



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL

“PROPUESTA DE CONVERSIÓN DE UN TREN MOTRIZ
CONVENCIONAL A HÍBRIDO.”

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:
CHRISTIAN DELGADILLO LUGO

DIRECTOR DE TESIS:
M.I. ANTONIO ZEPEDA SANCHEZ

Marzo 2015
Ciudad Universitaria, Mexico D.F.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

Nomenclatura	4
Introducción	5
Descripción de la estructura del trabajo	5
Objetivo	6
Hipótesis	6
Alcances	6
Antecedentes	6
I. Historia del Automóvil	7
II. Automóvil Híbrido	8
III. Configuraciones de automóvil híbrido	9
Configuración en paralelo.....	9
Híbrido serie-paralelo	10
Configuración en Serie	10
IV. Vehículo híbrido de pasajeros	11
Capítulo 1: Generación de especificaciones	11
1.1. Bench marking	12
1.2. El transporte en Ciudad Universitaria	14
1.3. Requerimientos de diseño	15
1.4. Caracterización del vehículo a modificar	17
1.5 Especificaciones técnicas	20
Capítulo 2: Diseño de Configuración	22
2.1. Selección de configuración	22
2.2. Justificación del motor eléctrico	22
2.2.1 Motor de corriente directa	22
2.2.2 Motor de corriente alterna	23
2.3. Justificación del motor de combustión interna	24
2.3.1 Motor de combustión interna de ciclo Otto	24
2.3.2 Motor de combustión interna de ciclo diésel	25
2.3.3 Motor de 2 tiempos	25
2.4. Justificación del Sistema de almacenamiento de energía	25
2.5. Justificación del Generador Eléctrico	27
Capítulo 3: Diseño de detalle	28
3.1. Selección del Motor Eléctrico	29
3.2. Variantes de funcionamiento	30
3.2.1 Escenario 1	30
3.2.2 Escenario 2	32
3.2.3 Escenario 3	34

3.2.4 Escenario 4.....	36
3.6. Módulos híbridos propuestos.....	38
Capítulo 4: Resultados	44
Conclusiones.....	47
Trabajos Futuros	48
Apéndices.....	49
Bibliografía.....	55

Nomenclatura

#baterias	número de baterías
C.A.	Cateto Adyacente
C.O.	Cateto Opuesto
CU	Ciudad Universitaria
f	Factor de rodadura en terracería
g	Fuerza de gravedad
Hmax	Altura máxima
Hmin	Altura mínima
Kg	Kilogramo
KVA	Kilovoltio Amper
lb	libra
MCI	Motor de combustión interna
p	PBV
PBV	Peso Bruto Vehicular
Pumabus	Transporte interno de Ciudad Universitaria
Ra	Resistencia al Aire
Rj	Resistencia por inercia
Rp	Resistencia por pendiente
rpm	Revolución por minuto
Rr	Resistencia por rodadura
s	Factor de resistencia al aire
Td	Tasa de descarga dividida entre el voltaje en Amperes por hora
Ton	toneladas
v	Velocidad
V	voltaje
W´	Potencia necesaria para superar una pendiente al 5% a la velocidad promedio
W´´	Potencia necesaria para arrancar en una pendiente al 5% con la aceleración de diseño
Wh	Tasa de descarga en Whtas por hora
Wn	Potencia necesaria para circular en llano a la velocidad máxima
Wt	Potencia Total
X	% de pendiente

Introducción

La necesidad de vehículos colectivos ha existido desde los inicios del transporte, ya que siempre se ha sabido que el mover un determinado grupo de personas es más rentable que mover a cada persona de manera individual. Por esta razón este trabajo está enfocado hacia este tipo de vehículos ya que han resultado ser la mejor opción en las problemáticas de transporte que ha enfrentado la humanidad desde sus inicios.

A la par de este desarrollo, los vehículos particulares han seguido una tendencia enfocada al ahorro de combustible pasando por el desarrollo de tecnologías híbridas, actualmente estas tecnologías se han combinado con vehículos colectivos dando resultados muy satisfactorios demostrando la viabilidad de diseñar este tipo de vehículos.

Este trabajo propone como solución la modificación de un tren motriz de un vehículo de pasajeros tomado de la red de transporte de Ciudad Universitaria partiendo de la hipótesis de que es posible reducir el consumo de combustible de este tipo de vehículos al implementarse dicho tren motriz.

La capacidad estará limitada por la misma capacidad estructural del camión propuesto para modificar, así como los espacios para cada componente.

A lo largo de este trabajo se definirán los parámetros a seguir para el diseño de un tren motriz híbrido para un vehículo de pasajeros, abarcando las configuraciones posibles y las condiciones a las que podría enfrentarse.

La propuesta de diseño que se mostrará en este trabajo estará limitada únicamente para funcionar dentro de las instalaciones de ciudad universitaria, ya que al salir podría enfrentarse a condiciones no previstas y funcionar de manera incorrecta o no funcionar.

Descripción de la estructura del trabajo

Durante la primer parte del trabajo se explica como la evolución del automóvil llevó a la necesidad de la utilización de sistemas híbridos así como en que consiste un vehículo híbrido, las configuraciones posibles que puede tener y los modelos que actualmente están en circulación y han funcionado con éxito.

También se abarca el tema de porque no es viable actualmente un vehículo netamente eléctrico y las implicaciones ambientales que este conllevaría.

En el capítulo dos se definen los parámetros a considerar en el diseño, las condiciones del camino y la caracterización del vehículo a modificar basados en un bench marking previo.

Una vez conocidos los parámetros para el diseño, en el capítulo dos se hace la selección de la configuración más adecuada para la solución del problema planteado así como la de cada componente, con la finalidad de acotar de que cada sistema quede definido de manera general.

En el capítulo tres se proponen diferentes módulos híbridos basados en diferentes escenarios de funcionamiento, de esta manera y gracias a los escenarios planteados se pueden definir 4 posibles trenes motrices con información detallada por componente, de esta manera y contemplando los diferentes escenarios, es posible elegir la configuración más adecuada para el tren motriz a diseñar.

Objetivo

Desarrollar una propuesta de tren motriz para un autobús de pasajeros, pumabus, esta opción busca reemplazar el motor de combustión interna (MCI) de serie por un sistema de propulsión híbrido: un MCI de menor tamaño en conjunto con un motor eléctrico.

El propósito es reducir tanto el consumo de combustible como las emisiones contaminantes, sin sacrificar las necesidades de transporte de Ciudad Universitaria. Adicionalmente se propondrá un sistema de almacenamiento de energía acorde a los nuevos requerimientos.

Hipótesis

Se puede reducir el consumo de combustible de un vehículo de pasajeros al cambiar su tren motriz por un tren motriz híbrido.

Alcances

Los alcances de este trabajo comprenden desde el entendimiento de los factores que afectan la toma de decisiones durante el diseño de este tipo de tren motriz, cálculo de especificaciones técnicas, selección de algunos componentes disponibles en el mercado hasta identificar una posible posición vehicular. Pero la generación de planos no es abarcada en el trabajo.

Antecedentes

I. Historia del Automóvil

Desde los inicios del hombre en sociedad, surgió la necesidad de transportarse de un lugar a otro, al principio la idea de transporte era solo concebida por animales o vehículos tirados por animales. Esto cambio con la invención del motor de vapor, los primeros vehículos impulsados por este motor fueron vehículos con ruedas de madera o acero con rayos de madera, la suspensión consistía en la carrocería de madera cerrada unida al bastidor, por lo que no había ninguna clase de amortiguamiento, esta rigidez sumada a la rigidez de las ruedas hacia viajes sumamente incomodos en especial cuando eran de grandes distancias, posteriormente fueron inventados los rieles, a partir de este momento los vehículos impulsados por vapor comenzaron a ganar terreno entre 1810 y 1850. [Ref. 5]

En 1828 surge en Londres el vehículo denominado ómnibus, [Ref. 5], del latín para todos, era un vehículo impulsado por caballos, esto detono el precio de los caballos y su mantenimiento empezó a significar una desventaja contra la máquina de vapor.

Durante el apogeo de la máquina de vapor y la decadencia de los vehículos jalados por animales, algunas personas comenzaron a adaptar los motores de vapor a sus carruajes, empezando a concebir las primeras ideas de vehículos de motor particulares.

Para 1850 surgió la necesidad de nuevas formas de impulsar los vehículos ya que las máquinas de vapor además de peligrosas eran voluminosas, ruidosas y de baja potencia. Pero la idea de motores de combustión interna no fue concebida hasta 1860 con el reciente descubrimiento del petróleo, la patente más antigua de un MCI data de 1800 en la que el francés Philippe Lébon, concibe la idea de un pistón impulsado por una detonación producto de la mezcla de un gas con aire pero esta idea fue ignorada por la popularidad de la máquina de vapor en ese momento.

Más adelante el francés Ettiene Lenoir retomo la idea de Lébon fabricó un motor de gas de autodetonación que resulto muy débil para arrastrar un carruaje, sin embargo Lenoir fabrico un carruaje automotriz que realizo un viaje de 16 km entre parís y Joinville Port, notando que era necesario comprimir la mezcla antes de la detonación. Este problema fue resuelto por Alphounse Beua de Rochas, quien propuso en 1862 el motor de 4 tiempos sistema, que fue adoptado y mejorado por los alemanes Nicolas August Otto y su Socio Langen.

Después de que Otto y Langen probaran que eran necesarios los 4 tiempos empezó una carrera de motores con diferentes configuraciones y combustibles, aunque el motor no ha variado en cuanto a su funcionamiento básico, en 1876 George Brayton fabrica y patenta el MCI de 2 tiempos.

En 1864, Siegfried Marcus, judío alemán, construye el primer vehículo dotado de un motor de combustión interna y revoluciona el transporte en Alemania. En 1882 se construye el primer automóvil en Austria pero la Alemania Nazi destruye todo y casi lleva al olvido este invento.

Para 1883 Karl Benz presenta un triciclo motorizado con un asiento para dos personas con un motor de 985 cc y una relación de compresión de 2.68:1 el cual entregaba 0.89 HP, el motor no contaba con acelerador, giraba constante a 400 RPM y se le adapto un juego de

engranes para que al variar la combinación se pudiera variar la velocidad, de ahí el nombre de caja de velocidades, pesaba 265 kg y aceleraba de 0 a 20 km/h en 15 segundos.

En 1888 en la exposición de máquinas motrices en Múnich, Karl Benz presenta un automóvil como primer fabricante alemán y Emile Roger, representante de la empresa Benz, fue el primer comprador de un automóvil marca Benz.

A partir de esta fecha comienza la carrera en la industria automotriz, entrando a la competencia fabricantes asiáticos y americanos, lo cual aumenta de manera significativa la variedad de vehículos que actualmente se pueden encontrar así como la reducción de costos, por la invención de las líneas de armado.

Actualmente el automóvil se ha vuelto un factor contundente en cuanto a la contaminación ambiental, ya que es de los principales productores de CO₂ que es un gas de efecto invernadero, hecho que detono la carrera en busca de vehículos de combustibles alternativos o vehículos amigables con el ambiente.

II. Automóvil Híbrido

Una de las soluciones propuestas para la problemática de contaminación por parte del automóvil son el vehículo eléctrico y el vehículo híbrido eléctrico, pero actualmente para la ciudad de México un vehículo 100% eléctrico podría representar un aumento en las emisiones contaminantes debido a la manera en la que se cargarían las baterías de los vehículos mostrada en la imagen I.1 [Ref. 3].

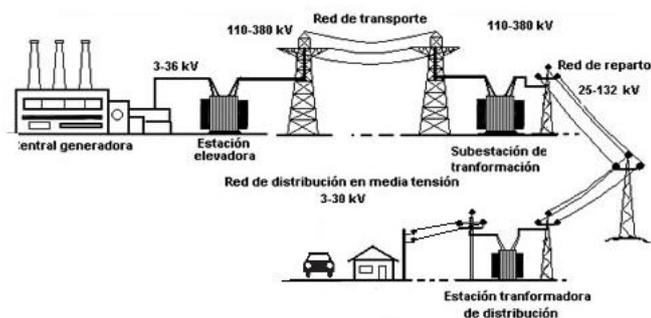


Imagen I. 1 Esquema de carga de batería de un vehículo eléctrico

Por esta razón los vehículos híbridos tendrían una ventaja contra los vehículos eléctricos, ya que la producción eléctrica se llevaría de la misma manera pero en este caso las pérdidas por transporte de electricidad serían considerablemente menores, véase imagen I.2.

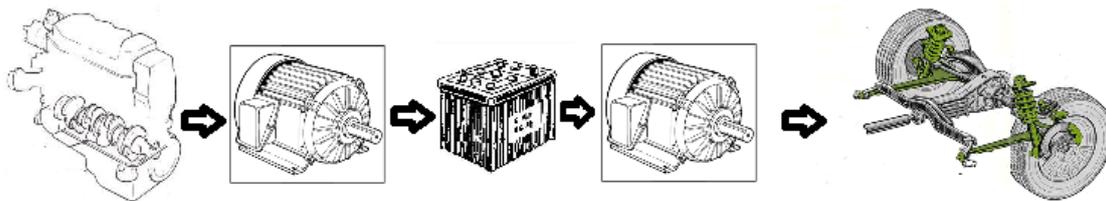


Imagen 1.2 Esquema de carga de un vehículo híbrido

Se entiende por vehículo híbrido al vehículo que es capaz de combinar 2 o más fuentes de energía para poder ser impulsado, generalmente el término hace referencia a la combinación de un motor de combustión interna con uno o más motores eléctricos.

La eficiencia energética dependerá de la configuración de dichos motores, la cual aumentará si se disponen de dispositivos de recuperación tales como frenos regenerativos, reflejándose directamente en ahorro de combustible y por lo tanto reducción de emisiones contaminantes.

El vehículo híbrido se puede dividir en diferentes sistemas para facilitar su estudio, tales como:

Sistema de propulsión: Este sistema es encargado de la movilidad del vehículo, el cual consiste en un motor de combustión interna, un motor eléctrico o la combinación de estos, según sea la configuración del vehículo, el cual impulsará la transmisión del vehículo.

Sistema de almacenamiento: La principal ventaja de los vehículos híbridos radica en su sistema de almacenamiento, ya que gracias a él es posible reducir el tamaño del motor de combustión interna, lo cual se refleja directamente en el consumo de combustible y por lo tanto en emisiones contaminantes. Esto se logra gracias a que la energía almacenada sustituye a la energía que se podría liberar mediante la quema de algún combustible.

Sistema de generación: Conforme es liberada la energía almacenada, el vehículo híbrido requiere de una fuente de alimentación para no comprometer su eficiencia energética, esto se logra mediante un generador eléctrico, ya sea de corriente alterna o corriente directa, según sea la necesidad del vehículo, este generador es accionado por el motor de combustión interna; el flujo de energía dependerá de la configuración del vehículo.

