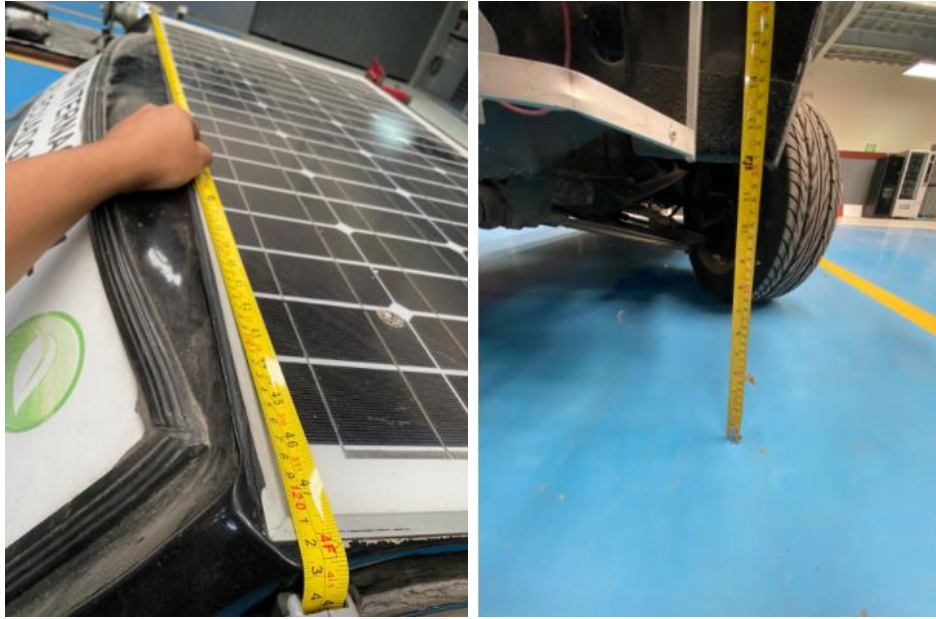
with the aim of ensuring a regulatory and business environment that is conducive to meeting the competitiveness challenges that the transition to low-emission mobility implies is a vital precondition. The analysis carried out in this paper provides insights on the necessary tools to do this.”

- <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/a-european-strategy-for-low>

Anexo 22 Lámina para calculo de Área Frontal de vehículo Datsun 1000 EV.



Anexo 23 Toma de medidas para área frontal del vehículo Datsun 1000 EV.



Anexo 24 Medición de masa del vehículo Datsun 1000 EV en su estado actual





Anexo 25 Especificaciones generales de transmisión de manual de usuario Datsun 1000.

TRANSMISSION DEVICE	CLUTCH	Type		Single dry disc	
		Number of place		1 (Facing 2)	
		Out. dia. × In. dia. × Thickness mm		160 × 110 × 3.2	
		Total friction area cm ²		212	
	TRANSMISSION	Type		3 Forward 1 reverse all synchromesh on forward gears	4 Forward 1 reverse all synchromesh on forward gears
		Operating method		Remote control	Floor shift
		Gear ratio	1st	3.38	3.76
			2nd	1.73	2.17
			3rd	1.00	1.40
			4th		1.00
Reverse	3.64		3.64		

Anexo 26 Curso MOOC edX “Electric and Conventional Vehicles” por Chalmers University.



ChalmersX: ChM009x
Electric and Conventional Vehicles

[Curso](#) [Progreso](#) [Fechas](#) [Temario](#) [Discusión](#)

LEARNING OBJECTIVES

In this course you will learn to:

- Formulate vehicle performance requirements
- Translate vehicle requirements to powertrain requirements
- Sizing powertrain components
- Strengths and weaknesses of electric and conventional powertrains
- Driving cycle simulation
- Determine electricity- or fuel consumption of different powertrains

Anexo 27 Descripción del producto MATLAB

Millones de ingenieros y científicos de todo el mundo usan MATLAB[®] para analizar y diseñar los sistemas y productos de transformación de nuestro mundo. MATLAB se encuentra en sistemas de seguridad activa para automóviles, naves espaciales interplanetarias, dispositivos de monitoreo de salud, redes eléctricas inteligentes y redes celulares LTE. Se utiliza para aprendizaje automático, procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, visión por computadora, comunicaciones, finanzas computacionales, diseño de control, robótica y mucho más.

Matemáticas. Gráficos. Programación.

La plataforma MATLAB está optimizada para resolver problemas científicos y de ingeniería. El lenguaje MATLAB basado en matrices es la forma más natural del mundo para expresar las matemáticas computacionales. Los gráficos integrados facilitan la visualización y la obtención de información a partir de los datos. Una amplia biblioteca de cajas de herramientas prediseñadas le permite comenzar de inmediato con algoritmos esenciales para su dominio. El entorno de escritorio invita a la experimentación, la exploración y el descubrimiento. Estas herramientas y capacidades de MATLAB se prueban rigurosamente y se diseñan para trabajar juntas.

Escala. Integrar. Desplegar.

