TESIS DE GRADO

EN INGENIERIA INDUSTRIAL

“UNA ALTERNATIVA ELECTRICA PARA EL TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES”

Autor: Joaquín Santiago Rosenvasser

Legajo: 44209

Director de Tesis: M. Ing. Claudio Rancan

Lic. Ricardo Lauretta

2011

TESIS DE GRADO

EN INGENIERIA INDUSTRIAL

“UNA ALTERNATIVA ELECTRICA PARA EL TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES”

Autor: Joaquín Santiago Rosenvasser

Legajo: 44209

Director de Tesis: M. Ing. Claudio Rancan

Lic. Ricardo Lauretta

2011

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y amigos por su constante apoyo.

A Laura Dawidowski y el Ing. Cerfoglio por su ayuda con este proyecto.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo determinar si es viable implementar colectivos de emisión cero en la Ciudad de Buenos Aires, una de las ciudades más importantes de Latinoamérica. Para lograrlo se estudió la posibilidad de incorporar a la red actual de transporte, colectivo eléctricos a batería. Se estudiaron los problemas inherentes a que operen en la ciudad colectivos con motores diesel. Se analizó la mayoría de las tecnologías de baterías secundarias disponibles, ventajas y desventajas de cada una. Se realizó también el análisis económico de la solución respecto de su par actual.

Palabras Claves: Colectivo Eléctrico, Bus Eléctrico, Transporte de Buenos Aires, Baterías, Li Ion, Zebra.

ABSTRACT

This work aims to determine the feasibility of implementing zero-emission buses in the City of Buenos Aires, one of the most important cities in Latin America.To achieve this, the possibility of incorporating to the current transport network a battery electric bus was investigated. The problems associated with the operation of diesel buses in the city were considered. It was analyzed most of the available secondary battery technologies, the advantages anddisadvantages of each type. It was also conducted an economic analysis of the proposed solution against the current solution.

Key words: Electric Bus, Diesel Bus, Batteries, Buenos Aires Transport, Li Ion, Zebra.

Contenido

I. INTRODUCCIÓN v
1.0 Introducción 7
II. SITUACION ACTUAL.....11
2.0 Introducción 13
2.1 Análisis previo del transporte urbano de pasajeros. 14
Peatón:.....14
Bicicleta:.....14
Automóvil: 14
Vans y Charters.....15
Medios Colectivos.....15
Metrobus, Trolebuses y Tranvías 16
Trenes y Subterráneos 16
2.2 Datos cuantitativos del transporte de pasajeros de la Capital Federal 18
2.3 Empresas de colectivo de la Capital Federal (y el área metropolitana) 19
2.4 Contribución de los colectivos al cambio climático.....21
2.5 Partículas y ruidos emitidos por los colectivos 24
Emisión Sonora 24
Emisión de partículas 24
Emisiones del motor Diesel.....25
2.6 Efectos en la salud de las Emisiones Diesel (ED).....27
Estudios Epidemiológicos:.....27
Efectos adversos agudos.....28
Efectos adversos crónicos 28
Otros efectos.....29
2.7 Datos técnicos de colectivos actuales.....30
2.8 Casos de éxito.....34
Clasificación de Vehículos Eléctricos 34
Colectivos de Tipo BEV.....35
Vehículos Tipo EV: Trolebuses 37
III. ALTERNATIVA 38

3.0 Introducción 40
Cálculo Preliminar.....40
3.1 Elección de las baterías 42
3.2 Baterías recargables.....43
3.3 La batería de ion de Litio 45
3.3 Baterías de Sodio-Metal-Cloro (Zebra).....48
3.4 Supercapacitores y Ultracapacitores 51
3. 5 Baterías Experimentales.....53
3.6 Resumen de características de las baterías.....55
3.7 Motores Eléctricos.....56
Sistema de Control 57
Elección del motor 58
3.8 Frenado regenerativo.....65
3.9 Sistema de recarga.....66
3.10 Reciclado y disposición final de baterías 67
Reciclado de Baterías.....67
Disposición final 68
Tratamientos físicos 68
3.11 Resumen de la alternativa propuesta 71
IV. CALCULO DE LA PROPUESTA ECONOMICA 72
4.1 Calculo de la Inversión Necesaria.....73
4.2 Ingresos y costos de las empresas de transporte 76
Ingresos 76
Costos.....76
Costo de las emisiones diesel.....77
Resultado.....78
V. MARCO LEGAL.....80
5.1 Marco legal de regulación del transporte 82
Decretos que se refieren a la CNRT 82
Decretos que regulan el transporte urbano de pasajeros 82
Decretos que regulan el transporte interurbano de pasajeros.....82

Decretos que regulan el régimen de penalidades: 83
Resoluciones referidas a vehículos 83
Resoluciones referidas a los conductores....83
Leyes referidas al transito 83
5.2 Marco legal referente a las emisiones 84
VI. NUEVAS LINEAS DE INVESTIGACION 85
6.0 Nuevas líneas de investigación 87
Tecnologías de almacenamiento....87
Escalabilidad 87
Integración....87
Diseño....88
Progreso....88
CONCLUSIONES 89
ANEXOS....i
Desarrollo de las distintas tecnologías de Baterías iii
Baterías Plomo – Acido.... iii
Baterías Alcalinas....v
Baterías de Litio x
Baterías de Zinc Aire.... xii
Baterías de Zinc Bromo.... xii
Baterías Redox xiv
Baterías de Níquel Hidrogeno xiv
Baterías Sodio Azufre....xv
Motores eléctricos xxii
Clasificación de motores eléctricos.... xxii
Motores Síncronos.... xxiii
Motores asíncronos xxiii
Motores de Corriente Continua xxiv
Características y Gráficos de Eficiencia del Motor Eléctrico xxv
Componentes de la electrónica de potencia xxvii
BIBLIOGRAFIA....29

I. INTRODUCCIÓN

1.0 Introducción

Este trabajo cuenta con una única motivación. Contribuir de alguna manera a mejorar la calidad de vida de los habitantes de la Ciudad de Buenos Aires.

Uno de los puntos más importantes que hacen al bienestar de las personas que viven o trabajan en la ciudad es la manera en la que se transportan desde sus casas a sus trabajos y demás actividades. Uno de los medios favoritos del público en general, y la opción favorita de la mayoría es el automóvil. Un vehículo altamente confortable, que dada una infraestructura adecuada se convierte en altamente eficiente. Pero esta arquitectura no está dada en la actualidad en la Ciudad de Buenos Aires y no lo estará en el mediano plazo. Es además extremadamente ineficiente desde el punto de vista global. Ya que se requiere en promedio para transportar 6 personas de 5 automóviles. Lo que plantea entre otras la dificultad de encontrar espacio para almacenar cerca de 3 millones de automóviles.

Esta preferencia viene dada en principio por la falta de un transporte más masivo que iguale o supere la experiencia automóvil. Pero no es suficiente con que la alternativa sea más cómoda, también tiene que ser sustentable y sostenible. En este trabajo se propone la posibilidad de reemplazar los colectivos diesel por colectivos eléctricos. Estos últimos son mucho menos ruidosos, no emiten partículas contaminantes al aire que generan olores, gases de invernadero, partículas que se adhieren a la infraestructura de la ciudad y sustancias que son posiblemente riesgosas para la salud. Adicionalmente son energéticamente son muchísimo más eficientes, solo por el hecho de contar con un motor eléctrico su eficiencia crece 6 veces. Si esta energía proviene de fuentes limpias su sostenibilidad estaría básicamente asegurada.

En cuanto a su sustentabilidad el análisis se centra en dos aspectos fundamentales, en principio en la Argentina se subsidia el precio del combustible basado en petróleo. Pero este sin embargo tiene una tendencia fuertemente alcista. Lo que implica que en el mediano plazo encontrar fuentes de energía alternativas no solo se convertirá en una conveniencia sino en una necesidad. La única alternativa compartida en este momento es la eléctrica, en la que se utiliza combustible subsidiado para su generación pero que puede ser generada de manera sustentable y sostenida por fuentes renovales tales como energía hidráulica, geotérmica, eólica, solar, etcétera. Otras opciones como la alimentación a través de alternativas basadas en hidrógeno todavía no tienen un nivel de madurez necesario para su implementación inmediata a gran escala.

Hay que considerar que la tecnología propuesta se encuentra en una etapa experimental. Lo que implica que actualmente no es la alternativa económicamente más conveniente para una empresa privada sin una alta conciencia social. Pero en una visión más amplia a largo plazo se hace aún más importante empezar a considerar e implementar soluciones en la actualidad de manera de construir una base de conocimiento para que la

transición de tecnología pueda ser realizada de manera local, sin depender de proveedores de conocimiento, además de componentes, extranjeros.

II. SITUACION ACTUAL

2.0 Introducción

No es nuevo el que los vehículos eléctricos sean una solución eficaz para el transporte, pues así eran los primeros automóviles de la historia de la automoción, incluido uno fabricado por T. Edison. Fueron aplicados con éxito en la década de los noventa en California, Estados Unidos por la General Motors, aunque posteriormente retirados al agotarse sus baterías por motivos comerciales dudosos. El ferrocarril es el medio de transporte eléctrico más difundido, que demuestra las posibilidades de esta tecnología.

Sin embargo a diferencia de los trenes (y eventualmente los trolebuses) en el transporte rodado la tecnología eléctrica no tuvo aceptación principalmente por su baja autonomía.

En la actualidad se están produciendo grandes cambios en el mundo de la electrónica con la aparición de nuevas tecnologías de acumulación de energía eléctrica que crean el clima ideal para el desarrollo mundial de vehículos de baterías.

“El modelo basado en la combustión de derivados del petróleo está obsoleto y nunca debió darse un enfoque duradero, puesto que es un recurso escaso, con aplicaciones más interesantes como la fabricación de plásticos, derivados de polímeros o aceites. Las tecnologías que transforman la energía de los combustibles fósiles tiene bajos rendimientos, son altamente contaminantes con gases de efecto invernadero y gases muy tóxicos, además de los riesgos en seguridad y medioambiente al ser transportados” (Gonzales Pérez, 2010).

2.1Análisis previo del transporte urbano de pasajeros.