III. Configuraciones de automóvil híbrido

Dentro de las posibles formas de combinar las fuentes de energía, se pueden destacar dos configuraciones principales, configuración híbrido en serie e híbrido en paralelo, cada configuración ofrece diferentes ventajas contra diferentes requerimientos.

Configuración en paralelo

Un vehículo híbrido en paralelo es en el que un motor eléctrico y un motor de combustión se instalan de manera en que ambos puedan impulsar el tren motriz, véase imagen 1.3. Esta configuración parte de que el patrón de uso de los vehículos es para viajes cortos en los

que la demanda energética no es tan alta, por lo cual a bajas velocidades el vehículo puede funcionar únicamente con el motor eléctrico y al demandar más potencia entraría el motor de combustión y como una ventaja adicional, el sistema híbrido permite la utilización de un freno regenerativo, véase imagen I.4.

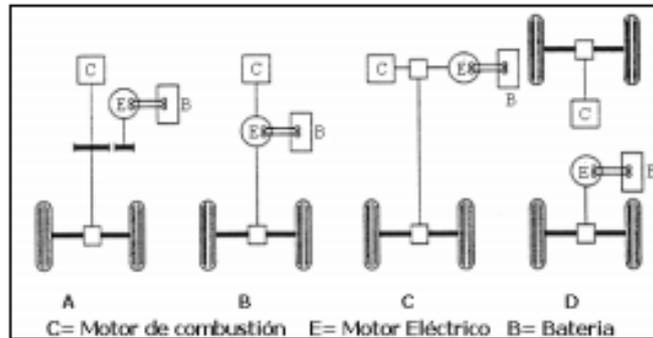


Imagen I. 3 Configuraciones de un vehículo híbrido en paralelo [Ref. 3]

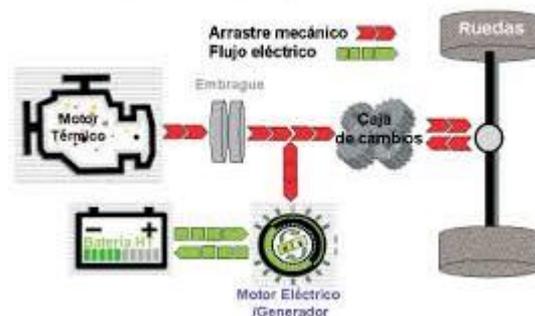


Imagen I. 4 Esquema de funcionamiento de un vehículo híbrido en paralelo, [Ref. 24]

Híbrido serie-paralelo

A diferencia de la configuración anterior en este caso, se tiene la opción de poder aportar el par motriz con el motor eléctrico y el de combustión en una proporción de 0 a 100%, además de que para esta configuración se utilizan, generalmente dos motores eléctricos, y uno de combustión, una de sus ventajas más representativas es el aporte de mayor potencia al trabajar con ambos motores para situaciones de demanda energética repentina, dando la sensación de tener un motor más grande que el instalado.

Configuración en Serie

En esta configuración la tracción depende únicamente del motor eléctrico el cual es alimentado por un banco de baterías, que a su vez es alimentado por un generador eléctrico el cual es accionado por el MCI.

El MCI en todo momento mantiene el mismo régimen de revoluciones, véase imagen I.5, el cual debe ser muy cercano al régimen de máxima eficiencia, asegurando así que la eficiencia del motor solo dependerá de la temperatura y no de las condiciones del camino.

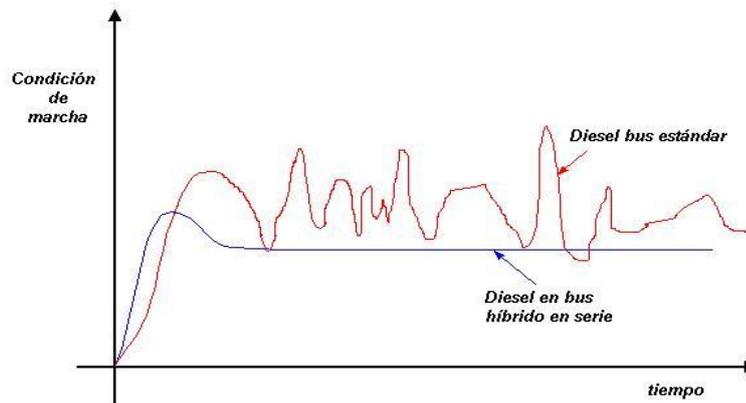


Imagen 1.5 Comparativa de un vehículo híbrido serie con un Diésel convencional

Esta configuración es de gran utilidad en vehículos que hacen paradas constantes durante su trayecto ya que además de tener el MCI a un solo régimen, por ser impulsado netamente por el motor eléctrico, véase imagen 1.6, cualquier detención representa en condiciones ideales un consumo nulo de energía.

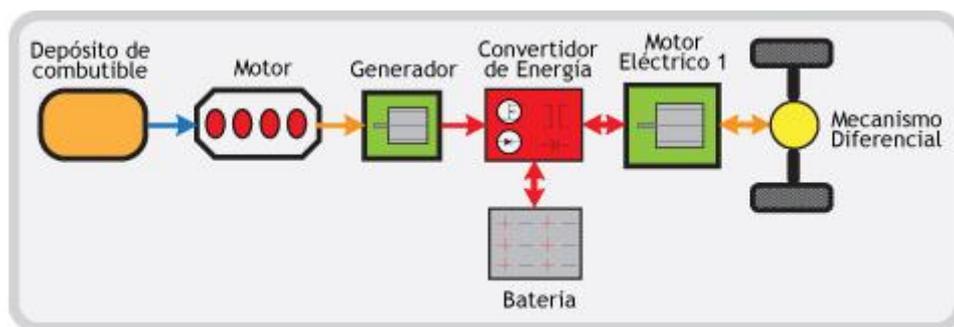


Imagen 1.6 Esquema de funcionamiento de un vehículo híbrido en serie [Ref. 25]

IV. Vehículo híbrido de pasajeros

La configuración híbrido en serie, no ha tenido gran popularidad dentro del segmento de los vehículos de uso particular, debido a que las ventajas de esta configuración no son apreciadas a esta escala. Sin embargo en el rubro de vehículos pesados y de carga, ha tenido un éxito sobresaliente, ya que al ser los motores eléctricos los encargados de impulsar el tren motriz se puede aprovechar los grandes torques que estos motores poseen.

El primer segmento en aprovechar esta configuración fue la industria ferroviaria con las locomotoras electro-diésel, actualmente el mercado nos ofrece una gran variedad de locomotoras electro-diésel con diferentes características y constructores.

Capítulo 1: Generación de especificaciones

1.1. Bench marking

Electro-Motive Diésel (EMD) SD70ACe: Producida por Caterpillar cuenta con una potencia de 3243 KW, [ref.13] esta locomotora integra un motor diésel de dos tiempos de 710 pulgadas cúbicas, con una potencia de salida de 2983 KW, tiene un rendimiento de 230 toneladas kilómetro por litro, véase imagen 1.1. Velocidad máxima de 112 km/h, su motor de corriente alterna trabaja con una tensión máxima de 2030 V, esta locomotora almacena energía mediante un banco de ultra capacitores.



Imagen 1.1 Locomotora Electro-Motive Diésel SD70ACe

Bitrac 601: Producida por la empresa CAF [Ref. 12], véase imagen 1.2, es una locomotora diseñada para poder circular en vías electrificadas o sin electrificar, de ahí su nombre, BITRAC, dos sistemas de tracción, esta locomotora cuenta con una potencia de 4450 KW, esta locomotora está dotada de dos motores diésel modelo MTU 12V 4000 R43L con una potencia cada uno de 1800 KW a 1800 RPM, capacidad para 130 toneladas y una velocidad de 120 km/h, el tren motriz es impulsado por un motor de corriente continua por eje, el cual opera a una tensión de 3kV y proporciona 750 KW, su sistema de almacenamiento es mediante dos baterías de níquel-cadmio de 24V del tipo SRX220FR-PP RC de SAFT para el arranque de los motores diésel y para atender todos los consumos de corriente continua.



Imagen 1.2 Locomotora Bitrac 601

Más adelante la configuración híbrida serie fue ganando terreno en vehículos menos pesados que no dependieran de una estructura ferroviaria, tanto vehículos de pasajeros como vehículos de carga, demostrando una vez más las ventajas de esta configuración, tales vehículos como lo son:

MAN TGS 6x2- 4 Metropolis: este vehículo de servicio recolector de basura ofrece dentro de sus ventajas una conducción silenciosa, este vehículo cuenta con un motor eléctrico de

205 KW a 6000RPM, con un par de 1.45 Nm, trabaja a 400 V, por otro lado tiene un motor AUDI TDI V6 con una potencia de 150 kW, véase imagen 1.3, con una capacidad de carga de 12 toneladas, su sistema de almacenamiento de energía es mediante una batería con capacidad de 105 kW/h, la cual le da una autonomía de al menos 2 x 15 km/ 2x4 horas de funcionamiento sin la utilización del motor diésel, y una velocidad máxima de 89 km/h (limitada). [Ref. 14]



Imagen 1. 3 Vehículo recolector MAN TGS 6x2- 4 Metropolis

liaz 529xx hybrid bus: este vehículo fue diseñado para el transporte de pasajeros, véase imagen 1.4, cuenta con un motor eléctrico de corriente directa de 132 kW el cual opera con una tensión de 750V, es capaz de desarrollar una velocidad máxima de 90 km/h, puede librar una pendiente de 20% a una velocidad de 10 km/h con una capacidad de 13 toneladas, su sistema de almacenamiento de energía consta de un banco de capacitores de 21 F, con un rango de voltaje entre 400 y 800 V y una corriente de descarga máxima de 1500 A.



Imagen 1. 4 Vehículo de pasajeros liaz 529xx hybrid bus

La tabla 1.1 y 1.2 muestra un resumen de la información más relevante sobre los vehículos mencionados anteriormente.

MODELO	TIPO DE VEHICULO	ALMACENAMIENTO	MOTOR ELECTRICO	MOTOR TERMICO	COMBUSTIBLE
SD70ACe	LOCOMOTORA	SUPERCAPACITORES	CORRIENTE ALTERNA	EMD 710	DIESEL
BITRAC 601	LOCOMOTORA	BATERIA	CORRIENTE DIRECTA	MTU 12V 4000 R43L	DIESEL
MAN TGS 6X2-4	AUTOBUS	BATERIA	N/A	AUDI TDI V6	GASOLINA
LIAZ 529XX	AUTOBUS	SUPERCAPACITORES	CORRIENTE DIRECTA	N/A	DIESEL

Tabla 1. 1 Características de los Vehículos de carga híbridos

MODELO	POTENCIA [kw]	VOLTAGE [v]	CAPACIDAD DE CARGA [ton]	VEL. MAX. [km/hr]
SD70ACe	3243	2030	230 TKL	112
BITRAC 601	4450	3000	130	120
MAN TGS 6X2-4	205	400	12	89
LIAZ 529XX	132	750	13	N/A

Tabla 1. 2 Especificaciones de los vehículos de carga híbridos

Como se puede apreciar en las tablas 1.1 y 1.2, las combinaciones que se pueden emplear son variadas, sin importar el servicio que vaya a brindar el vehículo a diseñar.

1.2. El transporte en Ciudad Universitaria

La red de transporte interno de Ciudad Universitaria, mejor conocida como Pumabus, cuenta con 12 rutas, las cuales están distribuidas a lo largo de todo el territorio de CU, cada ruta transporta un número diferente de estudiantes en promedio durante todo el día, siendo las más transitadas las rutas 8 y 1, véase tabla 1.3. [Ref. 15]

Ruta	Nombre	Longitud	Paradas
1	Metro Universitario-Circuito Interior	7.2	16
2	Metro Universitario-Circuito Exterior	4.2	10
3	Metro Universitario-Zona Cultural	7.2	15
4	Metro Universitario-Jardin Botanico	9.7	14
5	Metro Universitario-Jbarda Perimetral Norte	8.3	16
6	Estadio Olimpico	10.2	24
7	Estadio Olimpico-Circuito Interior	4.8	16
8	Estadio Olimpico-Circuito Exterior	5.8	18
9	Metrobus CU-Facultades	4.1	13
10	Metrobus CU-Zona Cultural	6.2	13
11	Metrobus CU-Campos Deportivos	5.8	14
12	Metrobus CU-Investigacion Cientifica		
13	Tienda Unam-Investigacion Cientifica		

Tabla 1. 3 Rutas de Pumabus

Sin embargo al analizar las longitudes de cada ruta según la tabla 1.3 se puede notar que cada ruta muestra diferentes longitudes y requerimientos de diseño, no sería factible el diseñar un vehículo para cada ruta por lo cual se definió la ruta crítica.

La ruta crítica se define como la ruta que demandará más prestaciones al vehículo en diseño, por lo que al cumplir con los requerimientos de esta ruta, se asegura que el vehículo superara las condiciones que pudieran llegar a presentar cualquier otra ruta.

De la tabla 1.3 se observa que la ruta de mayor longitud es la ruta 6, cabe mencionar que no es la ruta con el mayor flujo de pasajeros, pero sí la ruta más demandante en cuanto a longitud y condiciones del camino.

Siendo la ruta 6 la ruta la que presentó las condiciones más demandantes y suponiendo que la unidad destinada para esta tarea viaja con el máximo de su capacidad, se considera esta como la ruta crítica, con base en lo anterior es la ruta que marcó los parámetros a seguir durante el diseño.

Velocidad crucero

Otro factor fundamental en el diseño es la determinación de la velocidad crucero ya que será la velocidad que el vehículo tendrá durante la mayoría de sus trayectos.

Ciudad Universitaria cuenta con un reglamento vial interno, el capítulo IV artículo 11, marca específicamente la velocidad máxima que los vehículos deberán respetar al circular dentro de sus instalaciones, siendo este un factor importante para el diseño del vehículo.

“CAPÍTULO IV, DE LA VIALIDAD Y CIRCULACIÓN

11. La velocidad máxima para la circulación en la red vial de Ciudad Universitaria será de 40 kilómetros por hora y de 10 kilómetros por hora en los estacionamientos, con excepción para los vehículos de emergencia, tales como las ambulancias de servicios médicos, bomberos y los de auxilio UNAM.”¹

De esta manera y con la finalidad de cumplir con los lineamientos del reglamento vial interno de Ciudad Universitaria se establece que la velocidad promedio del vehículo será de 40km/h.

Velocidad máxima

Si bien se estableció que la velocidad crucero fuera la velocidad máxima permisible en Ciudad Universitaria, el valor de velocidad máxima se toma a partir del planteamiento de una situación de rebase por parte del vehículo.

Se decidió utilizar una velocidad máxima de 60km/h.

1.3. Requerimientos de diseño

Tomando como base los vehículos comerciales que ya existen y las condiciones de camino que debe superar el vehículo, para determinar dichas condiciones se evaluaron requerimientos tales como ruta crítica, pendiente máxima, velocidad máxima, velocidad crucero, carga máxima y ciclos de manejo, dando como resultado la siguiente información:

Pendiente máxima

La zona de Ciudad Universitaria es un terreno irregular, el cual cuenta con diferentes alturas sobre el nivel del mar, pero solo se consideraron los puntos que estén conectados por las rutas del Pumabus, ya que son las condiciones a las que se enfrentara directamente el vehículo.