MATLAB le ayuda a llevar sus ideas más allá del escritorio. Puede ejecutar sus análisis en conjuntos de datos más grandes y escalarlos a clústeres y nubes. El código MATLAB se puede integrar con otros lenguajes, lo que le permite implementar algoritmos y aplicaciones dentro de los sistemas web, empresariales y de producción.

Características clave

- Lenguaje de alto nivel para la informática científica y de ingeniería
- Entorno de escritorio optimizado para exploración, diseño y resolución de problemas iterativos
- Gráficos para visualizar datos y herramientas para crear gráficos personalizados
- Aplicaciones para ajuste de curvas, clasificación de datos, análisis de señales, ajuste del sistema de control y muchas otras tareas
- Cajas de herramientas complementarias para una amplia gama de aplicaciones científicas y de ingeniería
- Herramientas para crear aplicaciones con interfaces de usuario personalizadas
- Interfaces para C / C ++, Java[®], .NET, Python, SQL, Hadoop, y Microsoft[®] Excel[®]
- Opciones de implementación libres de regalías para compartir programas de MATLAB con usuarios finales

Anexo 28 Descripción del software SIMULINK

SIMULINK es una toolbox especial de MATLAB que sirve para simular el comportamiento de los sistemas dinámicos. Puede simular sistemas lineales y no lineales, modelos en tiempo continuo y tiempo discreto y sistemas híbridos de

todos los anteriores. Es un entorno gráfico en el cual el modelo a simular se construye clicando y arrastrando los diferentes bloques que lo constituyen. Los modelos SIMULINK se guardan en ficheros con extensión *.mdl.

Con las nuevas versiones, SIMULINK ha ido ampliando sus librerías de bloques (blocksets) y capacidades. En concreto, destaca el paquete STATEFLOW, que permite la simulación de máquinas de estados.

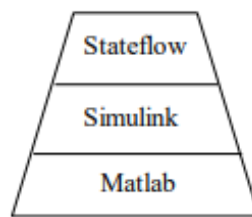



Fig. 1. Jerarquía de Matlab, Simulink, Stateflow

Otras blocksets de interés son, por ejemplo, las de comunicaciones (Communications Blockset, CDMA Reference Blockset, RF Blockset) que incluyen bloques que simulan estaciones de telefonía móvil o dispositivos tales como los PLLs; las de aplicaciones específicas (Aerospace Blockset, Signal Processing Blockset, Video and Image Processing Blockset); y las de soporte (Gauges Blockset). Hay muchas demos y efectos (ver, por ejemplo, las demos de SimMechanics o Virtual Reality Toolbox >>mech_conveyor_vr, >>mech_airbag_vr ...).

Además, algunas toolboxes de MATLAB incorporan también bloques de SIMULINK. Es el caso, por ejemplo, de la Control Systems Toolbox, Neural


Network Toolbox, Fuzzy Logic Toolbox, System Identification Toolbox,...
 Finalmente, también existen librerías de bloques que permiten interactuar con tarjetas de adquisición de datos y DSPs: RealTime Workshop, Embedded Targets for Motorola and TI, xPC Target.

Anexo 29 Sistemas disponibles en el mercado local para conversiones de autos a eléctricos. Rocco Performance Ecuador, Distribuidor autorizado de Organización Autolibre para Enpower en Ecuador.




KITS DE CONVERSIÓN

SISTEMA DE 72V PARA VEHÍCULOS DE 600 a 1300KG - VELOCIDAD 80KMH	SISTEMA DE 108V PARA VEHÍCULOS DE 800 a 1800KG - VELOCIDAD 130KMH
Motor AC con frenado regenerativo + controlador de 72V 400A + acelerador + cargador 72V 25A + convertidor DCDC+ medidor de voltaje	Motor AC con frenado regenerativo + controlador de 108V 850A + acelerador + cargador 108V 25A + convertidor DCDC+ medidor de voltaje
BATERÍAS	
El sistema puede llevar: - Baterías nacionales de plomo ciclo profundo	
Autonomía de entre 40 y 80 km por carga Para 72V son necesarias: 6 baterías x 12V 150A = 72V Duración apróx. 2 años.	Autonomía de entre 40 y 80 km por carga Para 108V son necesarias: 9 baterías x 12V 150A = 108V Duración apróx. 2 años.
Baterías de litio NCM (producto recomendado) para un rendimiento y duración superior. Viene con BMS instalado y contactor general. Muy bajo peso (1/3 menos que las de plomo) Duración 10 años.	
De 72V 150Ah para autonomía de 80 a 120km por carga. Medidas 51x51x29 cm Peso 98kg Capacidad 11Kwh Garantía Internacional 1 año	De 108V 150 Ah para autonomías de 90 a 140Km por carga. Medidas 74X74X28cm o 112x36x27cm Peso 120kg Capacidad 15Kwh Garantía Internacional 1 año



Kit de Conversión



Bateria de Litio

Anexo 28 Modelamiento del vehículo en Simulink