Existen distintos medios de transporte urbano de pasajeros en la Ciudad de Buenos Aires:

Peatón:

Es la forma de transporte más abundante en la ciudad de Buenos Aires (y en la mayoría de las capitales del mundo). Generalmente existen estimaciones de que la cantidad de cuadras que camina un peatón como medio de transporte en la ciudad no puede superar las 3 a 5 cuadras, si el sistema se encontrase bien diseñado. Esto no implica que haya personas que por necesidad o placer aumenten la cantidad de cuadras caminadas. Este medio de transporte es complementario a casi todos los demás.

Bicicleta:

En los últimos años se intentó, hasta el momento sin un éxito considerable, impulsar el uso de este medio de transporte. Este presenta una ventaja de velocidad y distancia recorrida con respecto al peatón, y es a su vez muchísimo menos denso que el transporte automotor, dos a tres órdenes de magnitud más económico, no consume combustible, no contamina y tiene beneficios adicionales derivados del ejercicio. Es por mucho el mejor medio de transporte en distancias medias inferiores a los 5000 metros. Siempre y cuando se cuente con una infraestructura adecuada para masificar su uso. Esta debe incluir necesariamente estacionamientos apropiados, la posibilidad de combinar este medio con los otros y algún tipo de priorización de este medio de transporte sobre los demás, ya sea por carriles exclusivos y/o priorizando su tránsito en determinadas arterias de la ciudad.

Automóvil:

Identifico aquí cuatro posibles formas de viajar en automóvil. De manera individual particular, empezando el recorrido en el hogar (o a pocos metros del mismo) hasta el estacionamiento de destino (que idealmente se encuentra a pocos metros del destino). De manera individual en medio público, es decir en un taxi. En esta opción existe la posibilidad de que el taxi sea tomado como medio de aproximación y no para la totalidad del viaje. Por ejemplo desde y hasta estaciones de tren. La opción del “Car Pool” en la que un grupo de particulares decide ahorrar costos compartiendo vehículo. Esta no esta ampliamente difundida en Buenos Aires ya que no existen beneficios inmediatos para el particular que no desea compartir el espacio generado por su vehículo con otras personas. La cuarta posible forma de viajar en automóvil es utilizarlo como medio de acercamiento a un transporte mas masivo. Esto se logró con cierto éxito en otras grandes ciudades en las cuales el particular maneja su vehículo desde su hogar hasta un gran estacionamiento que lo comunica inmediatamente a un sistema de transporte masivo. Esto le evita al particular el viajar dentro de la ciudad con su

vehículo además de colaborar con una disminución del tránsito dentro de la misma. Como opción automotriz existe también la de la motocicleta, un vehículo de prestaciones de transporte individual con una velocidad similar al automóvil, pero que tiene densidad significativamente menor, es decir ocupa menos espacio de carretera por persona transportada, y adicionalmente un consumo de combustible menor.

Vans y Charters

Este medio de transporte es un medio intermedio entre un colectivo y un automóvil. Suele transportar de 12 a 30 personas por vehículo. Generalmente este tipo de transporte hace menos paradas y gracias a esto realiza su recorrido en menos tiempo. Su costo para el pasajero es superior respecto de un medio más masivo, principalmente debido a la poca cantidad de pasajeros que pueden ser transportados por viaje. Su ventaja a nivel macro es intermedia entre un “Car Pool” y un colectivo.

Medios Colectivos

El colectivo es un medio de transporte que surgió para rivalizar, en la Ciudad de Buenos Aires, con el tranvía, que en un momento dominaba el transporte urbano masivo de pasajeros.

Actualmente es uno de los medios de transporte masivo más populares. Según estadísticas promocionadas por cámaras del sector el 70% de las personas que son transportadas lo hace por este medio. Puede transportar el doble de personas paradas que sentadas (Fuente: Reglamento Línea 10 de Tucumán), siendo esta última de alrededor de 30 personas. Los colectivos realizan recorridos fijos con paradas intermedias también fijas, sin embargo no se detienen en todas las paradas, ya que esto está sujeto a cuatro factores: que la parada sea obligatoria por finalizar el recorrido o para demorar el avance del mismo con el fin de mantener la frecuencia entre unidades, que un pasajero se quiera subir y que un pasajero desee bajarse o por último que se supere la capacidad máxima del vehículo. El tiempo de viaje de un colectivo está influenciado por varios factores: La distancias que debe recorrer, la cantidad de paradas que debe hacer, el estado del tránsito, la configuración de las señales de tránsito, la velocidad máxima y el tiempo que tarda en acelerar y desacelerar durante las paradas. Esto último se debería considerar fijo para asegurar un confort mayor del pasajero. Una aceleración y frenados bruscos disminuyen producen agitaciones innecesarias cuya única finalidad es ganar pocos minutos de viaje en detrimento de la calidad del mismo.

Tiene la gran ventaja de poseer independencia de recorrido, es decir, que el diseño del recorrido del colectivo está limitado únicamente a la existencia de un camino

transitable. Una vez cubierto este requisito se pueden aumentar la cantidad de personas transportadas simplemente aumentando el número de unidades disponibles. La eficiencia del sistema está limitada por la cantidad de unidades adicionales que circulan por la misma vía, que al no estar coordinadas las unas con las otras provocan demoras innecesarias.

La velocidad máxima permitida para un colectivo urbano es de 60 Km / h que es la velocidad máxima en las avenidas de la ciudad. Los colectivos interurbanos, que transitan por autopistas y rutas, están limitados a 90 Km / h. Esto no implica que su diseño no les permita alcanzar velocidades mayores.

Casi la totalidad de los colectivos en la Ciudad de Buenos Aires cuentan con motores diesel. Un prototipo de la Ciudad, el Eco Bus cuenta con un motor hibrido eléctrico.

En la actualidad dos empresas poseen el control del transporte urbano de colectivos en Buenos Aires, que a su vez se distribuyen en varias razones sociales. Siendo la antigüedad promedio del parque de 5 años con un costo estimado de renovación de 100.000 pesos por unidad (Fuente: Cámara de promoción del uso del colectivo). Según datos de la CNRT estas cifras no son precisas, dando una antigüedad promedio del parque de 7,13 años, con algunas unidades de hasta 13 años debido a una prorroga de la ley que limita la antigüedad del parque a 10 años como máximo.

Metrobus,Trolebuses y Tranvías

El Metrobus es un colectivo que posee un carril exclusivo de circulación. Similar a un subterráneo en funcionamiento, ya que posee estaciones, pero con el resto de las características propias de un colectivo. Este sistema de transporte fue implementado con éxito principalmente en Colombia, Brasil y México.

Existen medios de transporte con la misma capacidad que un colectivo, pero actualmente no circulan por la ciudad de Buenos Aires, estos son tranvías y trolebuses. El trolebús es un colectivo con un motor eléctrico que se alimenta de una red de tensión instalada a lo largo del recorrido y que es tomada por este gracias a un pantógrafo móvil en su techo. El tranvía es un medio de transporte de dimensiones similares a un colectivo pero que circula sobre rieles como lo haría un tren. Estos tres medios limitan sus recorridos a la instalación de la estructura necesaria para su movilización.

Trenes y Subterráneos

Los trenes y subterráneos son los medios de transporte masivo más eficaces conocidos hasta el momento. Gracias a su tamaño pueden transportar miles de pasajeros por unidad. Funcionan circulando sobre rieles y propulsados por motores eléctricos

alimentados por rieles con tensión, por cables suspendidos y pantógrafos o por motores diesel. Poseen paradas predefinidas en las estaciones lo que les quita versatilidad pero aumenta su predictibilidad y simplifica su planificación. Pueden alcanzar velocidades de hasta 100 Km / h, pero en la actualidad su capacidad está limitada, por diferentes motivos, a velocidades de 60 Km /h, es decir a la misma velocidad que un colectivo. Al contar con una ruta de transporte exclusiva y prioritaria (la barreras bajan para detener a los automóviles no al tren), pueden recorrer la misma distancia en un tiempo menor. Adicionalmente la cantidad de paradas de un tren es significativamente menor a la de un subterráneo, el cual a su vez posee paradas a distancias de 2 a 5 veces la de un colectivo.

Existe un tren que no posee algunas de las características mencionadas anteriormente, lo que en parte explica su poco uso. Se trata de un tren urbano ubicado en las inmediaciones de Puerto Madero. Tiene una capacidad ligeramente superior a la de un colectivo pero mucho menor a la de un subterráneo, es alimentado por energía eléctrica a través de un pantógrafo. La diferencia principal se centra en que este tren actualmente no cuenta con la priorización que caracteriza a sus pares y se detiene en las bocacalles, disminuyendo ampliamente su capacidad de realizar su recorrido velozmente. Esto sumado a su limitado recorrido explicaría su bajo uso.

2.2 Datos cuantitativos del transporte de pasajeros de la Capital Federal

El transporte urbano del área se compone de servicios de colectivos con amplia cobertura geográfica que totalizan una extensión de más de 63.800 km de rutas con 1.371 recorridos; 6 líneas de metro subterráneo y un tranvía en una red de 48 km con 76 estaciones y 7 líneas de trenes suburbanos con una red de 828 km, uniendo más de 250 estaciones con 4 terminales.

En Buenos Aires, el transporte grupal moviliza el 40% de los viajes diarios, mientras que el transporte individual (autos, motos, taxis y bicicletas) capta el 51%, el resto (9%) corresponde a los desplazamientos hechos a pie.

Tomando en cuenta sólo los viajes motorizados, el 44% se realiza en transporte público. (Fuente CAF).

Dentro del transporte colectivo, los subterráneos captaron en 2010 el 12,43% de los usuarios, los trenes el 17,62% y los colectivos el 69,95%. Esta proyección fue realizada proyectando la cantidad de usuarios de colectivos para los años 2009 y 2010, ya que no se cuenta con la información estadística para estos años.Los colectivos mantienen esta participación desde el año 2003, habiendo tenido un máximo de participación 10 años antes, en 1993 cuando la participación de los colectivos fue del 85,07%.

El área metropolitana de Buenos Aires, comprendida por la Ciudad de Buenos Aires y 19 partidos de la provincia de Buenos Aires acumula en su territorio el 31,6% de la población del país. (Fuente: INDEC 2001). El crecimiento poblacional de esta área está desacelerando pero aún mantiene su dominio respecto del resto del país. A partir de la década del 70 el crecimiento del área metropolitana fue menor al del total del país (16,9 contra 19,6), esta tendencia se acentuó y para el censo realizado en el año 2001 esta área había crecido solo 4,8% respecto del Censo anterior, 6,4 puntos porcentuales menos que el resto del país que aumentó su población un 11,2% en 10 años.