¹ Fragmento tomado del reglamento vial interno de Ciudad Universitaria. Ref. 16

Metodología

Material utilizado:

- GPS.
- Smart-Phone.

Software

- Altimeter pro.
- Vios.

Utilizando un GPS de la marca VIOS se realizaron diferentes mediciones de la altura sobre el nivel del mar en puntos específicos del terreno de Ciudad Universitaria, teniendo que el punto más alto encontrado fue de 2325 m sobre el nivel del mar y el punto más bajo conectado por alguna ruta del pumabus fue de 2296 m sobre el nivel del mar.

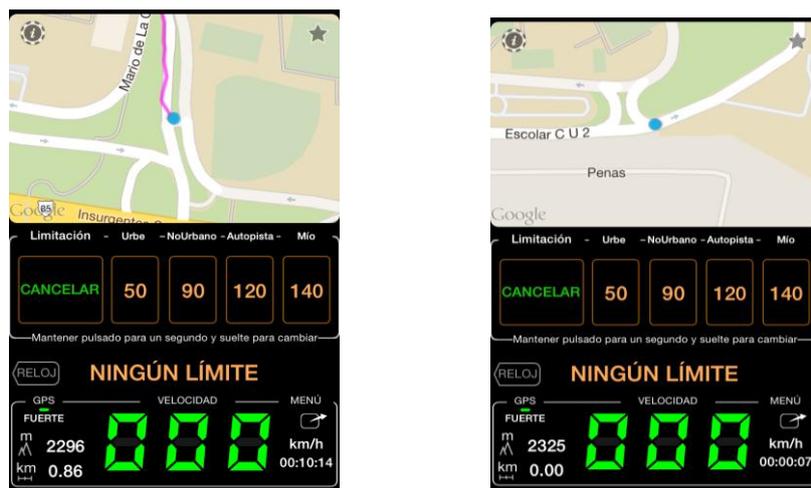


Imagen 1.5 Diferencia de alturas utilizando un dispositivo GPS

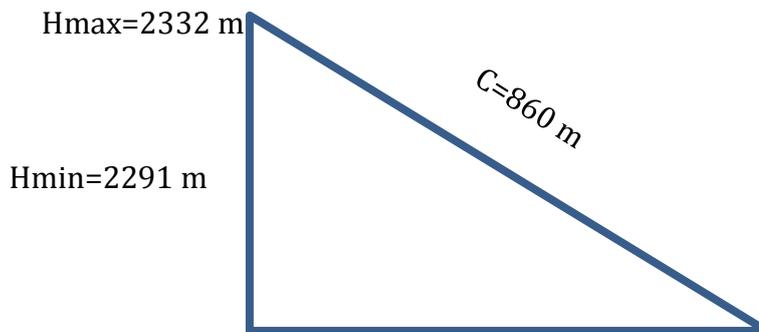
Para corroborar los datos, además del GPS se utilizó un Smart-Phone con la aplicación Altimeter, véase imagen 1.6, con la cual se midió que el punto más alto en Ciudad universitaria era de 2326 m sobre el nivel del mar y el punto más bajo conectado por alguna ruta del pumabus era de 2297 m sobre el nivel del mar, con una precisión de +- 6 metros, la distancia que conectaba estos dos puntos era de aproximadamente 860 metros.



Imagen 1. 6 Diferencia de alturas utilizando Altimeter en Smart Phone

Con los datos obtenidos se calculó el ángulo y porcentaje de la pendiente, asumiendo que ambos puntos estaban conectados por una línea formando así un triángulo rectángulo y para evitar el error de medición del instrumento, se consideró que en el extremo más alto, se sumará 6m y en el extremo más bajo se restará 6m.²

Teniendo el siguiente triángulo,



$$C_o = h_{max} - h_{min}$$

$$C.O. = 2332m - 2291m = 41m$$

$$\alpha = \arcsen\left(\frac{C.O.}{c}\right) = \arcsen\left(\frac{41}{860}\right) = 2.7^\circ \approx 3^\circ$$

El porcentaje de pendiente queda determinado de la siguiente manera

$$C.A. = \cos(3^\circ) * 860 = 851.4m$$

$$\%pendiente = \left(\frac{41}{851.4}\right)(100) = 4.851\% \approx 5\%$$

1.4. Caracterización del vehículo a modificar

Carga máxima

El sistema de transporte Pumabus cuenta con diferentes modelos en circulación los cuales dan servicio a las diferentes rutas, cada ruta cuenta con un numero diferente de pasajeros promedio por unidad y al no ser la ruta crítica la más transitada, el valor de carga de

² Esta consideración nos permite usar la pendiente máxima posible con los datos obtenidos.

pasajeros promedio que lleva no sería un dato confiable que se pudiera usar en las demás rutas.

El servicio de esta ruta es brindado en su mayoría por Camiones de la marca Mercedes Benz, modelo Boxer 50, el cual tiene las especificaciones mostradas en la tabla 1.4 y la imagen 1.7.

Marca	Mercedes Benz
Modelo	MBO 1219/52
Motor	Mercedes-Benz OM 904 LA-190
Potencia	190 hp @ 2,300 rpm
Torque	520 lb-ft @ 1,400 rpm
Eje delantero	Meritor FD-961
Capacidad del Eje delantero	12000 lb
Eje trasero	Meritor RS-19-158 1 vel.
Capacidad del Eje trasero	19000 lb
Peso vehicular	4202 kg
Peso Bruto Vehicular	12000 kg

Tabla 1. 4 Especificaciones del Autobús Boxer 50 Ref. 8

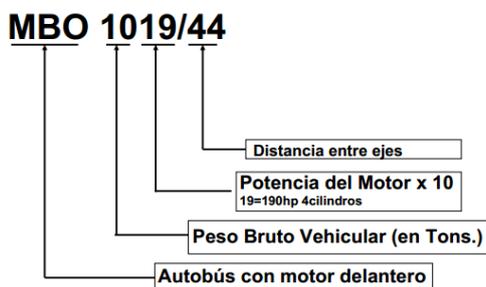


Imagen 1.7 Nomenclatura de autobuses Mercedes Benz tipo Boxer

Según la nomenclatura del autobús Boxer el PBV es de 12 ton, según la ficha técnica proporcionada por Mercedes Benz el PBV es exactamente 13.154 ton, este último dato es el que se consideró para los cálculos ya que representa el peor caso de carga para el vehículo.

Las dimensiones del vehículo son mostradas en la imagen 1.8

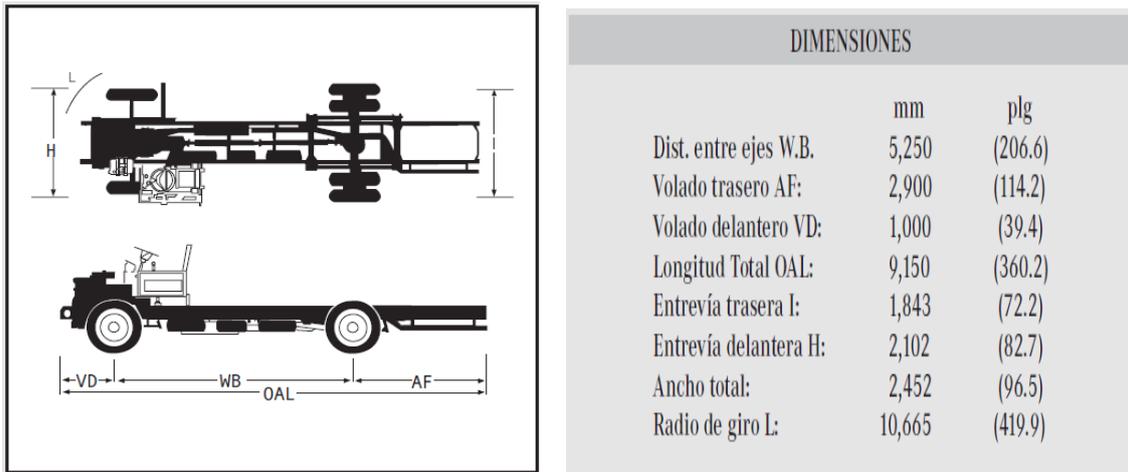


Imagen 1. 8 Dimensiones del autobús Mercedes Benz Boxer 50 Ref. 8

Ciclos de manejo

Así como los requerimientos y condiciones necesarias para el vehículo, también fueron requeridos los ciclos de manejo habituales de estos vehículos, con la finalidad de obtener información que pudiera ayudar a reducir tamaño del tren motriz o de las fuentes de almacenamiento de energía.

Se realizaron tres muestreos sobre la ruta crítica se llegó al resultado mostrado en la tabla 1.5

Prueba	Tiempo total del recorrido	Tiempo Efectivo	Tiempo en Reposo
1	32	21	11
2	31	20	11
3	31	21	10

Tabla 1. 5 Duración de recorrido de la ruta crítica

Al saber que el tiempo efectivo del viaje, se puede determinar el tiempo en el que estará operando el motor eléctrico y de esta manera saber la cantidad de energía que el vehículo necesitara durante cada recorrido.

El tiempo en reposo también es un factor importante ya que al ser un vehículo híbrido en serie, se requerirá en algún momento reabastecer la fuente de almacenamiento siendo el tiempo en reposo un momento idóneo para reabastecer sin ninguna pérdida por parte del tren motriz.

Aceleración promedio al arranque

Si bien la velocidad promedio y la velocidad máxima son determinantes a la hora de determinar el tamaño de los motores, la aceleración que demandan los operadores proporciona el valor de aceleración con el que los vehículos han estado funcionando, esto con la finalidad de satisfacer las necesidades tanto de usuarios como de operadores.

De todas las condiciones definidas anteriormente las más importantes para el diseño se resumen en la tabla 1.6.

Vel. Max.	60	km/h	16.67	m/s
Pendiente	5	%		
Aceleracion	0.416	m/s ²		
Velocidad Crucero	40	km/h	11.11	m/s
Peso Beuto Vehicular	13.154	ton		

Tabla 1. 6 Valores considerados en el diseño del vehículo

Para el cálculo de la potencia necesaria, también son necesarias diferentes constantes mostradas en la tabla 1.7, tomadas del libro “Ingeniería de Vehículos” del autor Cascajosa Soriano Manuel.

f=	15	kg/ton
k=	0.06	
s=	6.8	
g=	9.78	m/S ²

Tabla 1. 7 Constantes consideradas en el diseño del vehículo [Ref. 1]

1.5 Especificaciones técnicas

De acuerdo con la metodología de cálculo de potencia de vehículos del mismo libro, primero se calcularon todas las resistencias,

Resistencia por rodadura:

$$Rr = fp$$

$$Rr = (15)(13.154) = 197.31$$

Resistencia al aire:

$$Ra = ksv^2$$

$$Ra = (0.06)(6.8)(16.6)^2 = 113.37$$

Resistencia por pendiente:

$$Rp = 10PX$$

$$Rp = (10)(13.154)(5) = 657.7$$

Resistencia por inercia:

$$Rj = \frac{p}{g} * j$$

$$Rj = \frac{13.154}{9.78} * \frac{4.16 - 0}{10} = 559.516$$

Se consideró que las perdidas debido a transmisión son del 15% la potencia en llano con la velocidad máxima de diseño se define como,

$$Wn = 0.15wn + (Rr - Ra)v$$

$$Wn = \frac{(Rr - Ra)v}{1 - 0.15} = \frac{197.31 + 113.37}{0.85} * 11.11 = 53.43 \text{ hp}$$

La potencia necesaria para superar una pendiente del 5% a 40 km/h se define,

$$W' = (Rr + Rp)V$$

$$W' = (197.31 + 657.7)11 = 147 \text{ HP}$$

La potencia necesaria para arrancar en una pendiente del 5% con una aceleración de 0.416 m/s² se definió de la siguiente manera,

$$W'' = (Rr + Rp + Rj)V$$

$$W'' = (197.31 + 657.7 + 559.51)4.16 = 91.09 \text{ HP}$$

Al obtener los valores de potencia necesarios según las condiciones del camino, el vehículo y los requerimientos del usuario se pudo definir que la condición crítica es la de mantener la velocidad crucero en una pendiente del 5%, resultando que la potencia de diseño para el vehículo es de 147 HP.

Capítulo 2: Diseño de Configuración

2.1. Selección de configuración

Una vez que se ha conocido las condiciones del camino de ciudad universitaria, las características del vehículo a modificar y diversas formas de solución que ha planteado la industria para solucionar situaciones similares es posible llegar a la conclusión de que la configuración híbrido en serie es la más adecuada para la aplicación del vehículo, ya que en comparación con la configuración en paralelo, la configuración en serie presentó las siguientes ventajas:

- Régimen constante de revoluciones del MCI en todo el trayecto.
- Eficiencia mayor de las maquinas eléctricas.
- Mayor torque a bajas revoluciones.
- Mayor capacidad de arrastre.
- Menor dependencia al sistema de almacenamiento.
- Consumo energético nulo en alto total.

El flujo de energía con la configuración seleccionada se muestra en la imagen 2.1.

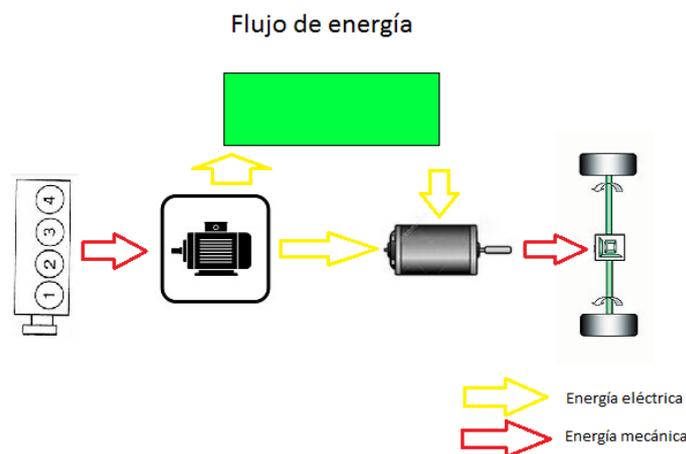


Imagen 2.1 Flujo de energía en la configuración híbrido serie

2.2. Justificación del motor eléctrico

Los motores eléctricos al ser una máquina eléctrica pueden operar con corriente alterna o con corriente directa, de esta manera es posible estudiarlos según su manera de operar.

2.2.1 Motor de corriente directa

Motor de corriente directa es la máquina eléctrica que convierte la energía eléctrica en energía mecánica a través de un campo magnético.

El motor de corriente directa está compuesto por un estator que da soporte mecánico a la maquina el cual contiene los devanados principales de la máquina, también conocidos como polos, los cuales pueden ser de imanes permanentes o de hilo de cobre sobre un núcleo de hierro, el rotor, generalmente de forma cilíndrica es alimentado de corriente mediante escobillas fijas.