2.3Empresas de colectivo de la Capital Federal (y el área metropolitana)

Originados como taxis que transportaban más de un pasajero en un recorrido fijo, los colectivos se convirtieron en el medio de transporte más masivo de la ciudad de Buenos Aires. Habiendo sufrido procesos de nacionalización y privatización en la actualidad la Ciudad de Buenos Aires cuenta con 91 empresas (Fuente CNRT), muchas de las cuales pertenecen a dos grupos que están en pleno auge que son el Grupo Plaza y el Grupo DOTA, ambos lograron ampliar su tamaño capturando recorridos y líneas de empresas que fueron a la quiebra durante la crisis de 2001, año en el cual por primera vez en su historia, las empresas de colectivos empezaron a recibir subsidios del Estado Nacional, estos en forma de un descuento en el precio del gasoil y un adicional para las empresas del área Metropolitana.

El grupo DOTA acumula 2443 unidades (aprox. 26%) del total de unidades relevadas en el área metropolitana, distribuidas en 33 líneas. Ya sea por cuenta propia totalmente o como parte propietaria de otros grupos (NU.DO S.A). El Grupo Plaza por su parte cuenta con 539 unidades (aprox. 6%) del total de unidades relevadas distribuidas en 17 líneas. Es decir que estas dos empresas acumulan hasta el momento cerca de un tercio del total de unidades en circulación. Para poner en perspectiva estos números, la tradicional línea 60, ahora parte del grupo DOTA a través de NUDO, era una de las empresas más grandes, con mayor cantidad de unidades, mayor cantidad de pasajeros transportados y mayor distancia de recorrido; contaba con 369 unidades, casi el doble de su competidora más cercana. Otro dato destacable es que la cantidad de empresas se redujo un 25% en los últimos 20 años.

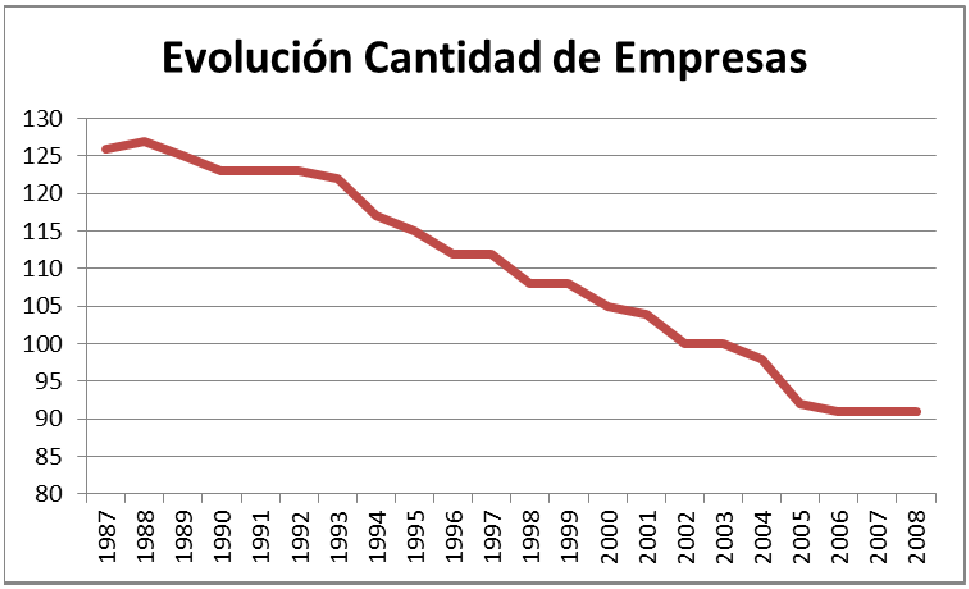

Grafico 3.2.1: Evolución de la Cantidad de Empresas.

Las empresas de colectivo transportaron 1.635,50 millones de personas durante 2008 (último año con información disponible), recaudando 1.724,41 millones de pesos por venta de boletos. Durante el año 2010 las empresas recibieron subsidios por 18.451 pesos por mes (Fuente: La Nación). Lo que equivale a un ingreso anual 2080 millones de pesos. A cambio de estos las empresas aceptaron el congelamiento de tarifas.

Pese a que la cantidad de empresas se redujo drásticamente la cantidad de unidades en circulación no disminuyó. A continuación se da una proyección de la cantidad de unidades que se espera estén en funcionamiento para el año 2011.

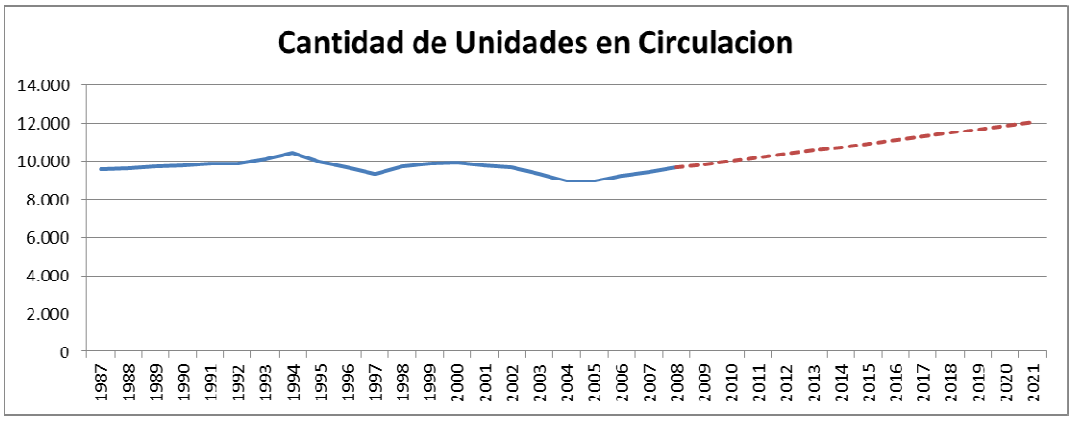

Grafico 3.2.2: Evolución y proyección de la cantidad de unidades en circulación.

2.4 Contribución de los colectivos al cambio climático

El estudio de las emisiones de los colectivos diesel es una tareacompleja. En la Argentina a diferencia de otros países más desarrollados se demoró demasiado tiempo en generar un mapa de emisiones, que pueda luego ser utilizado para evaluar los efectos de los gases de invernadero. Para que el estudio pueda ser comparable internacionalmente se consideró al área metropolitana de Buenos Aires como una mega ciudad. “Lasmegaciudades son aglomeraciones urbanas muy grandes con poblaciones que exceden los 10 millones de habitantes, con diferencias con poblaciones urbanas no solo en tamaño de la población sino también en la escala económica, infraestructura e impacto ambiental asociado” (Gurjar y Lelieveld, 2005). “Una rápida urbanización resulto en un incremento de las emisiones de contaminación del aire, resultado de actividades productivas, transporte y producción de energía concentrada en áreas densamente pobladas. Estos contaminantes sobrepasan los límites ocupados por estas megaciudades contribuyendo significativamente a la calidad del aire en una escala global” (Gurjar y Lelieveld, 2005). Uno de los primeros trabajos realizados para inventariar las emisiones del transporte terrestre en la Ciudad de Buenos Aires fue realizado por D’Angiola, Dawidowski, Gomez y Osses. En este estimaron para el área metropolitana de Buenos Aires las emisiones de Dióxido de Carbono, Metano, Oxido Nitroso (N_20), Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrógeno, Compuestos Orgánicos volátiles no-metanicos (NMVOC por sus siglas en ingles), material particulado y dióxido de azufre en dos estas de desagregación espacial. Lo que se detalla a continuación fue extraído de este estudio:

El transporte terrestre se convirtió en una fuente significativa contaminación del aire en el último Siglo y es actualmente una de las fuentes más grandes dentro de las megaciudades con sus subsecuentes efectos adversos para la salud humana (Faiz 1993, Covile 2001). En Argentina las emisiones por vehículos de calle representaron el 58% del total de emisiones de monóxido de carbono en el año 2000 (Fundación Bariloche 2005), cifra que se espera suba debido a la creciente demanda de transporte individual (Zachariadis 2001).

El área metropolitana de Buenos Aires está compuesta de la Ciudad de Buenos Aires y 24 distritos que la rodean que son parte de la provincia de Buenos Aires, abarcando una área de 3647Km^2. Siendo la décima megaciudad en el mundo y la tercera de Latino América habitan en ella 32% de la población ocupando solo el 0,14% del territorio nacional. Con una densidad de población de 4600 habitantes por kilómetro cuadrado y 2,4 millones de vehículos circulando. En el área coexisten 3 niveles de gobierno (Nacional, Provincial y Municipal) cada uno regulando un aspecto distinto del transporte, adicional a esta superposición gubernamental la Ciudad de Buenos Aires se encuentra en un terreno plano con buena ventilación lo que llevó a una mala

administración de la calidad del aire. Entre otras cosas la ciudad carecía de un inventario de emisiones de fuentes móviles.

La flota de vehículos fue clasificada de acuerdo a la metodología Copert (Ntziachristos y Samaras 2000). La flota local fue clasificada en 7 categorías:

Uso ligero / Autos particulares, vehículos deportivos utilitarios, taxis, camiones ligeros, y Uso Pesado, en esta última categoría se encuentran los colectivos y los camiones de transporte pesado. Estas categorías fueron subdivididas de acuerdo al combustible utilizado, capacidad del motor, tamaño del vehículo, y tecnología de control de emisiones.

Los combustibles utilizados en la Argentina para transporte terrestre son, el gas natural comprimido (GNC), diesel y gasolina (nafta). La nafta sin plomo es usada por los vehículos ligeros desde 1995 a partir de la prohibición de su contraparte con plomo. El GNC incremento su uso en vehículos ligeros híbridos (Gas / Nafta) en el mismo año debido principalmente a su bajo precio. Sin embargo los vehículos pesados siguen dependiendo principalmente del combustible Diesel.

Según este estudio la emisiones de vehículos de calle para el área Metropolitana de Buenos Aires para el año 2006 con el nivel de incertidumbre entre paréntesis en (Gg): CO_2: 11524 (10071-12195), CH_4 10,6, N_2O 1,04, CO 569 (406 – 829), NO_x 81,9 (63,4 – 97,6), NMVOC 69,8 (43,8 – 96,8), PM 6,37 (3,27 – 9,11) y SO_2 6,60 (5,38 – 6,90). Como el nivel de incertidumbre para el CH_4 y el N_2O fue superior al 140% este no fue mostrado. A la Ciudad de Buenos Aires le corresponde el 40% de estas emisiones. De estos valores solo corresponden para los vehículos pesados:

- Son menos del 2% del total de vehículos.
- Representan el 25% de la emisión de Gases de Invernadero o GHG (CO_2 x 1 + CH_4 x 21 + N_2O x 310).
- CO_2 23% del total de emisiones.
- CH_4 Aprox. 4% del total de emisiones.
- N_2O Aprox. 10% del total de emisiones.
- CO Aprox. 2% del total de emisiones.
- NMVOC Aprox 10% del total de emisiones.
- NO_x 39% del total de emisiones.
- SO_2 y PM 28% del total de emisiones.

Todos estos valores con un alto nivel de incertidumbre en su cálculo. Como estos valores corresponden al grupo de vehículos pesados, de los cuales los colectivos representan el 19% (9654 de 50858), a estos valores hay que aplicarles este factor para

que representen las emisiones efectivas de los mismos a nivel global. Cabe destacar que el transporte pesado en la ciudad recorre la periferia de la misma. Siendo los colectivos los únicos en recorrer el interior. De esta manera gran parte de las emisiones (sino la totalidad) antes mencionadas pueden ser atribuidas a los mismos en el interior de la ciudad.

2.5 Partículas y ruidos emitidos por los colectivos

Emisión Sonora

Buenos Aires es una de las 5 ciudades más ruidosas del mundo, según el Plan Estratégico 2008 – 2012 elaborado por la Agencia de Protección Ambiental del gobierno porteño. El principal generador de estas dos emisiones se centra precisamente en el parque automotor. Los datos son parte de un mapa de ruido que se confeccionó hace tres años y que mostró altos índices de contaminación sonora en el microcentro, en zonas de Barracas y de Monserrat, Constitución y especialmente Retiro, y en el cruce de Santa Fe y Pueyrredón, con mediciones que van de 65 a 80 decibeles (dB).

Según parámetros de la OMS, por encima de los 70 dB los sonidos resultan molestos, si superan los 90dB se vuelven dañinos,

Para combatir el nivel de ruido la Agencia hace controles periódicos en los ómnibus. En este distrito, la ley 1540 castiga a quienes violen los niveles tolerables de ruido. Esa norma establece que solo se podrán superar los 70dB en distritos industriales, en los que el tope máximo será de 75dB durante las horas diurnas. En el sistema vial el máximo permitido sube a 80dB. (Laura Rocha, La Nación).

Un aumento de 3dB implica una sensación en el oído humano del doble de ruido. Lo que implica que cuando se realicen controles podemos estar hablando que el límite tolerado es, en percepción, unas 4 veces superior al actual. Lo que deja un amplio margen a las empresas transportistas de seguir emitiendo ruidos molestos.

La mayor intensidad de sonidos son realizados cuando el motor acelera. También se siente un sonido agudo al momento del frenado si estos no cuentan con el mantenimiento adecuado. Generalmente a mayor antigüedad del colectivo mayor es el nivel de ruido generado.

Según Silvia Cabeza, de la Asociación Civil Oír Mejor, uno de los mayores daños que produce el ruido en la Capital es que sus efectos nocivos persisten en el horario nocturno “En los últimos años los horarios de sueño se han reducido muchísimo. Por la noche solo quedan entre dos y tres horas para el descanso con el silencio necesario”. “La agresión del ruido hace además que estemos excitados, estresados, tengamos conductas agresivas y suframos de dolores de cabeza y hasta problemas cardiacos”. (La Nación, 2009).

Emisión de partículas

“Más del 90% de la contaminación ambiental de la ciudad es causada por el tránsito vehicular. Los controles son insuficientes” (Pablo Tomino, La Nación).

Según la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT), desde junio de 2008 a junio de 2009 se labraron 145 actas de infracción a colectivos por exceso de humo, mientras que en los últimos meses de 2009 se emitieron 448 actas, como consecuencia de 15.049 inspecciones. Este se debe a la gran cantidad de vehículos que se encontraban en ese momento en el límite legal para circular de 13 años de antigüedad. Esto por supuesto no considera a aquellos vehículos que evaden la ley y siguen en circulación. Principalmente porque el control se realiza en cabecera sin pasajeros. No considerando a aquellos vehículos que para evadir el control no se detienen en ellas.

En la capital circula 1,7 millones de autos particulares por día que emanan gases junto con 9600 colectivos y 38000 taxis que desarrollan tareas en el distrito. Los valores pico de contaminación se alcanzan en horas pico. Según datos oficiales no superan el máximo tolerable de monóxido de carbono para el ser humano, que es de 9 ppm (La Nación, 2009).

Emisiones del motor Diesel

A pesar de las buenas prestaciones medio ambientales y en particular a su débil consumo el motor Diesel sigue siendo criticado por los vertidos de partículas y de humos negros. Desde el año 1980, las emisiones de partículas han sido reducidas hasta una cuarta parte de las iniciales. Con el Filtro de partículas (FAP), las emisiones de partículas se reducen al límite de lo medible.

Las partículas están formadas por micro glóbulos de carbono, sobre los cuales se adhieren y condensan hidrocarburos procedentes de carburante y del lubricante. El agua y los sulfatos también están presentes en su superficie.

La formación de las partículas sucede dentro de la auto inflamación del combustible mezclado de forma heterogénea con el aire. La calidad de la combustión depende del modo en que se realiza la mezcla aire - combustible.

En su funcionamiento, el motor Diese utiliza una cantidad de aire determinada por el grado de llenado del cilindro. El control de la potencia se realiza en función de la cantidad de combustible inyectada. En ciertos momentos de uso del motor (especialmente durante las aceleraciones) se producen zonas muy ricas en carburante. La combustión de estas zonas se realiza de forma incompleta por la falta de oxígeno. Esta situación facilita que los hidrocarburos del combustible se conviertan en pequeñas partículas de carbono.

La cantidad de las partículas y su composición dependen de:

- El proceso de combustión: intentando reducir en la cámara de combustión las zonas con mezclas muy ricas.

- La calidad del gasoil y su contenido en azufre: si se aumenta el número de cetano y se reducen los componentes poli aromáticos se consigue reducir la emisión de partículas. Los sulfatos también pueden ser eliminados al reducir el contenido de azufre.
- La eficacia del post tratamientos: La catálisis de oxidación permite reducir la fracción hidrocarbonada de las partículas. Pero solo el filtrado consigue suprimir las partículas.

Existe la concepción de que eliminando el filtro se obtiene un mayor rendimiento del motor. Razón por la cual ciertos vehículos carecen del mismo debido a su extracción con este fin.

La dimensión de las partículas Diesel medida en el flujo de los gases de escape suele ser de 0,09 micras de diámetro. Este valor es independiente de la tecnología del motor y de las condiciones de funcionamiento, ya que estos factores solamente afectan al número de partículas emitidas. Las partículas retenidas por el filtro presentan un aglomerado cuya tamaño está comprendido entre 0,1 y 1 micra.

Las partículas despedidas son las que se acumulan en las superficies de los edificios. Causando el gasto adicional de la limpieza de los mismos y aumentando la frecuencia con la que deben ser pintados.

2.6 Efectos en la salud de las Emisiones Diesel (ED)

Es extremadamente obtener pruebas concluyentes de los efectos en la salud de las emisiones diesel. Sin embargo existen estudios que cuantifican los riesgos.

A continuación se muestra una adaptación en la que se extrajeron los datos más relevantes de una publicación de medicina pediátrica sobre los efectos de las emisiones de los motores diesel (Tortajada, J.A. Ortega Garcí1, J.A. López Andreu, J. Garcia Castell, J. Aliaga Vera, A. Cánovas Conesa, Garcia ,2003):

“Las emisiones diesel (ED) constituyen una mezcla compleja de miles de sustancias orgánicas e inorgánicas en forma de gases y finas partículas (compuestas por materiales sólidos y líquidos). Muchos de los constituyentes individuales de los ED están sin identificas y la composición varía dependiendo del tipo de motor, condiciones de funcionamiento, combustible, aceite lubricante y del sistema de control de las emisiones. Las principales sustancias de las ED se hallan catalogadas la mayoría de ellas como contaminantes atmosféricos con diversos efectos toxico, mutagenos y cancerígenos. El concepto contaminante atmosférico designa a cualquier sustancia que, alterando el equilibrio y composición natural del aire, pueda causar o contribuir a: a) aumentar la mortalidad; b) incrementar la morbilidad de patologías moderadas – graves y c) presentar un riesgo actual o potencial para la salud humana.”

“Las ED son más contaminantes que las generadas por los motores de gasolina, pero los MD son muy superiores en la economía del combustible y en la durabilidad. Las ED contaminan el ambiente y se asocian a efectos adversos en la salud humana, especialmente entre las poblaciones profesionalmente expuestas. La población pediátrica, además de su mayor vulnerabilidad ante cualquier contaminante medioambiental, está cada vez más expuesta a las ED por los siguientes motivos: a) concentración en grandes ciudades; b) aumento del números de vehículos con motores diesel; c) saturación de tráfico en las grandes y medianas ciudades y d) el tiempo que pasan en los autobuses escolares durante el transporte escolar diario.”

En otra sección se trató el tema de las emisiones diesel y su inventario en la ciudad de Buenos Aires, a continuación se extrajo del artículo antes mencionado los diferentes efectos en la salud:

Estudios Epidemiológicos:

Los estudios epidemiológicos humanos para analizar los efectos adversos de las ED en la salud son extremadamente difíciles de realizar e interpretar por las siguientes razones:

- Complejidad química intrínseca de las ED.
- Variabilidad en las concentraciones de cada sustancia emitida en función del tipo de motor, antigüedad, funcionamiento real, desgaste , deterioro , puesta a

punto, carburante, aceite lubricantes, condiciones geográficas de la conducción, grado de aceleración, etc.