La principal desventaja de estos motores es el mantenimiento debido al desgaste de estas escobillas producido por el contacto directo con el rotor.

En cuanto al tipo de imanes del motor, los motores con imanes permanentes presentan una ventaja contra los de hilo de cobre, ya que son más ligeros y es más común encontrarlos en aplicaciones de potencia.

2.2.2 Motor de corriente alterna

Al operar la red de distribución eléctrica con corriente alterna, vuelve muy práctico el uso de este tipo de motores ya que no requiere de ningún convertidor de corriente para su uso, además de tener un mantenimiento sencillo, estos motores son los más usados por la industria. [Ref. 4]

Existen diferentes tipos de motores de corriente alterna, tales como:

Motor de jaula de ardilla

Es el motor más sencillo y utilizado, el núcleo del rotor está construido por barras generalmente de aluminio dispuestas longitudinalmente, las cuales conectan dos anillos poniéndolos en corto circuito, dentro de los inconvenientes del motor destaca el hecho un alto consumo de energía de hasta 7 veces la corriente nominal y un par de arranque bajo.

Mientras que su ventaja más significativa es la baja resistencia que presenta, lo cual los hace ideales para marchas que operen a velocidad constante.

Motor de anillos rosantes

Su construcción es similar a los de jaula de ardilla con la diferencia de que su estator contiene los bobinados que generan el campo magnético, esto con la finalidad de reducir la corriente de arranque del motor, representando una ventaja sobre los motores de jaula de ardilla.

Motores con colector

También llamados como anillos rotatorios, los colectores se encuentran principalmente en máquinas eléctricas de corriente alterna, brindan la ventaja de poder entregar una alta potencia con dimensiones y peso reducido, se adaptan a la sobrecarga disminuyendo la velocidad de rotación sin un excesivo consumo energético y su ventaja más importante los altos torques de funcionamiento con el que trabajan.

Al ser un vehículo de servicio, los factores más importantes a considerar en la selección del motor se muestran en la tabla 2.1.

Característica	Motor DC	Motor AC	Total
Mantenimiento	0	1	1
Consumo de corriente	1	0	1
torque	0	1	1
Dimensiones	1	1	2
Resistencia	0	1	1
Peso	0	1	1
Sumatoria	2	5	7
Porcentaje	28.57%	71.43%	100.00%

Tabla 2.1 Tabla de ponderación

De acuerdo a la matriz de ponderación mostrada la mejor opción según el propósito del motor es el motor de corriente alterna.

2.3. Justificación del motor de combustión interna

Actualmente es posible dividir los motores de combustión interna según el ciclo bajo el cual trabajan de lo cual también dependerá el combustible que lo alimente. [Ref. 2]

Entre las diferentes pérdidas que tienen estos motores, la más importante a considerar es la pérdida por fricción entre los componentes del mismo motor, estas pérdidas son reducidas mediante el uso de lubricantes.

Otra desventaja de estos motores es que la mayor parte de la energía que producen es disipada en forma de calor al ambiente, al ser una maquina térmica su eficiencia se ve severamente afectada por este fenómeno.

2.3.1 Motor de combustión interna de ciclo Otto

Estos motores como su nombre lo indica trabajan bajo el funcionamiento del ciclo Otto en el cual una vez comprimido el combustible una fuente externa enciende la mezcla de combustible para convertir su energía química a calorífica y debido a un aumento de volumen repentino en la cámara de combustión es posible convertir esta energía calorífica a energía mecánica con sus debidas pérdidas, estos motores son más comúnmente usados en transporte que para aplicaciones industriales, debido a la facilidad del mantenimiento, siendo su principal desventaja las bajas relaciones de compresión que trabajan en comparación con otro tipo de motores.

Dentro de las principales características de estos motores son bajas relaciones de compresión, trabajan a mayor número de revoluciones comparados con otro tipo de motores.

2.3.2 Motor de combustión interna de ciclo diésel

Este tipo de motores operan según el ciclo diésel en el cual a diferencia del ciclo Otto, el combustible es encendido mediante un aumento de presión que a su vez eleva la temperatura casi hasta 850°C, estos motores pueden llegar a ser de 2 y 4 tiempos según la aplicación, generalmente para aplicaciones marinas o ferroviarias se emplean motores de 2 tiempos, sin embargo para aplicaciones de transporte terrestre como lo son autobuses camiones y automóviles se utilizan motores de 4 tiempos.

Los motores diésel se distinguen por trabajar a bajas revoluciones entre 100 y 750 para motores de 2 tiempos y de 2500 a 5000 para motores de 4 tiempos, además de operar con altas relaciones de compresión, dando por resultado un mayor rendimiento de combustible y torques elevados.

2.3.3 Motor de 2 tiempos

Como se mencionó previamente, tanto los motores de ciclo Otto como los motores de ciclo Diésel, pueden operar con 2 tiempos, con la finalidad de reducir los tiempos de admisión de combustible y escape de gases, para no dejar un tiempo completo para cada acción, con la desventaja de que el rendimiento de combustible es inferior al de los motores de 4 tiempos.

La selección del motor fue mediante la tabla 2.2,

Característica	Otto	Diésel	total
Rendimiento	0	1	1
Relación de compresión	0	1	1
Torque	0	1	1
Mantenimiento	1	0	1
Peso	1	0	1
Disponibilidad de mercado	1	0	1
Sumatoria	3	3	6
Porcentaje	50.00%	50.00%	100.00%

Tabla 2. 2 Tabla de ponderación del MCI

Al analizar cada aspecto fundamental para la selección del motor de combustión interna, vemos que por las características no es factible ejercer un criterio de selección, sin embargo la disponibilidad en el mercado juega un papel esencial para el diseño, ya que actualmente es más fácil encontrar motores de ciclo Otto que motores de ciclo Diésel, razón por la cual se llegó a la conclusión de que el motor más conveniente es el motor de ciclo Otto principalmente los alimentados por gasolina.

2.4. Justificación del Sistema de almacenamiento de energía

El sistema de almacenamiento de energía es un elemento fundamental en el diseño de un vehículo híbrido, ya que gracias a este es posible reducir el tamaño del motor de combustión interna, reduciendo así las emisiones de gases contaminantes, sin embargo la selección

del sistema debe contemplar las necesidades del vehículo haciendo un balance entre autonomía y peso, ya que al aumentar la autonomía también se aumenta el peso considerablemente, lo que implica el tener que mover una mayor cantidad de masa.

La manera más común de almacenar energía es mediante el uso de celdas químicas, formadas por un electrodo positivo llamado y un electrodo negativo conectados a su vez por electrolitos que son los que permiten el movimiento de electrones entre estos dos polos.

Existen diferentes tipos de Baterías, las cuales por sus características definen la aplicación que se les puede dar.

Baterías de Plomo Acido

Es el tipo de batería recargable más utilizado por su relación desempeño-costos existen principalmente dos tipos de baterías de Plomo Acido: de ciclo corto y de descarga profunda. [Ref. 6]

Las baterías de ciclo corto pueden aportar grandes cantidades de energía en muy poco tiempo pero su calidad se ve afectada si es expuesta a descargas de energía muy prolongadas.

Las baterías de ciclo profundo, son las baterías más usadas de este tipo ya que están diseñadas para soportar repetidos ciclos de carga y descarga.

Baterías de Níquel Cadmio

Su principal característica por sus celdas selladas, tiene la mitad de peso y tolera mayores temperaturas con respecto a las baterías de Plomo Acido, sin embargo es una batería altamente contaminante.

Este tipo de baterías tienen una baja tasa de descarga pero por su alto nivel de contaminación han sido remplazadas por baterías de NiMH y por baterías de Ion Litio.

Baterías de Nickel Hidruro Metálico

Se derivan de la tecnología de las baterías de NiCd tienen una mayor densidad energética y un ánodo de metal hidruro lo cual evita las complicaciones ambientales de la batería NiCd.

Dentro de sus desventajas tenemos que no pueden entregar altos picos de potencia, tienen una alta tasa de auto descarga y son muy peligrosas si son sobrecargadas.

Batería de Ion-Litio

Es una tecnología que ofrece 3 veces la densidad energética de una batería de Plomo Acido, además cuenta con el voltaje más alto de celda de 3.5 V lo cual reduce el número de celdas en serie para alcanzar el voltaje deseado de la batería. Además de una baja tasa de auto descarga.

Este tipo de baterías tienen una rápida degradación y sensibilidad a la temperatura lo cual puede resultar en su destrucción por inflamación o hasta en una explosión.

Se puede resumir toda esta información en la tabla 2.3,

Tipos de batería	Energía Especifica	Potencia Especifica	Eficiencia Energética	Ciclos de vida
Acido-Plomo	35-50	150-400	80	500-1000
Níquel-Cadmio	30-50	100-150	75	1000-2000
Níquel-Hidruro metálico	60-80	200-400	70	1000
Sodio-Azufre	150-240	230	85	1000
Sodio-Cloruro de Níquel	90-120	130-160	80	1000
Polímero de Níquel	150-200	350	*	1000
Ion-Litio	90-160	200-350	>90	>1000

Tabla 2. 3 Comparación de las baterías comerciales Ref. 6

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la batería de ion litio es la que ofrece las mejores prestaciones para la aplicación que se desea llevar a cabo, pero en la actualidad esta batería aún es muy costosa además de tener una poca disponibilidad en el mercado.

Esto deja como primer opción a la batería de Plomo-Acido, pero por si sola y con los ciclos aproximados de vida esta batería podría resultar poco viable, pero esta batería tiene una variante que incorpora una VRLA (Valve Regulated Lead Acid) la cual la libra de todo mantenimiento e incrementa sus ciclos de vida casi al doble además de tener un costo considerablemente bajo respecto a las baterías de Ion-Litio, lo cual vuelve a esta batería como la mejor opción para este trabajo.

2.5. Justificación del Generador Eléctrico

El criterio de selección para el generador eléctrico fue con base en el tipo de corriente que consumía el motor eléctrico. [Ref. 4]

El generador eléctrico de corriente alterna también conocido como alternador es una máquina eléctrica capaz de convertir la energía mecánica en energía eléctrica de corriente alterna.

El alternador más simple está compuesto de dos principales elementos: el inductor que es quien crea el campo magnético y el inducido, que es el conductor atravesado por las líneas de fuerza de dicho campo.

El inductor juega también el papel de rotor quien es, en estas máquinas quien recibe la energía mecánica y el inducido que juega el papel del estator que es el que contiene los embobinados.

La rotación del inductor hace que su campo magnético sea variable en el tiempo y el campo magnético al pasar por los polos del inducido produce una corriente de comportamiento sinusoidal la cual es recibida en las terminales del alternador.

Alternador Monofásico

Es un alternador formado por un solo enrollamiento que tiene todas sus bobinas en serie o formando dos circuitos en paralelo.

Alternador Trifásico

Es un alternador formado por dos enrollamientos en su estator, el cual genera tres corrientes monofásicas desfasadas por 120° entre si pudiendo conectarse en conexión estrella o en conexión en delta, teniendo características diferentes en cuanto a magnitud e intensidad.

Al contar con todos los componentes se pueden hacer principalmente dos propuestas de configuración, híbrido serie e híbrido en paralelo, las cuales son mostradas en la imagen 2.2 y 2.3.

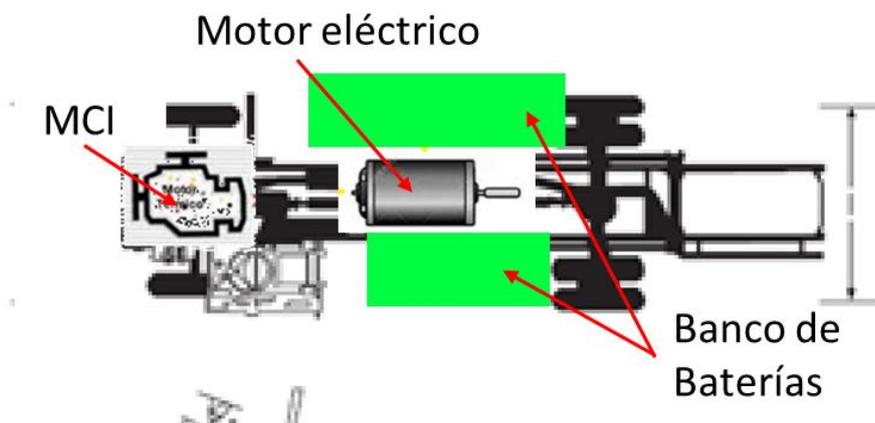


Imagen 2.2 Propuesta de configuración híbrido en paralelo

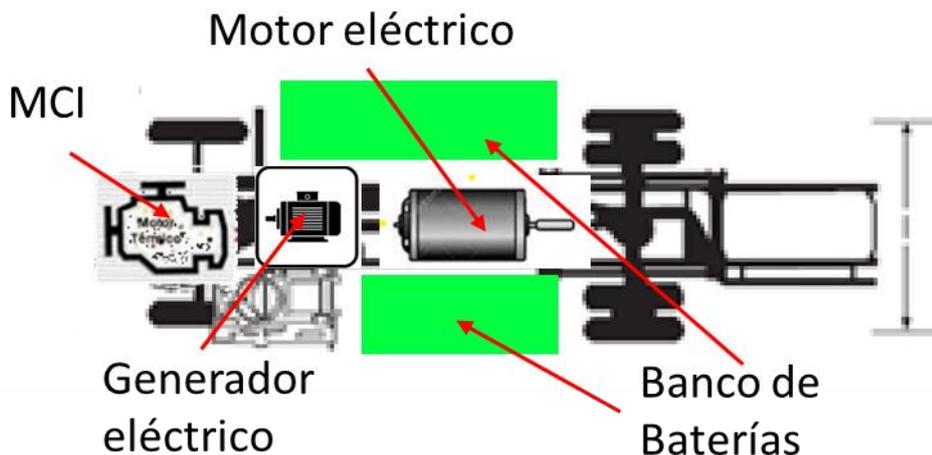


Imagen 2.3 Propuesta de configuración híbrido en serie

Una vez que se seleccionó el tipo de componente más conveniente para el tren motriz, fue necesaria la selección específica de cada elemento, para poder cumplir con los requerimientos marcados en el capítulo anterior.

Capítulo 3: Diseño de detalle

El diseño de detalle consiste en la selección de componentes con un nivel de detalle que abarca desde las dimensiones del componente, hasta marca, modelo y en algunos casos el costo de cada componente.

Como se ha manejado en los capítulos anteriores, las configuraciones posibles para un vehículo de propulsión varían de acuerdo a las necesidades del usuario, condiciones del camino, tipo de carga y prestaciones esperadas, con la finalidad de facilitar la construcción de este modelo se busca que todos los componentes sean comerciales y de bajo costo sin comprometer la calidad del producto final ni los requerimientos de este.