- Grados diversos de transformación atmosférica dependiendo de las condiciones meteorológicas subyacentes
- Inexistencias de componentes específicas de las ED, ya que todos ellos también son generados y emitido por multitud de otros focos contaminantes antropogenicos
- Las diferentes susceptibilidades individuales para metabolizar (neutralizar, bloquear, detoxificar y eliminar) cada sustancia química de las ED
- Las insuficientes determinación y cuantificación, cuando es posible, de los numerosos factores confundidores que influyen modifican y determinan cada efecto o resultado especifico en la salud humana

También los resultados obtenidos en animales de experimentación no pueden ni deben extrapolarse a los humanos, como también sucede en los estudios toxicológicos de cualquier sustancia contaminante medioambiental. A pesar de todas la limitaciones metodológicas teóricas y prácticas comentadas hay acumulada suficiente evidencia científica sobre los efectos adversos en la salud humana, asociados a las ED. Los resultados se han obtenido principalmente del estudio y seguimientos de las personas profesionalmente expuestas: conductores de camiones, de maquinaria elevadora-transportadora – perforadora, y de otras maquinarias pesadas; mineros, mecánicos, vigilantes de garajes, etc. Las exposiciones son fundamentalmente por inhalación de ED, siendo de menor importancia la vía digestiva secundaria a su depósito en alimentos y finalmente por la absorción transtermina. Desde la perspectiva estrictamente científica existen dudas considerables respecto a que componente afecta en mayor grado la salud humana, pero se considera razonable, a la luz de los acontecimientos actuales, otorgar a las partículas finas y ultra finas el mayor protagonismo en los efectos adversos seguidos en un segundo plano a los sulfuros, NO_x, aldehídos y HPA (Hidrocarburos poli cíclicos aromáticos). El material particulado fino es el que logra escapar de los filtros.

Efectos adversos agudos

Las evidencias científicas obtenidas en estudios humanos y en animales indican que las exposición agudas o a corto plazo a las ED en altas concentraciones pueden inducir irritación ocular, nasal y faríngea, así como respuestas inflamatorias en las vías respiratoria y pulmonar. También producen efectos alergénicos e inmunológicos.

Efectos adversos crónicos

En animales de experimentación se ha demostrado consistentemente una relación dosis dependiente con el desarrollo de tumores pulmonares benignos y malignos. La relación

disminuye o desaparece cuando se exponen únicamente a los componentes de la fase gaseosa previa filtración y eliminación de las partículas. Como se mencionó anteriormente las evidencias en animales proporcionan ayudas adicionales para identificar riesgos potenciales cancerígenos en humanos, pero no se consideran válidas ni para la estimación de riesgo ni para los consiguientes análisis de dosis respuesta. Numerosos test in vitro usando bacterias, células de varias especies animales y líneas celulares humanas, demuestran que los componentes y extractos particulado inducen aberraciones cromosómicas, aneuploidías, intercambios de cromatides y mutaciones genéticas. También existen evidencias humanas sugestivas de la biodisponibilidad de las substancias muta génica de las ED, habiéndose demostrado niveles elevados de alteraciones del ADN en linfocitos de trabajadores expuestos.

Para los trabajadores profesionales con mayor exposición y con tiempo de exposición de 20 años o más se detectó un incremento en el riesgo de cáncer de pulmón. La IARC (de la OMS) catalogo a las ED como 2 A, “probablemente cancerígenas en humanos”. El segundo nivel de mayor riesgo.

Otros efectos

Estudios en animales demuestran que la inhalación prolongada de las ED producen daño pulmonar no cancerígeno, con engrosamientos de las paredes alveolares, progresiva sustitución de las células alveolares tipo I por tipo II, y fibrosis. Los compuestos implicados son las partículas y las sustancias orgánicas absorbidas. Algunos de los pocos estudios epidemiológicos humanos sugieren que las ocupaciones con exposición a las ED pueden disminuir la función pulmonar, con enfermedades restrictivas de las vías aéreas inferiores. Las limitaciones metodológicas de los estudios disponibles no permiten obtener conclusiones firmes entre la exposición crónica a ED y otros efectos respiratorios no cancerígenos.

2.7 Datos técnicos de colectivos actuales

En esta sección se establecerán las características técnicas del colectivo promedio que circula por la ciudad de Buenos Aires. Estos datos luego serán utilizados como base para generar la alternativa propuesta.

A continuación se detallan los datos técnicos de los 3 modelos de chasis que fabrica la firma Mercedes Benz en la Argentina, estos son los chasis favoritos por los especialistas del transporte (Fuente Foro Transporte). Adicionalmente los chasis de esta firma fueron los más vendidos durante el 2010 representando el 63% del total de chasis para colectivos urbanos vendidos (Fuente Asociación de Concesionarios de Automotores de la República Argentina, ACARA). Según un estudio realizado por la Universidad Tecnológica Nacional los chasis Mercedes Benz representan el 76% de los chasis en circulación.

Modelo Motor	MB OM-904 LA, con mando electrónico Euro III
Tipo	4 cilindros verticales en línea, turbocooler
Potencia máxima	(ISO 1585) 130 kW (177 cv) a 2.200 rpm
Par motor máximo	(ISO 1585) 675 Nm (69 mkgf) de 1.200 a 1.600 rpm
Cilindrada total	4.249 cm3
Consumo específico	205 g/kWh (151 g/cvh) a 1.400 rpm
Peso Bruto Vehicular (PBV)	16
Velocidad máxima (km/h)	108
Pendientes superables máximas: con 16.000 kg (%)	36

Tabla 2.7.1: Características del Chasis Mercedes Benz OH1618

Modelo Motor	MB OM 904 LA
Tipo	4 cilindros verticales en línea, turbo post-enfriado
Emisiones (norma)	Euro III
Potencia máxima DIN (KW / CV / rpm)	130/177/2200
Par motor máximo DIN (Nm / Kgm /	675/69/1200-1600

rpm)	
Cilindrada total (cm3)	4249
Consumo esp. (gr / kwh - gr / cvh / rpm)	205/151/1400
Abastecimiento (Lts.)	300
Peso Bruto Total (PBT)	15000
Velocidad máxima (Km / h)	113
Capacidad máxima en pendientes con 15.000 Kg (%)	23

Tabla 2.7.2: Características del Chasis Mercedes Benz XBC 1518 PA

Peso bruto vehicular (PBV)	13.500
Modelo Motor	Mercedes-Benz OM - 904 LA
Tipo	4 cilindros verticales en línea, turbo post-enfriado
Emisiones (norma)	EURO III
Potencia máxima DIN (KW / CV / rpm)	110 / 150 / 2.200
Par motor máximo DIN (Nm / Km / rpm)	580 / 59 / 1.200 - 1.600
Cilindrada total	4.249 cm^3
Consumo esp. (gr / kwh - gr / cvh / rpm)	210 / 154 / 1.300 - 1.400
Abastecimiento (Lts.)	150
Velocidad máxima (Km / h)	103
Capacidad máxima en pendientes con 13.500 Kg (%)	21.5

Tabla 2.7.3: Características del Chasis Mercedes Benz OH 1315-52 CA Euro III

Tomando los valores promedio se obtiene:

Velocidad Máxima Promedio (Km/h)	108

Peso Bruto Promedio (Kg)	14.833
Potencia Máxima Promedio (kW)	123
Par Máximo Promedio (Nm)	643
Abastecimiento Promedio (lts)	225
Consumo Especifico Promedio (gr /kWh)	207

Tabla 2.7.3: Valores promedio de las características técnicas relevantes

Un consumo específico de 207 g/KWh implica una eficiencia energética de aprox. 12% para el motor (tomando energía del diesel promedio de (40 Wh /Kg). Con un consumo de 2,2 Km / L se obtiene una autonomía promedio de 500 Km, con un peso de combustible máximo de 187,2Kg. Lo que implica que la energía necesaria para esa autonomía es de 900Kwh. Según datos de la CNRT un colectivo recorre en promedio por día 207 Km. Datos que serán fundamentales para su comparación con la alternativa eléctrica que se desarrollara en este trabajo.

En cuanto a las carrocerías la concentración no es tan fuerte, siendo las tres principales Metalpar, La Favorita y El Detalle, con 27%, 13% y 4%, respectivamente. Es importante destacar que El Detalle cerró sus puertas y pertenece ahora al grupo DOTA. Tomando gran parte del mercado actual que esta dejó vacante la firma Metalpar. Los modelos comercializados por esta firma poseen dos o tres puertas y varia la cantidad de asientos desde los hasta 29 el modelo con 3 puertas y hasta los 45 asientos en el modelo con 2 puertas.

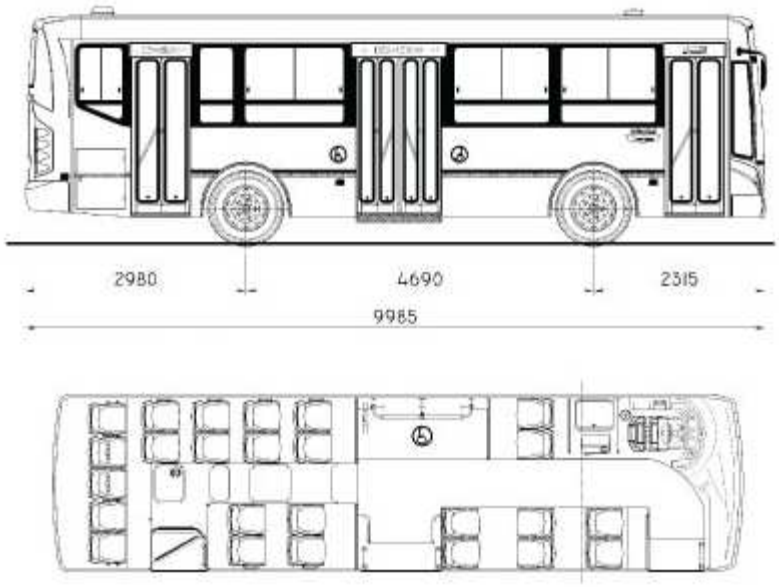

Figura 2.7.4: Carrocería Metalpar 3 puertas modelo Agrale MT-12.0 LE.

En los últimos tiempos se incorporaron al mercado carrocerías acopladas con fuelles que aumentan significativamente la cantidad de pasajeros a transportar. Uno de estos modelos tiene una capacidad de 64 pasajeros sentados.

Figura 2.7.5: Carrocería Metalpar Mercedes Benz BA 2522 MD Articulado

2.8 Casos de éxito

Actualmente se está masificando la producción de vehículos eléctricos ligeros para uso doméstico y comercial con gran éxito. Son tecnologías que utilizan baterías de Iones de Litio o variantes Ni-Cd o Ni – Mhya sea como fuente principal o como adicional a un motor a gasolina. Los mercados que se están desarrollando se encuentran principalmente en Europa y los Estados Unidos, donde existen incentivos impositivos para la adaptación de tecnologías limpias. También existen diversos prototipos de colectivos eléctricos a baterías en funcionamiento, pero su producción dista mucho de ser masiva. La alternativa más cercana se encuentra en Inglaterra, la firma Smith fabrica utilitarios medianos con capacidad de carga de hasta 7 toneladas.