Generalizando para todas las configuraciones posibles se identifican cuatro elementos indispensables para el desarrollo de este vehículo: motor de combustión interna, motor eléctrico, generador eléctrico y un dispositivo de almacenamiento de energía.

3.1. Selección del Motor Eléctrico

Si bien para cada configuración pueden variar algunos de estos elementos, al ser un vehículo híbrido en serie, podemos definir que el motor eléctrico será el mismo en todos los casos posibles, ya que independientemente de la filosofía de funcionamiento elegido, las condiciones del camino y los requerimientos de éste, serán los mismos.

Según el capítulo anterior, la condición más demandante fue mantener una velocidad crucero de 40 km/h durante una pendiente del 5%, para esta condición, considerando las pérdidas por transmisión en un 15% se determinó que la potencia mínima requerida era de 147.1 HP de esta manera comprobamos que la potencia del motor seleccionado para esta aplicación es adecuada, véase imagen 3.1.

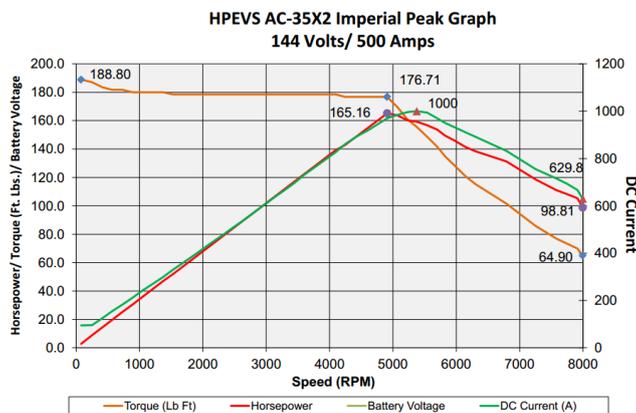


Imagen 3. 1 Especificaciones del motor eléctrico Ref. 10

MARCA	HPEVS	
MODELO	AC-35X2	
POTENCIA MAX	165@5000	HP@RPM

TORQUE MAX	188	LBFT
VOLTAJE	144	V
DC MAX	1000@5400	A@RPM

Tabla 3. 1 Valores máximos del motor eléctrico Ref. 10

3.2. Variantes de funcionamiento

Cada configuración propuesta está definida por escenarios los cuales tienen la finalidad de explorar todas las opciones posibles de funcionamiento para el vehículo.

3.2.1 Escenario 1

El primer escenario está definido por una filosofía de funcionamiento en la que toda la energía que pudiera llegar a requerir el motor eléctrico es proporcionada por el generador eléctrico, y este a su vez es accionado por un motor de combustión interna, buscando obtener así la máxima autonomía así como una reducción de consumo aprovechándose de las altas eficiencias de las máquinas eléctricas y utilizando la máquina térmica en su punto de mayor eficiencia, basándonos en los parámetros calculados con anterioridad y partiendo de que toda la energía será entregada por un generador eléctrico, véase tabla 3.2.

	[HP]	[KW]
POTENCIA TOTAL	147	110.25
POTENCIA DEL GENERADOR	147	110.25
POTENCIA DEL BANCO DE BATERÍAS	0	0

Tabla 3. 2 Reparto de potencia del escenario 1

Selección de MCI en el escenario 1

El motor de combustión interna, fue elegido mediante los parámetros de demanda de potencia más un 20% como factor de seguridad, de esta manera, se aseguraría que la energía requerida por el generador fuera provista en cualquier momento por el motor de combustión interna.

Este escenario, por sus características, es el de mayor demanda en cuanto a motor de combustión se refiere, ya que al no tener ningún dispositivo de almacenamiento, el motor deberá proveer la energía suficiente para cubrir con los requerimientos que este escenario

representa, las características del motor que mejor cumple con los requerimientos se muestran en la tabla 3.2.

MARCA	Nissan
MODELO	200sx
COMBUSTIBLE	Gasolina
# DE CILINDROS	4
CILINDRADA	2.0 l
POTENCIA MAXIMA	124.6 KW
TORQUE	238 Nm

Tabla 3. 3 Especificaciones del motor de combustión interna del escenario 1 Ref. 11

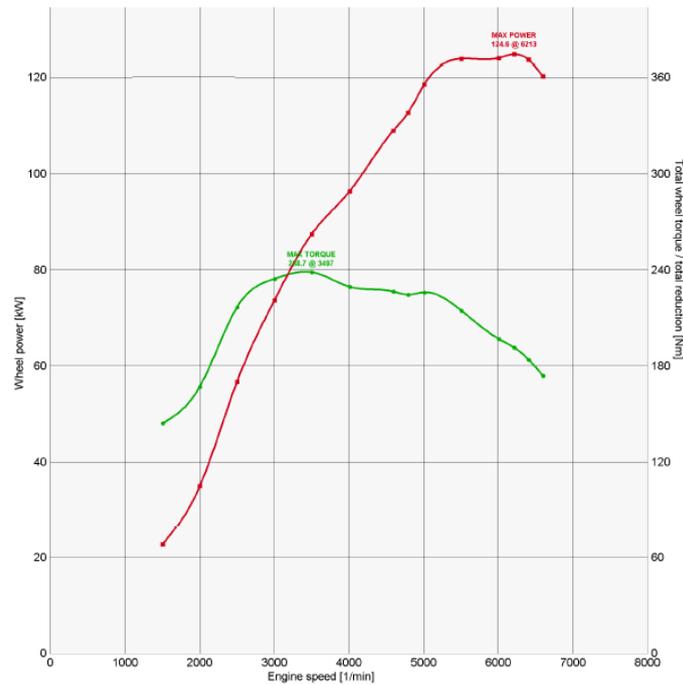


Imagen 3. 2 Especificaciones del MCI del escenario 1 Ref.11

Banco de baterías en el escenario 1

Como se mencionó previamente, estos componentes serían determinados por las condiciones de cada escenario, para este caso, el primer escenario no incluye un banco de baterías.

Selección del generador eléctrico en el escenario 1

El escenario uno, por sus características es el que demanda más prestaciones del generador, debido a que en este caso se ha prescindido de un banco de baterías, razón por la cual, este deberá aportar toda la energía que el camino llegara a demandar, siendo la potencia necesaria 147 [HP] los requeridos por el escenario, de manera comercial, existe disponible el motor GTA251AIHE de la marca WEG el cual tiene las características mostradas en la tabla 3.4,

MACA	WEG	
MODELO	GTA251AIHE	
TENSIÓN	190	V
POTENCIA	196	KVA

Tabla 3. 4 Especificaciones del generador eléctrico del escenario 1 Ref. 23

3.2.2 Escenario 2

El segundo escenario se define por la filosofía en la que el generador proveerá la energía requerida para superar una pendiente del 5% a 40 km/h, mientras que para condiciones como el arranque sobre una pendiente o maniobras de rebase, la energía extra será provista por un banco de baterías, el cual será cargado por el mismo generador según las condiciones del camino.

Buscando reducir la dependencia hacia el motor de combustión interna, la tabla 3.5 nos muestra la repartición de energía entre los diferentes dispositivos de generación y almacenamiento.

	[HP]	[KW]
POTENCIA TOTAL	147	110.25
POTENCIA DEL GENERADOR	91	68.25
POTENCIA DEL BANCO DE BATERÍAS	56	42

Tabla 3.5 Reparto de potencia del escenario 2

Selección del MCI en el escenario 2

Retomando la información mencionada en la tabla 3.5, tenemos que para este escenario, la potencia requerida es de 91 [HP] y aplicando el factor de seguridad tenemos que la potencia que debe tener el motor de combustión es de 109.2 [HP], las características del motor que cubre con estos requerimientos son mostradas en la tabla 3.6.

MARCA	Mazda
MODELO	3
COMBUSTIBLE	Gasolina
# DE CILINDROS	4

CILINDRADA	1.6 l
POTENCIA MAXIMA	73 KW
TORQUE	134 Nm

Tabla 3.6 Especificaciones del motor de combustión interna del escenario 2 Ref. 11

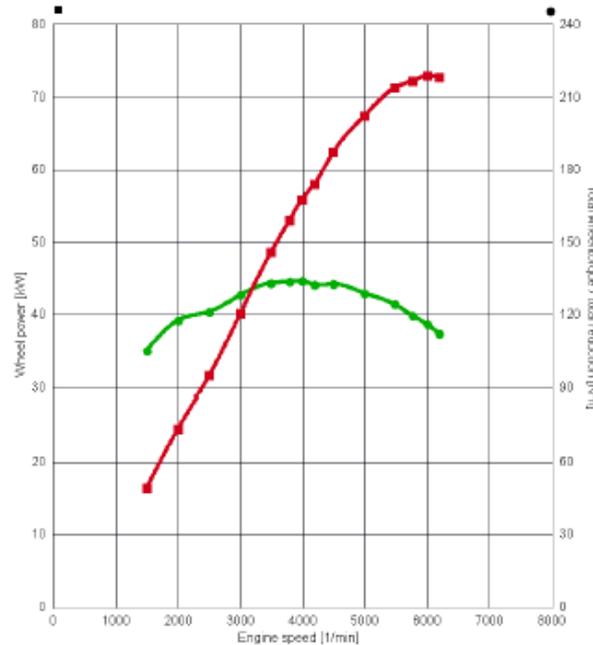


Imagen 3. 3 Especificaciones del MCI del escenario 2 Ref. 11

Banco de baterías del escenario 2

Bajo las condiciones de este escenario, el banco de baterías queda determinado de la siguiente manera:

Se tiene que almacenar una potencia de 42 kW y se considera una eficiencia del inversor del 85%

$$W_t = \frac{56}{0.85} = 49.4117 \text{ [KW]}$$

La tasa de descarga a la que estará sujeto el banco de baterías, se define mediante la siguiente expresión.

$$Wh = (49.4117KW) * \left(\frac{1}{4}h\right) = 10.5 \text{ [KWh]}$$

Después de considerar la eficiencia, la tasa de descarga es,

$$Wh = \frac{10.5KWh}{0.85} = 12.3529 \text{ [KWh]}$$

Al dividir la potencia entre el voltaje al que estará trabajando la batería, se tiene que.

$$Td = \frac{12.3529KWh}{144V} * \frac{1000W}{1KW} = 85.7843 \text{ [Ah]}$$

De manera comercial se encontró la batería LFP1290A, la cual tiene dentro de sus especificaciones las mostradas en la tabla 3.7.

TASA DE DESCARGA REQUERIDA	85.78	Ah
TASA DE DESCARGA DE LA BATERIA	90	AH
VOLTAJE	12	V
PESO	27	kg

Tabla 3. 7 Requerimientos del banco de baterías del escenario 2 Ref. 17

Se puede apreciar que la tasa de descarga de la batería es más que suficiente para cubrir la tasa de descarga requerida por el vehículo. Solo se necesitará hacer un arreglo para que se alcance el voltaje necesario.

$$\#baterias = \frac{Vtrabajo}{Vbateria} = \frac{144V}{12V} = 12 \text{ baterías}$$

De esta manera se necesitaran 12 baterías conectadas en serie para alcanzar los 144V requeridos por el sistema, teniendo como resultado,

#BATERÍAS	12	baterías
PESO	324	kg
COSTO POR BATERÍA	174	Usd
COSTO TOTAL	2088	Usd

Tabla 3. 8 Especificaciones del banco de baterías del escenario 2 Ref. 17

Selección del generador eléctrico del escenario 2

Por las condiciones de este escenario, es posible reducir el tamaño y peso del mismo, debido a que la energía demandada es menor, por lo que para este escenario tenemos la siguiente propuesta de generador,

MACA	WEG	
MODELO	GTA252AIVB	
TENSIÓN	190	V
POTENCIA	170	KVA

Tabla 3. 9 Especificaciones del generador eléctrico del escenario 2 Ref. 23

3.2.3 Escenario 3

Este escenario busca reducir el tamaño del motor de combustión interna aún más, por lo que la energía aportada se distribuye con un 50 % por parte del MCI y el otro 50% será provisto de un banco de baterías, véase tabla 3.10.

	[HP]	[KW]
POTENCIA TOTAL	147	110.25
POTENCIA DEL GENERADOR	73.5	55.125
POTENCIA DEL BANCO DE BATERÍAS	73.5	55.125

Tabla 3. 10 Reparto de potencia del escenario 3

Selección del MCI en el escenario 3

El generador de este escenario requiere de 73.5 [HP] y considerando el F.S. la potencia que deberá proporcionar el motor de combustión interna es de 88.2 [HP] por lo que las características del motor elegido para este escenario se muestran en la tabla 3.11.

MARCA	Nissan
MODELO	Micra
COMBUSTIBLE	Gasolina
# DE CILINDROS	4
CILINDRADA	1.3
POTENCIA MAXIMA	57 KW
TORQUE	120 Nm

Tabla 3. 11 Especificaciones del motor de combustión interna del escenario 3 Ref. 11

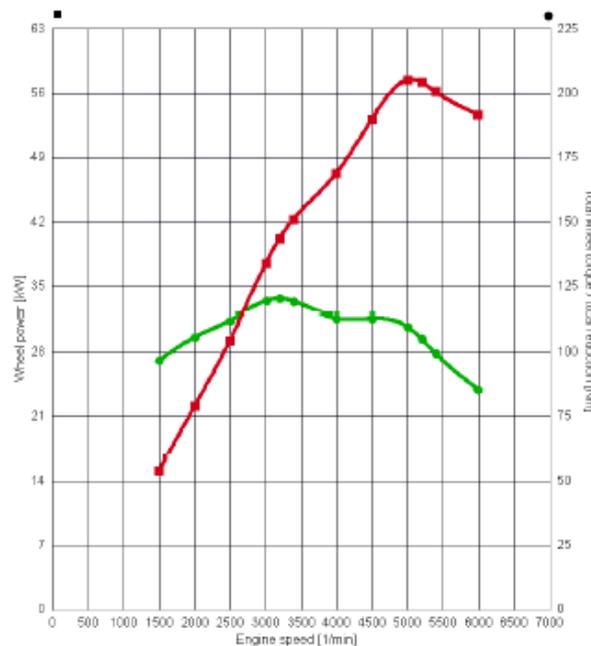


Imagen 3. 4 Especificaciones del MCI del escenario 3 Ref. 11

Banco de baterías en el escenario 3

El procedimiento para el cálculo del banco de baterías es exactamente el mismo que en el escenario 2, solo que se variaron los datos de entrada y de igual manera la batería comercial por el modelo LFP12120B, dando como resultado las condiciones mostradas en la tabla 3.12.

TASA DE DESCARGA REQUERIDA	112.59	Ah
TASA DE DESCARGA DE LA BATERÍA	120	AH
VOLTAJE	12	V
PESO	35	kg

Tabla 3. 3 Requerimientos del banco de baterías del escenario 3

De donde se obtuvo el siguiente banco de baterías,

#BATERÍAS	12	baterías
PESO	420	kg
COSTO POR BATERÍA	298	Usd
COSTO TOTAL	3576	Usd

Tabla 3. 4 Especificaciones del banco de baterías del escenario 3 Ref. 17

Selección del generador eléctrico en el escenario 3

En este escenario es posible reducir aún más el tamaño del generador ya que la energía demandada a este es menor que en los casos anteriores, teniendo disponible en el mercado el generador descrito en la tabla 3.14.

MACA	WEG	
MODELO	GTA252AIR	
TENSIÓN	190	V
POTENCIA	155	KVA

Tabla 3. 14 Especificaciones del generador eléctrico del escenario 3 Ref. 23

3.2.4 Escenario 4

Para este escenario y con la finalidad de reducir al máximo el tamaño del motor de combustión interna, el generador eléctrico provee la energía suficiente para alcanzar una velocidad promedio de 40 km/h mientras que la energía para las condiciones más demandantes, será provistas por un banco de baterías, véase tabla 3.15.

	[HP]	[KW]
POTENCIA TOTAL	147	110.25
POTENCIA DEL GENERADOR	53.4326	40.07445
POTENCIA DEL BANCO DE BATERÍAS	93.5674	70.17555

Tabla 3. 15 Reparto de potencia del escenario 4

Selección de MCI en el escenario 4

Como se ha venido manejando anteriormente, este escenario está diseñado para operar con un motor de combustión interna muy pequeño, siendo su potencia requerida la de 53.5 [HP] la cual al aplicar el factor de potencia resulta de 64.2 [HP], las características del motor seleccionado para este escenario se muestran en la tabla 3.16.

MARCA	Honda
MODELO	Logo
COMBUSTIBLE	Gasolina
# DE CILINDROS	4
CILINDRADA	1.3
POTENCIA MAXIMA	43.2 KW
TORQUE	97.8 Nm

Tabla 3. 16Especificaciones del motor de combustión interna del escenario 4 Ref. 11

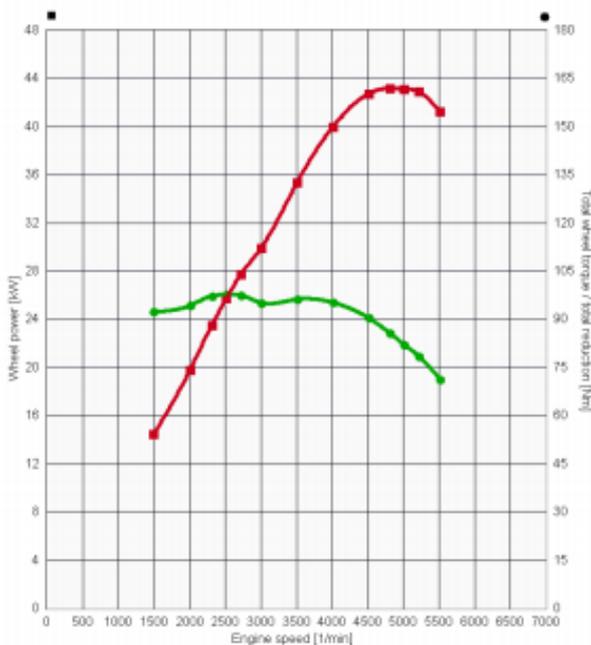


Imagen 3. 5 Especificaciones del MCI del escenario 4 Ref. 11

Baco de baterías en el escenario 4

De igual manera que en los escenarios pasados y con la batería: **LFP12145** y con las siguientes condiciones.

TASA DE DESCARGA REQUERIDA	143.28	Ah
TASA DE DESCARGA DE LA BATERIA	145	AH
VOLTAJE	12	V
PESO	44.5	kg

Tabla 3. 17 Requerimientos del banco de baterías del escenario 4 Ref. 17

Se obtuvo el siguiente banco de baterías.

#BATERÍAS	12	baterías
PESO	534	kg
COSTO POR BATERÍA	298	Usd
COSTO TOTAL	3576	Usd

Tabla 3. 68 Especificaciones del banco de baterías del escenario 4 Ref. 17

Selección del generador eléctrico en el escenario 4

Este escenario, por sus características, es en el que la dependencia hacia el motor de combustión es menor que en los demás, ya que en la condición de mayor demanda energética, quien es capaz de aportar la mayor parte de energía será el banco de baterías,

MACA	WEG	
MODELO	GTA252AIVB	
TENSIÓN	190	V
POTENCIA	113	KVA

Tabla 3. 7 Especificaciones del generador eléctrico del escenario 4 Ref. 23

3.6. Módulos híbridos propuestos

Una vez definidos todos los componentes que requeriría cada escenario, se han definido 4 sistemas híbridos de los cuales, sus características más importantes son:

Escenario 1

MOTOR ELECTRICO	HPEVS AC35X2	
POTENCIA	165	HP
VOLTAJE	144	V
PESO DEL MOTOR ELECTRICO	75	kg
MOTOR DE COMBUSTION	Nissan 200sx	
POTENCIA DEL MOTOR	124.6	kW
COMBUSTIBLE	Gasolina	
CILINDRADA	1998	CC
PESO DE MOTOR DE COMBUSTION	139	kg
GENERADOR ELECTRICO	GTA251AIHE	
POTENCIA DEL GENERADOR	196	kVA
PESO DEL GENERADOR	456	kg
BATERIA	LFP1290A	
NUMERO DE BATERIAS	12	
PESO DEL BANCO DE BATERIAS	324	kg
PESO DEL MODULO HIBRIDO	994	kg

Tabla 3. 8 Especificaciones del módulo híbrido del escenario 1

Escenario 2

MOTOR ELECTRICO	HPEVS AC35X2	
POTENCIA	165	HP
VOLTAJE	144	V
PESO DEL MOTOR ELECTRICO	75	kg
MOTOR DE COMBUSTION	Mazda 3	
POTENCIA DEL MOTOR	73	kW
COMBUSTIBLE	Gasolina	
CILINDRADA	1598	CC
PESO DE MOTOR DE COMBUSTION	80	kg
GENERADOR ELECTRICO	GTA252AIVB	
POTENCIA DEL GENERADOR	170	kVA
PESO DEL GENERADOR	456	kg
BATERIA	LFP1290A	
NUMERO DE BATERIAS	12	
PESO DEL BANCO DE BATERIAS	324	kg
PESO DEL MODULO HIBRIDO	935	kg

Tabla 3. 9 Especificaciones del módulo híbrido del escenario 2

Escenario 3

MOTOR ELECTRICO	HPEVS AC35X2	
POTENCIA	165	HP
VOLTAJE	144	V
PESO DEL MOTOR ELECTRICO	75	kg
MOTOR DE COMBUSTION	Nissan Micra	
POTENCIA DEL MOTOR	57.5	kW
COMBUSTIBLE	Gasolina	
CILINDRADA	1386	CC
PESO DE MOTOR DE COMBUSTION	80	kg
GENERADOR ELECTRICO	GTA252AIIR	
POTENCIA DEL GENERADOR	155	kVA
PESO DEL GENERADOR	456	kg
BATERIA	LFP12120B	
NUMERO DE BATERIAS	12	
PESO DEL BANCO DE BATERIAS	420	kg
PESO DEL MODULO HIBRIDO	1031	kg

Tabla 3. 10 Especificaciones del módulo híbrido del escenario 3

Escenario 4

MOTOR ELECTRICO	HPEVS AC35X2	
POTENCIA	165	HP
VOLTAJE	144	V
PESO DEL MOTOR ELECTRICO	75	kg
MOTOR DE COMBUSTION	Honda Logo	
POTENCIA DEL MOTOR	43.2	kW
COMBUSTIBLE	Gasolina	
CILINDRADA	1343	CC
PESO DE MOTOR DE COMBUSTION	80	kg
GENERADOR ELECTRICO	GTA252AIVB	
POTENCIA DEL GENERADOR	113	kVA
PESO DEL GENERADOR	456	kg
BATERIA	LFP12145	
NUMERO DE BATERIAS	12	
PESO DEL BANCO DE BATERIAS	534	kg
PESO DEL MODULO HIBRIDO	1145	kg

Tabla 3. 11 Especificaciones del módulo híbrido del escenario 4

De acuerdo a los escenarios y módulos propuestos podemos generalizar las propuestas de tren motriz en dos modelos básicos, la primer propuesta consta de un sistema híbrido el cual por sus características no requiere de sistemas de almacenamiento de energía, véase imagen 4.6.

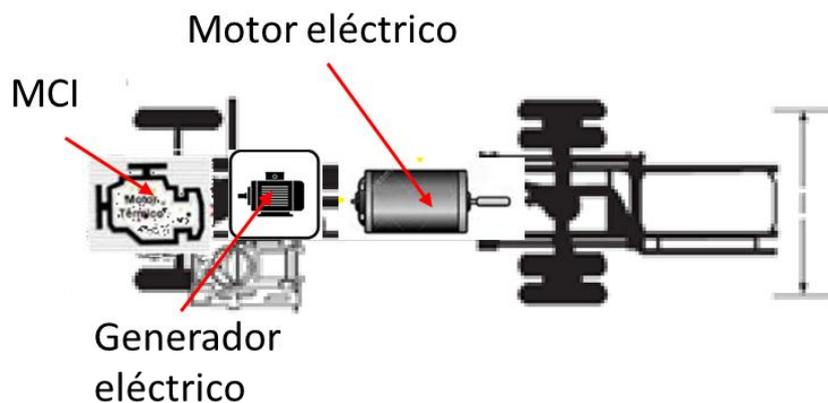


Imagen 4. 6 Propuesta de tren motriz 1

Para las propuestas 2, 3 y 4 se puede generalizar su configuración en el esquema mostrado en la imagen 4.7.

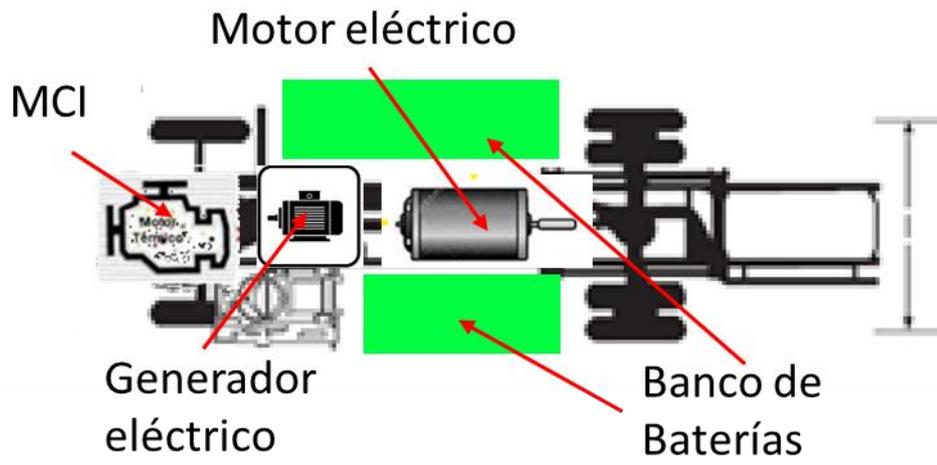


Imagen 4. 7Propuesta de tren motriz para los escenarios 2, 3 y 4

Capítulo 4: Resultados

Una vez que se han establecido las configuraciones posibles para el funcionamiento del vehículo híbrido, se debe seleccionar cuál de estas es la más indicada, se pueden establecer diferentes parámetros para obtener diferentes puntos de comparación entre cada una de las posibles configuración.

	Parámetro	Descripción
1	costo	El costo que representa la modificación propuesta
2	disponibilidad comercial	la facilidad de obtener los componentes en el mercado
3	peso	el peso total que representaría la adición de los nuevos componentes
4	mantenimiento	la facilidad con la que se llevaría a cabo el mantenimiento del tren motriz
5	ahorro de combustible	reducción del consumo de combustible
6	independencia	distancia recorrida sin la necesidad de recargar el tanque de combustible
7	duración de los componentes	el tiempo que tardaran los componentes en ser remplazados

Tabla 4. 12 Parámetros de comparación

Después de establecer los puntos de comparación se asignó una ponderación a cada parámetro en una escala del 1 al 4 en la q la configuración evaluada con una puntuación de 4 era la mejor calificada y la que tuviera 1 sería la peor calificada, esto con la finalidad de destacar las mejores características de cada configuración.

	Configuración 1	Configuración 2	Configuración 3	Configuración 4
costo	3	4	2	1
disponibilidad comercial	4	3	2	1
peso	1	4	3	2
mantenimiento	4	3	2	1
ahorro de combustible	1	2	3	4
independencia	1	4	3	2

Tabla 4. 13 Ponderación de cada configuración

Después de que se estableció una ponderación a cada configuración respecto a cada parámetro, se realizó una matriz de ponderación de los parámetros.

	costo	disponibilidad comercial	peso	mantenimiento	ahorro de combustible	independencia	Puntuación	Porcentaje
costo	0	1	0	0	1	1	3	21.43%
disponibilidad comercial	1	0	0	0	0	0	1	7.14%
peso	1	0	0	0	1	1	3	21.43%
mantenimiento	1	0	0	0	0	0	1	7.14%
ahorro de combustible	1	0	1	0	0	1	3	21.43%
independencia	1	0	1	0	1	0	3	21.43%
							14	100%

Tabla 4. 14 Comparación de parámetros

Una vez que se obtuvo la matriz de ponderación es posible realizar una matriz de decisión, considerando la matriz de ponderación así como la puntuación que se le asignó a cada configuración.

	Configuración 1	Configuración 2	Configuración 3	Configuración 4
costo	0.006428571	0.008571429	0.004285714	0.002142857
disponibilidad comercial	0.002857143	0.002142857	0.001428571	0.000714286
peso	0.002142857	0.008571429	0.006428571	0.004285714
mantenimiento	0.002857143	0.002142857	0.001428571	0.000714286
ahorro de combustible	0.002142857	0.004285714	0.006428571	0.008571429
independencia	0.002142857	0.008571429	0.006428571	0.004285714
Sumatoria	0.018571429	0.034285714	0.026428571	0.020714286

Tabla 4. 15 Matriz de decisión

De acuerdo con la matriz de decisión, la configuración más conveniente es la presentada en el escenario de funcionamiento 2, ya que es la configuración que al ser evaluada respecto a los criterios más relevantes de este trabajo, fue la que obtuvo la mejor puntuación en comparación de las otras 3 configuraciones.

La manera más conveniente de ubicar los componentes en el vehículo se muestra en la imagen 4.1.

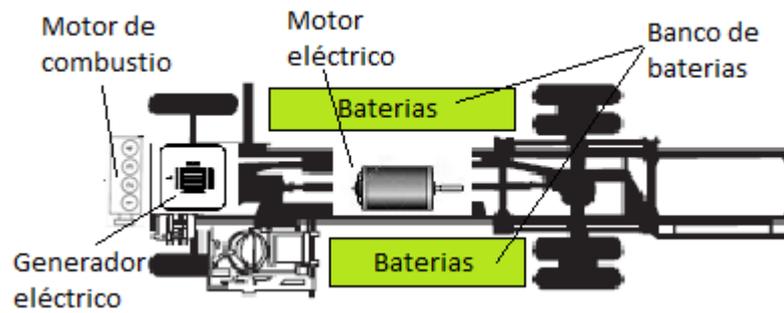


Imagen 4.1 Distribución de los componentes de la configuración

Con esta configuración se intenta mantener la misma distribución de peso del vehículo, con lo cual se intenta reducir lo más posible algún cambio en comportamiento dinámico del vehículo.