Clasificación de Vehículos Eléctricos

La intención de mostrar aquí los casos de éxito radica en mostrar las posibilidades que en este momento se están discutiendo en el mundo acerca del transporte urbano con soporte eléctrico.

Para tener una idea más acabada de los tipos de vehículos respecto de su fuente de energía se procederá a dar una clasificación. Las denominaciones varían principalmente por cuestiones comerciales. Para simplificar se adoptara la misma convención que utiliza el estado de Vancouver, Canadá.

- **Vehículo Eléctrico: EV** (Electric Vehicle), Vehículo que utiliza un motor eléctrico en lugar del tradicional de combustión interna.
- **Vehículo Eléctrico a Batería: BEV** (Battery Electric Vehicle), Vehículo eléctrico cuya única fuente de energía es una batería.
- **Vehículo Eléctrico Hibrido: HEV** (Hybrid Electric Vehicle), Vehículo eléctrico que usa un motor de combustión interna adicional al motor eléctrico.
- **Vehículo Eléctrico Hibrido Enchufable: PHEV** (Plug-In Hybrid Electric Vehicle), es un tipo de HEV que posee una batería de gran potencia que puede ser cargada a través de un toma corriente.
- **Vehículo Eléctrico a Celda de Potencia: FPEV** (Full Performance Electric Vehicle), un EV que utiliza celdas de potencia (Fuel Cell) como fuente de energía en lugar de una batería.
- **Vehículo de combustión interna a Hidrogeno: H2CV** (HydrogenInternalCombustionEngine), Vehículo que utiliza como combustible hidrogeno.

- **VehiculosElectricos Limitados: CEV** (City Electric Vehicle), **NEV** (Neighbourhood Electric Vehicle), **NZEV** (Neighbourhood Zero EmissionVehicle) y **LSV** (LowSpeedVehicle); son vehículos eléctricos a batería con aceleración y velocidad limitada.
- **VehiculoElectrico con Celdas de Potencia Auxiliares: FCAPUV** (Fuel CellAuxiliaryPowerUnitVehicle), Vehículo alimentado con Celdas de potencias de óxidos solidos con electrolito de un material cerámico sólido.

Colectivos de Tipo BEV

La fabricante británica de colectivos Optare fabricó en 2009 un prototipo operacional de colectivo eléctrico a batería basado en uno de sus modelos diesel. Este prototipo utiliza un motor de inducción EnovaSystems P120 de 120 kW alimentado por dos bancos de baterías del proveedorValence de Fosfato – Ion de Litio. Los dos bancos trabajan en paralelo y proveen 307V con una capacidad total de 80kWh. Las baterías están almacenadas en dos cajas de acero a cada lado del motor para mejorar la distribución del peso. Para extender la autonomía del vehículo hasta un 150% se consideró agregar un tercer banco de baterías bajo el suelo o sobre el techo. La carga de las baterías completa demora menos de 8 horas, también pudiendo recibir recargas intermedias. El cargador se encarga de ecualizar la batería para que la duración de la misma sea óptima.

La firma Proterra, basada en el Estado de California, Estados Unidos, fabrica y comercializa su colectivo eléctrico Eco Ride BE35, un vehículo con una carrocería de materiales compuestos que reducen su peso entre un 20% y un 40% sobre un colectivo de acero y aluminio. Tiene un sistema de carga rápida que le permite cargar las baterías de litio ion en menos de 10 min. Este sistema comercializado como TerraVolt consiste en celdas agrupadas en módulos de 23V agrupados a su vez en 8 módulos por paquete que luego son almacenados en el techo o debajo del piso del vehículo. Adicionalmente las baterías pueden ser alimentadas por generadores de potencia auxiliar (APU, Auxiliar PowerUnit) a GNC, celdas de potencia o generadores diesel. El motor de los colectivos Proterra tiene una potencia pico de 150kW, pero con una potencia consumida promedio de 100kW, proveyendo un torque de hasta 650Nm. Para que el vehículo pueda mantener el motor funcionando a una potencia óptima, es decir que consuma la menor cantidad de energía posible, se equipó el mismo una caja de cambios que logra una eficiencia tanto del motor como del sistema de regeneración del 92 al 95%. Las baterías de los colectivos Proterra son provistas por la firma Altair Nano, con la que firmaron un convenio de exclusividad.

La firma Holandesa eTraction entregó a la ciudad de Rotterdam en junio de 2010 un vehículo eléctrico a batería con sistema de potencia auxiliar. Este tiene la particularidad

de utilizar un motor sincrónico con imanes permanentes incorporado dentro de las ruedas, en las que también están incorporados los inversores de corriente. Este sistema conocido como “Hub” es llamado comercialmente por la firma como TheWeel. El sistema abarca todo el eje y está especialmente diseñado para proveer momentos altos (de 3000 a 3750 Nm), necesidades que surgen al escalar barrancas empinadas. Para poder proveer la carga necesaria cuenta con un pack de baterías de Li Ion fabricadas por Valence. El pack usa 12,8V y tiene una carga de 138Ah pudiendo proveer una descarga máxima de 300 A. Estas tienen celdas de tecnología de Litio Hierro Fosfato de Magnesio con una energía especifica de 91 Wh/kg y una densidad de 148 Wh / litro. El eBusz, nombre comercial de este colectivo eléctrico, cuenta en su diseño con un generador diesel como APU. Tanto este como los sistemas de soporte (compresores, etc.) están ubicados en un compartimento aislado sonoramente que puede ser extraído y reemplazado por otro igual.De esta manera en caso de falla de alguno de estos sistemas secundarios estos pueden ser reemplazadospudiendo el eBuszestar de vuelta en servicio en menos de 1 hora.

BYD lanzó una flota de colectivos eléctricos eBUS-12 en Shenzhen y Changsha, China en enero de 2011. A Abril de este año acumulaban más de 46.000 Km recorridos exclusivamente con baterías detecnología Litio – Ion – Hierro - Fosfato, mientras estas recargaban 324 kWh en menos de 3 horas. Para agosto 300 buses eléctricos adicionales serán agregados a la flota.

El gobierno metropolitano de Seúl, Corea, empezó a utilizar para recorridos circulares colectivos eléctricos a finales de 2010. Pensando en convertir el 50% de su flota, aproximadamente 3800 unidades, para final de 2020. Para ello firmo un acurdo con la firma local Hyundai para fabricar las unidades. Estas unidades pueden recorrer hasta 83 km con una sola carga y pueden ser recargados completamente en menos de 30 minutos con un cargador de baterías de alta velocidad. El colectivo eléctrico tiene una velocidad máxima de 100 Km/h y cuenta con un motor de 240 kW. Cuenta, además, con una batería de Litio Ion de alta capacidad, frenos regenerativos y una carrocería de un material compuesto de carbono que reduce considerablemente el peso del vehículo mientras a su vez aumenta su durabilidad.

RAC Electric Vehicles, una firma taiwanesa, provee buses de piso bajo eléctricos a batería desde 2009. Cuenta con una autonomía de 300 km, transporta hasta 70 personas, viaja a una velocidad de hasta 90km/h y se recarga completamente en menos de 2 horas con un cargador de 300A. Las baterías tienen una vida útil de 3000 ciclos o el equivalente de 500.000 Km en ciudad.

Vehículos Tipo EV: Trolebuses

El trolebús es la forma más económica de convertir un colectivo a eléctrico. Existen en la actualidad 346 sistemas de este tipo alrededor del mundo. El 80% funcionando el Europa y en el territorio de la ex Unión Soviética. 10 de estos sistemas funcionan en Sudamérica.

Los trolebuses de segunda generación utilizan inversores eléctricos para un mejor control de la potencia. Estos inversores convierten la CA en CC para luego volver a transformarla en CA para alimentar el motor. Lo trolebuses de tercera generación cuentan con motores con imanes permanentes incorporados en las ruedas, sistema Hub. Esto elimina la necesidad de la transmisión y de una caja reductora.

En Roma, Italia los trolebuses cuentan con un respaldo de baterías de Níquel – Metal – Hidruro para recorrer el casco histórico de unos 3 Km. En Shanghái, China funcionan desde 2006, 14 trolebuses con un respaldo de ultra capacitores para recorrer 5 km. Se espera que esta flota cuente actualmente con por lo menos 5 unidades adicionales. En Dresden, Alemania, un proyecto del Instituto Franhouserfabricó trolebuses con respaldo de baterías y ultra capacitores. Estos últimos fabricados por la firma Maxwell.

III. ALTERNATIVA

UNA ALTERNATIVA ELECTRICA PARA EL TRANSPORTE URBANO EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

3.0 Introducción

La elección de un vehículo de emisiones basa su análisis en la no dependencia de combustibles fósiles. Alternativas como las ya aplicadas de vehículos híbridos no son sostenibles a largo plazo. Adicionalmente esta alternativa solo soluciona en parte los problemas de eficiencia pero no es una solución de fondo a los problemas ocasionados por las emisiones.

Una alternativa como el trolebús es también viable desde el punto de vista ambiental, pero no aporta a la independencia de recorrido e inversión que lograría una empresa privada. Ya que el trolebús requiere de una inversión e instalación dentro de la ciudad y limita su uso a la misma. No se descarta una opción intermedia entre un trolebús y un BEV. Ya que esta solución reduciría considerablemente el tamaño de las baterías necesarias sin perder independencia. De esta manera este hibrido pagaría un canon por el uso de la red cuando circulase por los caminos habilitados a tal fin. Estos caminos pueden ser avenidas con carriles exclusivos como los ya implementados en la ciudad. En caso de el recorrido no contar con tendido aéreo para recarga el vehículo dependerá exclusivamente de su sistema de baterías.

Para estimar los requerimientos técnicos, y no existiendo un modelo comercial disponible, se tomó como referencia las características técnicas mostradas anteriormente de los vehículos diesel que circulan en la actualidad.

Cálculo Preliminar

Tomando como referencia los valores promedios aquellos parámetros de los colectivos más populares se puede estimar la potencia necesaria del motor y la batería necesaria.

Un colectivo promedio debe transportar como máximo 14,83 toneladas, con un motor de una potencia máxima de 123 KW. Estos tienen una eficiencia energética del 12% y un rendimiento promedio de 2,2 Km / litro de combustible. Como cuentan con un tanque de 225 litros resulta en una autonomía de 500 Km. Tomando una energía especifica de 40 KWh / kg de combustible y una densidad de 0,832 kg / litro de combustible Diesel se tiene una cantidad energía bruta de 7488 KWh, de los cuales solo son aprovechados el 12%, es decir 913 KWh. Un motor eléctrico por su parte aprovecharía el 70% de esta energía, lo que implica que requeriría para realizar 500 Km de 1300 Kwh o 2,6 KWh / Km.

Las baterías consideradas poseen energías específicas de entre 90 y 100 Wh/Kg. Lo que implica que para recorrer 100 Km se requieren entre 2600 Kg y 2888 Kg de batería. Ahora bien, la distancia recorrida promedio por día por colectivo es de 207 Km (Fuente CNRT). Es decir que con 4 cargas por día se requeriría de aproximadamente entre 1300 Kg y 1400 Kg de baterías. Este número en realidad es ligeramente mayor ya que las cargas intermedias (cargas rápidas) solo permiten la carga del 80% de la batería, lo que

implica que con 4 cargas equivalentes al 85 % (3 al 80% y la 4ta al 100%) da como resultado baterías de entre 1530 Kg y 1650 Kg.

3.1 Elección de las baterías

Una batería es un medio de almacenamiento de energía eléctrica. Para ello se transforma energía química en energía eléctrica. Que luego es convertida por el motor en energía mecánica. Existen dos clasificaciones principales de batería. Las baterías primarias son aquellas que pueden ser utilizadas una sola vez, es decir la reacción dentro de la misma funciona prácticamente en un solo sentido. El segundo tipo es el de baterías secundarias o recargables. En estas las reacciones dentro de la misma son reversibles.

Existen dos opciones. Encontrar una batería primaria con una capacidad increíblemente alta, económica, segura y liviana. O en su defecto que pueda ser reemplazada con facilidad. Esta opción no es actualmente viable. Por lo tanto este proyecto se basará la opción alternativa de utilizar baterías secundarias. Estas como se verá tienen una vida útil marcada por la cantidad de veces que la reacción puede ser revertida, conocida como ciclos de carga y descarga. A mayor cantidad de ciclos mayor será la vida útil de la misma. Hay una relación directa entre la capacidad de la batería para almacenar energía y su tamaño. Una batería con una alta densidad de energía será una mejor alternativa que una de con menor densidad, hecho que sobresale debido a que al tratarse de un vehículo, una batería de mayor peso limita la carga útil y reduce su eficiencia al utilizar una parte de la energía de las baterías para transportar las mismas.

Hay que considerar adicionalmente el impacto ambiental de la tecnología a aplicar. Estas deben poder ser depuestas con seguridad al finalizar su vida útil. Considerando que la idea del proyecto radica, en parte, en la escalabilidad de la solución. De esta manera una batería extremadamente eficiente que una vez cumplido su ciclo no pueda se desechada con seguridad debe ser descartada. Otro punto importante es la inocuidad de la misma en caso de accidentes que puedan causar que sus elementos queden expuestos. Como se trata de un transporte urbano para zonas de altas densidad poblacional estas deben cumplir con un criterio de seguridad adicional.

Por último los materiales con los que son fabricados deben tener buena disponibilidad y reserva.

3.2 Baterías recargables

Las baterías recargables son baterías secundarias. Las más utilizadas son las baterías Plomo Acido, y Níquel Oxido. Las primeras utilizan Plomo – Dióxido de Plomo como par electroquímico y acido sulfúrico como electrolito. Las segundas tienen un electrodo negativo de Cadmio o Hierro en conjunto con un electrodo positivo de Hidróxido de Níquel y un electrolito de Hidróxido de Potasio (Alcalino). Las baterías de Cadmio – Níquel – Oxihidroxido (Cd-NiOOH) y Hierro- Níquel – Oxihidroxido (Fe-NiOOH) se conocen comercialmente como Níquel Cadmio o Níquel Hierro respectivamente.

En los últimos años cobraron importancia las baterías de Níquel Metal y Litio Ion.

Existen también baterías secundarias basadas en Zinc Níquel, Plata Zinc. Pero ya sea por precio en la primera, vida útil y cantidad de ciclos en los que pueden ser utilizadas en la segunda no son consideradas a los efectos de este trabajo.

Una batería secundaria se espera pueda resistir al menos 500 ciclos de carga y descarga (generalmente mas) para ser comercialmente viable. Para un vehículo los ciclos no pueden ser menores a los 1000. Químicamente hablando, se espera que las reacciones en el electrodo sean completamente reversibles por el número deseado de ciclos. El problema principal se encuentra en que la mayoría de las baterías poseen electrodos de materiales solidos y electrolitos líquidos. Además las reacciones del electrodo implican difusión de estado solido, lo que resulta en cambios de fase y recristalización.

Desde el punto de vista de la química de estado solido, el requerimiento de revertir las reacciones cuantitativamente cientos o miles de veces es extremadamente demandante. Estas especificaciones se vuelven aparentes cuando se consideran las muchas reacciones paralelas que resultan en un deterioro de la batería o su falla:

- Densificación del material activo con pérdida de porosidad.
- Expansión y pérdida de material activo de las placas del electrodo.
- Formación progresiva de fases inactivas, las cuales aíslan eléctricamente regiones de material activo.
- Crecimiento de agujas metálicas en el electrodo negativo, lo que puede causar cortocircuitos internos.
- Burbujeo en las placas de los electrodos en una sobrecarga, que causa efectos disruptivos.
- Corrosión de los colectores de corriente, lo que resulta en un aumento de la resistencia interna de la batería.
- Secado del separador a través de un sobrecalentamiento.

Estas degradaciones pueden causar en una falla súbita de la batería debido a un cortocircuito interno o una perdida progresiva de la capacidad y rendimiento de la

misma. Generalmente las causas del deterioro son interactivas y acumulativas. Implicando que cuando una batería empieza a fallar, rápidamente se acelera el proceso y la batería se vuelve inutilizable.

En el Anexo se pueden encontrar la evolución, descripción y características de las principales tecnologías de baterías disponibles hasta el momento.

A continuación se detalla la descripción y evolución de las tecnologías actuales mas viables para la aplicación en tracción.

3.3 La batería de ion de Litio

El origen de la batería de Litio Ion yace en el descubrimiento de que iones de litio pueden ser intercalados dentro de la estructura cristalina de óxidos de cobalto o níquel para dar compuestos $LiCoO_2$ y $LiNiO_2$ respectivamente. Cuando esto electrodos óxidos fueron utilizados como positivos contra negativos de litio metálico en un electrolito orgánico resulto un celda de 4V. Este descubrimiento fue seguido de que se podría utilizar dos electrodos de intercalación con una tensión tan alta. Uno positivo y otro negativo, con iones de litio viajando de atrás a adelante de uno al otro. Esta celda, la celda de Litio Ion no contiene litio metálico y es por lo tanto más segura en la recarga que las de diseño litio metal. El uso de un compuesto de intercalación como electrodo negativo resulta inevitablemente en una pérdida de tensión. Sin embargo se puede perder hasta un voltio y todavía mantener una tensión muy aceptable de 3V.

Pronto se encontró que el mejor anfitrión para un electrodo negativo era el carbón, formado a partir de grafito o un material amorfo con una alta superficie como el coque. La intercalación de químicos entre planos de grafito es largamente conocida. Experimentos mostraron que el grafito es capaz de albergar litio hasta una composición de LiC_6. La tensión respecto de un electrodo de Litio de referencia varía desde cero para el LiC_6 totalmente intercalado hasta casi 1V para grafito con todo el litio removido. El uso de carbón es idea en dos aspectos. Primero es un material disponible y económico de baja masa. Segundo, el carbón toma una cantidad respetable de litio con una tensión en el rango justo de manera tal que apareado con el óxido de un metal de transición como electrodo positivo da como resultado una celda con una tensión que arranca en 4V cuando está completamente cargada y declina a 3V durante la descarga.

El carbono puede ser obtenido de diferentes orígenes, grafito, coque de petróleo, bloques de carbón. Los diferentes orígenes del carbón varían su habilidad de intercalar iones de litio.

Durante la intercalación, el electrolito sufre una descomposición parcial, que es asociado con la expansión y exfoliación del grafito. Los productos de la descomposición son absorbidos en el grafito para formar una capa superficial pasivante que inhibe una mayor descomposición. Electrodos de coque, aunque tienen menor capacidad que el grafito tienen la ventaja de ser menos sensibles a la naturaleza del electrolito utilizado y permiten el uso de electrolitos de mayor conductividad. Sin embargo la mayoría de las celdas actuales utilizan electrodos de grafito ya que entregan una curva de descarga más plana.

La mayoría de las celdas de litio ion comerciales utilizan electrodo positivo de óxido de cobalto. Estos probaron ser los más satisfactorios técnicamente, aunque a su vez son los más costosos. Con este electrodo la máxima cantidad de iones de litio que puede ser des intercalados por cada molécula de $LiCoO_2$ es 0,45.

El electrodo positivo más económico está basado en oxido de níquel, usado por algunos fabricantes, tiene un proceso más complejo de intercalación – des intercalación que involucra sutiles reacomodamientos estructurales. Sin embargo se comporta satisfactoriamente. Cuando cualquiera de los dos electrodos mencionados se combina con un electrodo negativo de LiC_6 se obtiene una celda de tensión nominal de 3,6V. Es decir en términos de tensión únicamente una celda de litio ion equivale a tres celdas Ni-Cd.

Otros posibles electrodos positivos están basados en oxido de manganeso. LiMno y $LiMn_2O_4$. Este último tiene una estructura espinal $Li[Mn_2]O_4$. Cuando los iones de litio son des intercalados del mismo, es decir correspondiendo a la oxidación del Mn^{3+} a Mn^{4+}, una celda de 4V es obtenida contra Litio metal. Sin embargo si iones de litio son insertados en $LiMn_2O_4$ moviéndose en la dirección del $LiMnO_2$ resulta una celda de 3V. Esta transferencia de litio fuera y dentro de la estructura causa sutiles y complejos cambios en la detallada estructura cristalográfica. Es por lo tanto difícil de preparar compuestos de manganeso en forma reproducible. Una situación mucho más compleja que con $LiCoO_2$ o $LiNiO_2$. Por otro lado el Manganeso es ampliamente disponible y es mucho más económico que el Níquel o el Cobalto y es no toxico. La creación de electrodos positivos de magnesio satisfactorios para baterías secundarias está siendo investigada.