Es importante resaltar que el hecho de que fuera seleccionado el segundo tren motriz propuesto, no implica que las otras propuestas queden descartadas, ya que al cambiar los criterios de selección, pensando en alguna otra aplicación, alguna de las otras propuestas podría ser la más conveniente.

Conclusiones

De acuerdo al objetivo planteado al principio del trabajo, se pudieron obtener las conclusiones siguientes.

Según los resultados y utilizando los componentes anteriormente descritos, es posible modificar el tren motriz de un vehículo de pasajeros para que este brinde un servicio de transporte adecuado en las instalaciones de ciudad universitaria reduciendo así el consumo de combustible, lo cual representa un ahorro económico directo, además de la reducción de emisiones contaminantes.

El vehículo híbrido que se puede obtener de la configuración seleccionada representaría una inversión de cerca de \$800,000.00 MXN tan solo de materiales, a eso aún se le debe sumar el costo de los controladores, por lo que la inversión estaría valuada en cerca de 1,000,000.00 MXN, pero al considerar la reducción en el tamaño del motor de combustión interna, y el hecho de que el motor operara en su punto de mayor eficiencia queda demostrada la viabilidad del diseño de este tipo de vehículos, sin mencionar que de igual manera como es reducido el consumo será reducida la emisión de gases contaminantes, con lo cual además de ser una forma de reducir costos, se reduce el impacto ambiental de estos vehículos.

La intención de seleccionar piezas en su mayoría comercial, fue facilitar la adquisición de cada componente por lo que se obtuvo como resultado un módulo híbrido construible, aunque aún queda por detallar los sistemas de sujeción al bastidor, pero se tiene la seguridad de que este podrá soportarlo sin comprometer la seguridad de los pasajeros ni la integridad del vehículo.

Por lo anterior mencionado se puede concluir que siguiendo la tendencia de un diseño más amigable con el ambiente, los vehículos híbridos representan una solución viable, que requiere una inversión inicial elevada pero esta a su vez será recuperada por el ahorro que representa, además de la ventaja de poder acelerar esta recuperación al aumentar el uso del vehículo.

Cabe mencionar que este vehículo es de uso exclusivo para Ciudad Universitaria, ya que al salir de estos límites podría enfrentarse a condiciones no previstas y no funcionar como se esperaría o simplemente no funcionar, ya que fue diseñado con parámetros de ciudad universitaria, no obstante, la metodología empleada es posible usarse para diferentes escenarios con los cambios y consideraciones propias del nuevo escenario.

Trabajos Futuros

Este trabajo deja diferentes líneas de investigación abiertas que por la extensión del tema en sí, no sería posible juntarlo todo en un solo trabajo, por lo que se puede abarcar en trabajos futuros un sistema de tratamiento para el desecho de los sistemas de almacenamiento, ya que si este factor es descuidado las repercusiones ambientales podrían resultar en un problema mayor al que se está solucionando con este tipo de vehículos.

Otro aspecto que no se tocó en el presente trabajo fueron los sistemas de control tan necesarios como el modulo hibrido en sí, ya que una mala administración de los recursos de un sistema hibrido podría reducir el ahorro e inclusive resultar en un consumo mayor de combustible aumentando el problema ambiental que se intenta solucionar.

Apéndices

FirstPower Technology Co., Ltd.

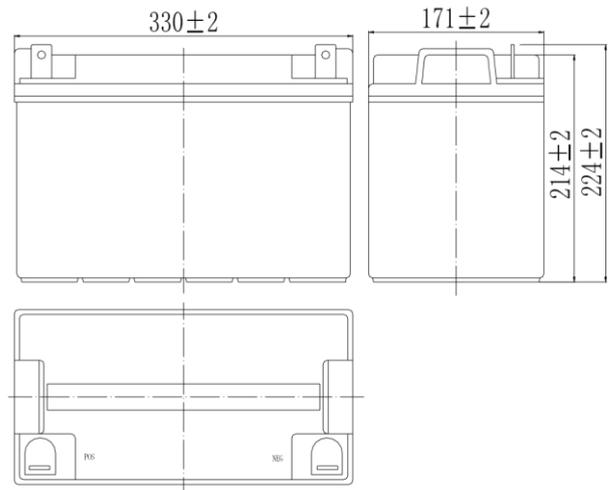
LFP1290A (12V90Ah)

Specifications

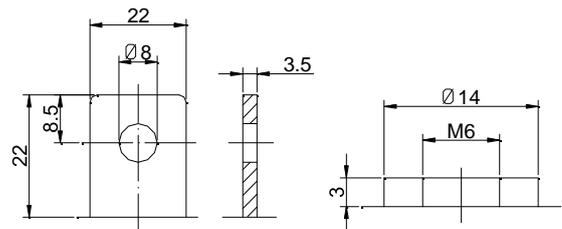
Nominal Voltage		12 V
Capacity (25°C)	10HR(10.8V)	90 Ah
	5HR(10.5V)	79Ah
	1HR(9.60V)	55.8Ah
Dimension	Length	330±2mm (12.99inch)
	Width	171±2mm (6.73inch)
	Height	214±2mm (8.43inch)
	Total Height	T5: 224±2mm (8.82inch) T9: 220±2mm (8.66inch)
Approx. Weight		27kg (59.5lbs)±4%
Terminal type		T5/T9
Internal resistance (Fully charged, 25°C)		Approx. 5mΩ
Capacity affected by temperature (10HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature		25°C±3°C(77°F±5°F)
Operating temperature range	Discharge	-15°C~50°C(5°F~122°F)
	Charge	-10°C~50°C(14°F~122°F)
	Storage	-20°C~50°C(-4°F~122°F)
Float charging voltage(25°C)	13.50 to 13.80V Temperature compensation: -18mV/°C	
Cyclic charging voltage(25°C)	14.50 to 14.90V Temperature compensation: -30mV/°C	
Maximum charging current	27A	
Terminal material	Copper	
Maximum discharge current	800A(5 sec.)	
Designed floating life(20°C)	7~10 years	

- ◆ Absorbent glass mat technology;
- ◆ Recognized by UL & CE;
- ◆ ABS container.

Dimensions



Terminal



Terminal T5

Terminal T9

Constant Current Discharge Characteristics (A, 25 °C)

F.V/TIME	10min	15min		30min	60min	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h
9.60V	189	149		90.0	55.8	32.9	23.0	18.8	16.1	11.0	9.16	4.81
9.90V	183	145		88.2	55.0	32.7	22.8	18.7	16.0	11.0	9.14	4.80
10.2V	176	140		85.5	53.6	32.4	22.7	18.6	15.9	10.9	9.12	4.79
10.5V	168	135		83.4	52.5	31.9	22.5	18.5	15.8	10.8	9.06	4.76
10.8V	159	128		80.4	50.9	31.1	21.8	17.9	15.3	10.5	9.00	4.73

Constant Power Discharge Characteristics (Watt, 25 °C)

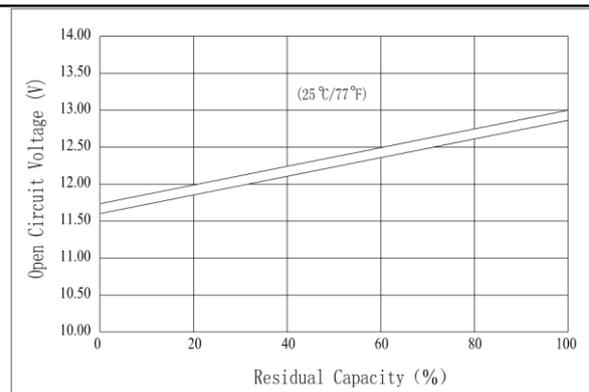
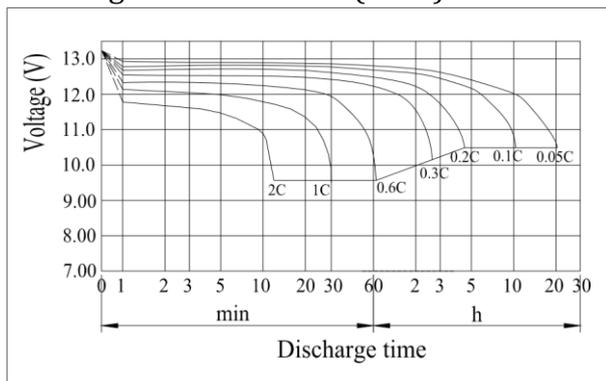
F.V/TIME	10min	15min	30min	60min	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h
9.60V	2041	1631	1010	636	381	270	221	190	131	109	57.7
9.90V	1980	1591	990	627	379	268	220	189	130	109	57.6
10.2V	1898	1533	959	611	375	266	218	187	129	109	57.4
10.5V	1817	1481	936	599	370	265	217	186	128	108	57.1
10.8V	1715	1402	902	580	360	257	210	181	124	107	56.7

Note: The above characteristics data can be obtained within three charge/discharge cycles.

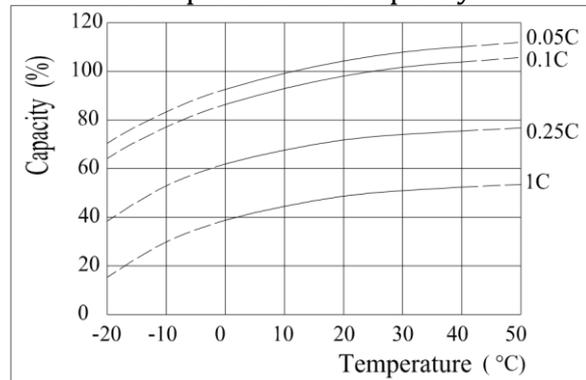
FirstPower Technology Co., Ltd.

LFP1290A (12V90Ah)

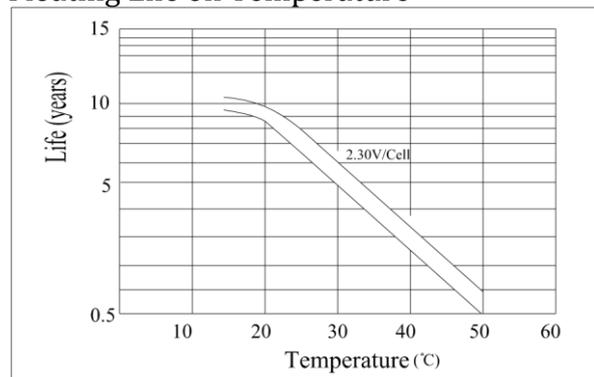
Discharge Characteristics(25 °C)



Effect of Temperature on Capacity

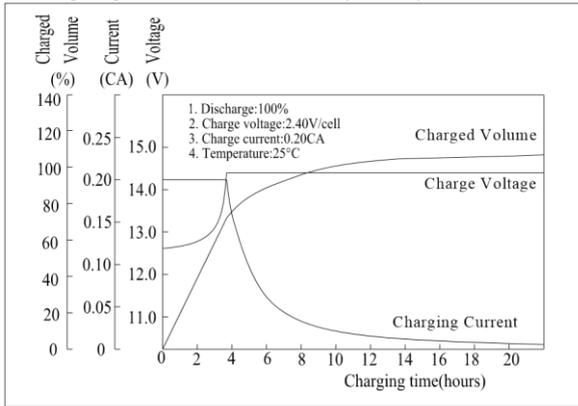


Floating Life on Temperature

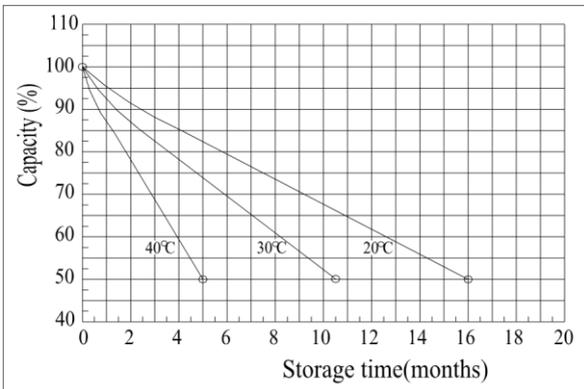


The Relationship for Open Circuit Voltage and Residual Capacity (25 °C)

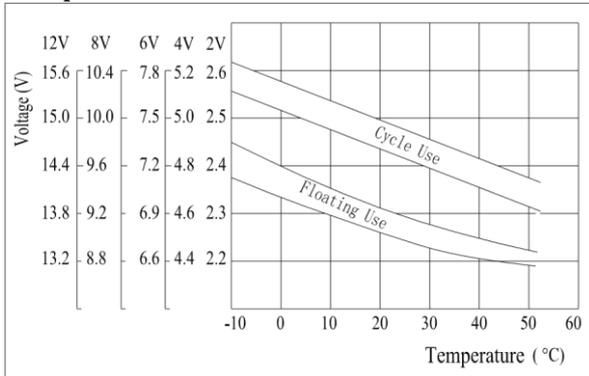
Charging Characteristics(25°C)



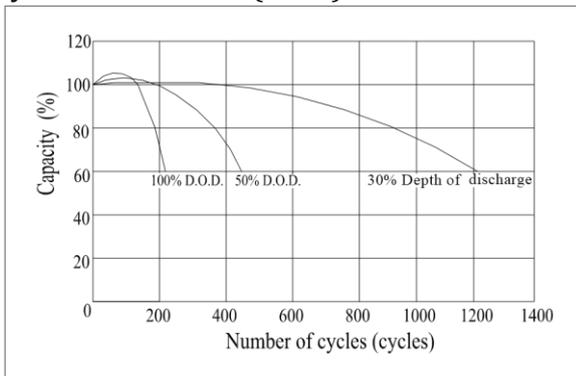
Self-discharge Characteristics



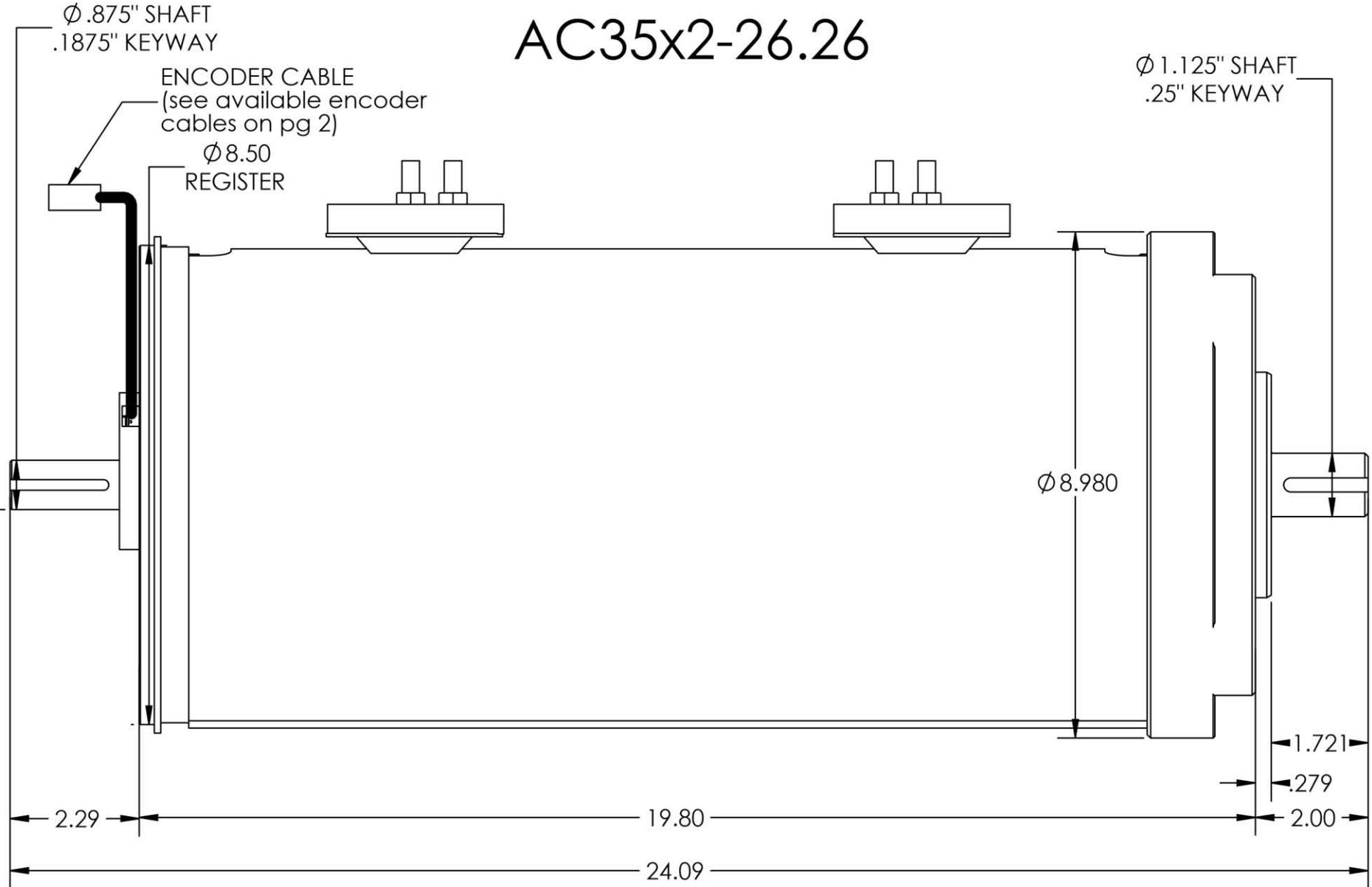
The Relationship for Charging Voltage and Temperature



Cycle Life on D.O.D(25°C)

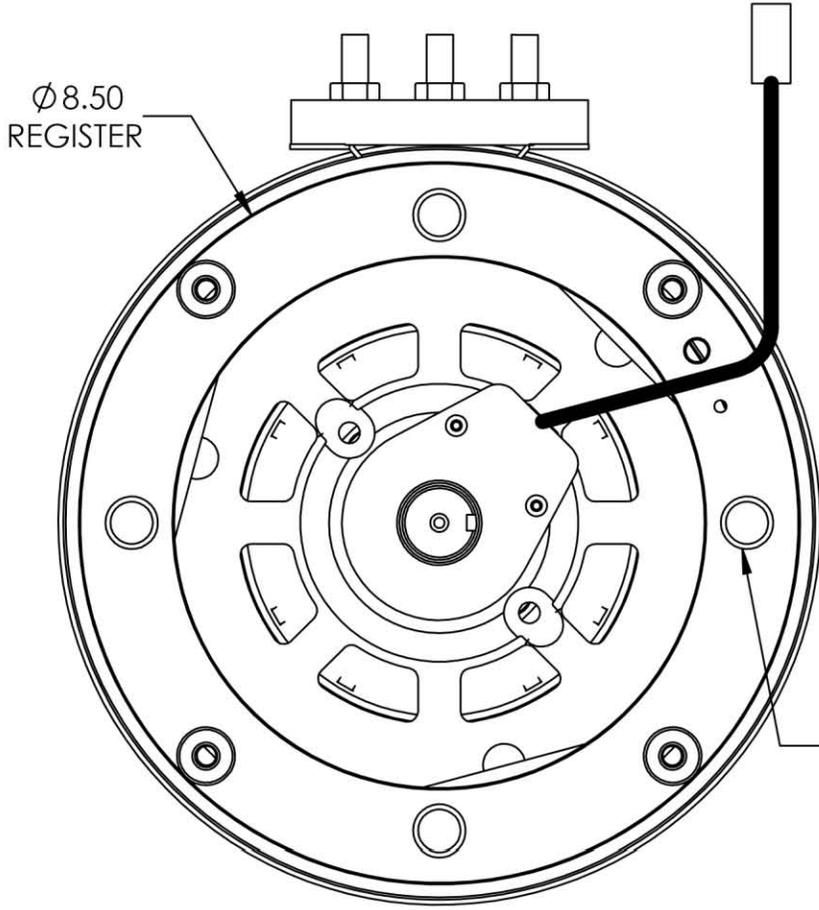


AC35x2-26.26

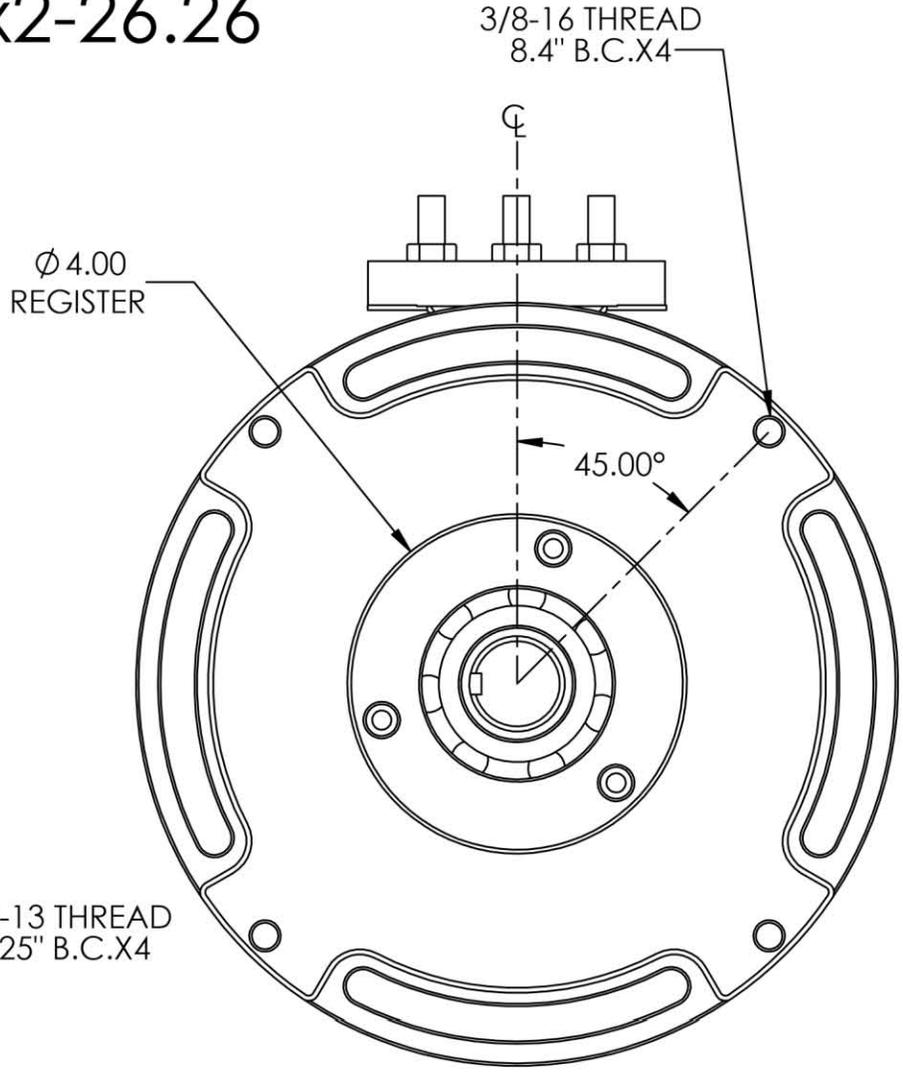


SIDE VIEW
52

AC35x2-26.26



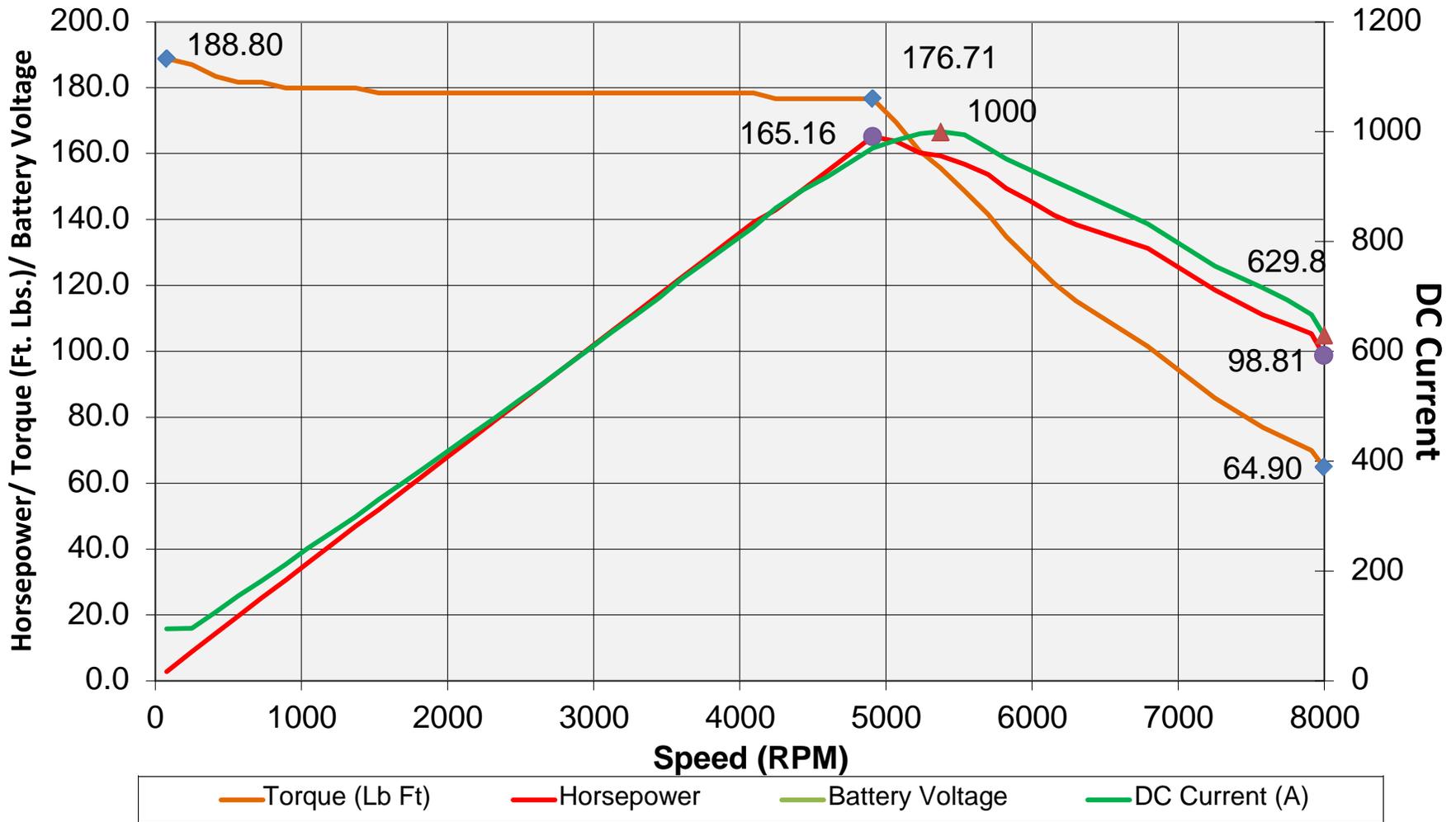
ENCODER END



DRIVE END

HPEVS AC-35X2 Imperial Peak Graph

144 Volts/ 500 Amps



Bibliografía

1. Cascajosa Soriano M. (2005). Ingeniería de vehículos. 2da (ed.) México
2. Agüero H () Historia del Automóvil, Lima, Perú
3. Alcívar García J. E. (2006). Diseño, implementación y análisis de un prototipo de vehículo híbrido, (Tesis de licenciatura). Escuela superior politécnica del Litoral
4. Manzano Orrego J. J. (2010). Maquinas Eléctricas
5. Cernuschi E. (2005). Cuatro siglos en cuatro ruedas, Uruguay
6. Peña Ordoñez C. (2011). Estudio de baterías para vehículos eléctricos, (Tesis de licenciatura). Universidad Carlos III de Madrid
7. Galarza Mondragón J.R. y Olivar de la Rosa H. (2009). Propuesta de conversión de un vehículo eléctrico a híbrido serie, (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México

Páginas de internet

8. <http://www.autobusesmercedesbenz.com.mx/>
9. <http://www.autolibreelectrico.com/>
10. <http://hpevs.com/catalog-ac-35x2.htm>
11. <http://rototest-research.eu/index.php?DN=29&List=A-B>
12. http://www.ferropedia.es/wiki/CAF_BITRAC
13. http://www.cat.com/es_MX/news/machine-press-releases/caterpillar-showcaseelectromotiveheavyhaul locomotiveatminexpo.html
14. <http://www.trucksplanet.com/catalog/model.php?id=1858>
15. <http://www.pumabus.unam.mx/>
16. <https://consejo.unam.mx/comisiones/especial-de-seguridad/reglamentos-y-lineamientos/110-sistema-de-transporte-y-vialidad>

17. http://www.efirstpower.com/Products_Standard_Battery.html
18. <http://www.ecconex.com/revista/03-2012/coches-motos-electricos-hibridos.html>
19. http://www.micoche.com/articulos/2006/2006_004_4.jpg
20. <http://www.tuveras.com/maquinaselectricas.htm>
21. http://www.todomotores.cl/mecanica/el_motor.htm
22. <http://www.cavadevices.com/archivos/FOLLETOS/calculo%20de%20bateria.pdf>
23. <http://www.weg.net/mx>
24. <http://tecnologiascalasancio.blogspot.com/>
25. <http://www.ecconex.com/revista/03-2012/coches-motos-electricos-hibridos.html>