Los atributos del litio Ion pueden ser resumidos como sigue:

- Alta energía, energía especifica 125 Wh/kg, energía volumétrica 300Wh/dm^3
- Alta tensión operativa (3,6V)
- Excelentes características de carga y descarga con más de 500 ciclos.
- Una autodescarga aceptable en desuso (menor al 10% mensual).
- No tienen efecto memoria como las baterías de Níquel Cadmio.
- Fácil determinación del estado de carga gracias a su curva de descarga convexa.
- Mucho más seguras que celdas equivalentes de litio metal.
- Recarga rápida es posible.

Como con todas las baterías estas tienen algunos aspectos no deseados. Por ejemplo, el reemplazo de litio metal por C_6Li en el electrodo negativo produjo una pérdida sustancial de energía específica. Esto para lograr una mayor vida útil y utilización más segura. Sin embargo un extremo cuidado debe mantenerse en controlar las condiciones de carga, especialmente el tope de tensión de carga que no debe exceder los 4,2V para $LiCoO_2$ o 4,1V para $LiNiO_2$.

Otro característica a tener en cuenta es la sobrecarga o su calentamiento sobre los 100ºC ya que resulta en la descomposición de los electrodos positivos cargados (bajos valores de Li_x) con la liberación de oxigeno gaseoso. Li_xNiO_2 deja $LiNiO_4$ (un Spinel), mientras

que Li_xCoO_2 deja Co_3O_4. No solo la descomposición de la celda arruina la celda sino que además la liberación de oxigeno gaseoso puede ser peligroso si la celda no ventila correctamente.

La carga de celda de litio ion es realizada a corriente constante hasta que el tope de tensión es alcanzado aproximadamente al 80% de la capacidad de carga. Luego la carga continua a tensión constante hasta que declina a un valor bajo. La celda está cargada después de 2 o 3 horas. La carga debe realizarse a temperaturas entre 0ºC y 40ºC. Un cuidado particular es necesario cuando celdas de litio ion son utilizadas en serie o en paralelo en una batería puesto que, sobrecarga e inversión de celda, pueden causar problemas de seguridad. Circuitos de protección de la batería son recomendados y son generalmente incluidos por los fabricantes. Típicamente un transistor de efecto de campo es abierto se abre si la tensión excede los 4,3V y un fusible actúa si la temperatura de la celda sube demasiado. Un sistema similar es instalado, si la presión dentro de la celda supera un límite superior, un interruptor de presión corta la corriente.

Para uso en vehículos de tracción eléctrica se fabrica módulos de 950 Wh que contienen seis celdas de 44Ah ordenadas en tres diferentes configuraciones serie – paralelo. Módulos mas grandes también fueron fabricados, por ejemplo un sistema de 2,9 Kwh compuesto de ocho celdas de 100Ah con electrodos positivos de $LiCoO_2$ dando como resultado una energía especifica de 100 Wh/kg , una densidad de energía de 160 Wh / dm3 y una potencia especifica de 300 W / kg con una vida útil de 1200 ciclos.

Al utilizar paquetes de baterías de gran magnitud se debe considerar que las celdas de litio ion no contiene mecanismos de transferencia para prevenir sobrecargas, desbalanceo dentro de una línea de celdas puede conducir a sobrecargas, que en su lugar resulta en corrosión, ciclo de vida reducido y problemas de seguridad. Similarmente un desbalanceo puede llevar a una sobredescarga que agrava aún más el desbalance y puede producir una sobrecarga mayor durante el siguiente ciclo de carga. Por esta razón son imprescindibles los mecanismos de seguridad anteriormente mencionados.

3.3 Baterías de Sodio-Metal-Cloro (Zebra)

La batería de sodio metal cloro es un derivado de la batería de sodio azufre en la cual el electrodo positivo de azufre es reemplazada por una de níquel cloro o por una mezcla de níquel cloro ($NiCl_2$) y cloruro ferroso ($FeCl_2$).

El electrodo negativo y el electrolito de beta alúmina son los mismos que en la batería de sodio sulfuro. La batería de sodio metal cloro fue concebida en los primeros años de los 80s a través de colaboración entre científicos trabajando en el Reino Unido y en Suráfrica. Fue conocida como la batería Zebra. Parte del equipo había trabajado en la celda sodio azufre así que el desarrollo fue comparativamente rápido. En 1984 el primer vehículo fue alimentado por una batería Zebra en una carrera.

Los primeros intentos de ensamblar la celda en un estado cargado no fueron exitosos. Pronto se encontró que la forma de ensamblar la celda era en estado descargado con el electrodo positivo preformado a partir de una mezcla de un polvo metálico (níquel o hierro) y una sal común (NaCl). En la carga de la celda estos químicos fueron convertidos en los correspondientes cloruros de metal en el compartimento del electrodo positivo y sodio en el compartimento del electrodo negativo. Este procedimiento dio los siguientes beneficios: Primero no fue necesario manejar sodio líquido que es formado in situ, segundo el sodio preparado por difusión a través del beta alúmina es ultra puro y tercero los materiales brutos son muy económicos. Luego fue encontrado que era ventajoso construir la celda con un electrodo positivo central, es decir con materiales iniciales solidos dentro del tubo electrolito y el sodio generado en el anillo formado entre el tubo de beta alúmina y la coraza de la celda. Esta última puede ser hecha de un acero ligero que es compatible con sodio fundido.

Experimentos fueron conducidos con ambos electrodos: Cloruro de Hierro y Cloruro de Níquel. Pese a que el hierro es más económico que el níquel se descubrió que las celdas de níquel presentaban menos complicaciones y podían ser operadas en un rango más amplio de temperatura (200 a 400°C) que las celdas de hierro (200 a 300°C). Consecuentemente la atención fue centrada en las primeras.

El problema surge en la interface electrodo positivo – electrolito, principalmente ocurre que ambos componentes son sólidos y el contacto entre ellos es inadecuado para mantener un flujo de corriente alto. Esta restricción en el rendimiento superar introduciendo un segundo electrolito, un líquido, para mejorar el contacto iónico entre los dos sólidos. Cloraluminato de Sodio ($NaAlCl_4$) fundido fue elegido como electrolito. Cuando la celda es ensamblada la sal fundida simplemente es vertida dentro del compartimento del electrodo positivo e impregna la masa porosa de níquel y cloruro de sodio. El exceso de líquido forma un fino anillo entre el electrodo y la pared interna del tubo de beta alúmina. El $NaAlCl_4$ es un componente vital pero su masa adicional baja la energía especifica de la batería ZEBRA cerca de un 10%.

Una de las ventajas de la celda de sodio níquel cloro sobre su equivalente de sodio azufre es que esta tienen la previsión intrínseca de una reacción de sobrecarga como de una reacción de sobredescarga. A la máxima capacidad de carga, cuando todo el cloruro de sodio solido fue descompuesto la sobrecarga resulta del acabado de iones de sodio en la fundición y una discontinuación del cloronizado de la matriz porosa de níquel. La sobredescarga también involucra una reacción reversible con el cloro aluminato de sodio. La importancia de estas reacciones de sobrecarga y sobredescarga es que hacen posible aparear celdas en cadenas en serie individuales sin la necesidad de conexiones en paralelo y balancear cedas de capacidad ligeramente diferente.

La segunda mayor ventaja del sistema sodio níquel cromo está en el área de la seguridad. Prueba extensivas mostraron que estas celdas y baterías son seguras bajo casi cualquier condición de uso y abuso. Por ejemplo si el electrolito de beta alúmina se quiebra el sodio fundido encuentra primero el electrolito de $NaAlCl_4$ y reacciona con este. El polvo de aluminio resultante asegura que la celda no logra el corto circuito sino más bien se llega a un circuito abierto, mientras que el cloruro de sodio solido tiende a tapar la rajadura. En una cadena en serie de celdas esto resulta simplemente en la perdida de una unidad de 2V y la batería continua operando.

Una batería Zebra de alta capacidad fue construida usando miles de celdas de 40Ah de capacidad y ensambladas en una batería. Detalle del diseño de la celda cambiaron a medida que el trabajo progresaba. Por ejemplo versiones más recientes utilizan embalajes para celdas de sección cuadrada para mejorar la densidad de embalaje en la aislación térmica y de esa manera maximizar la capacidad de la batería. Una batería especial con una cobertura térmica con doble pared, evacuada fue hecha de acero inoxidable fue construida como contenedor de la batería. El espacio entre las paredes fue rellenado por una aislante liviano y rígido para prevenir el colapso de las finas hojas de acero. A la temperatura operativa de la celda (del orden de los 400°C) la capa exterior del contenedor es solamente 10 a 20°C mayor que la temperatura ambiente y la perdida de calor en una batería tamaño vehículo es de 100 a 300 W.

El tamaño de la batería depende del vehículo a propulsar. Una batería típica de 17KWh contiene 220 celdas. Las baterías más modernas son más amplias de 29kWh. Estas baterías para vehículos tienen una energía especifica de aprox. 100Wh/kg y una densidad de energía de 160 Wh / dm^3, valores que son suficiente para cumplir con el rango diario de un automóvil de ciudad. En la parte de deuda de esta batería se encuentra su comparativamente baja densidad de potencia. La potencia específica es de 150W/Kg a carga completa pero declina durante la descarga. La limitación en rendimiento surge del grueso del electrodo positivo y el marcado incremento de la resistencia interna de la celda durante la descarga. Las baterías demostraron que cumplen con los objetivos de vida media de por lo menos 5 años en servicio en una vehículo y 600 ciclos de carga y descarga a 80%DoD.

Ventajas desde el punto de vista del productor:

- Bajo costo de materiales aparte del níquel que puede ser reciclado.
- Ensamblado en estado descargado. No hay que manejar sodio.
- Diseño de celdas flexible.
- Se pueden hacer celdas grandes de hasta 500Ah
- Las celdas pueden estar cerca las unas de las otras en una batería.
- No es necesario protección contra la corrosión
- Celdas falladas conducen la electricidad, esto posibilita que cadenas en serie sin conexiones cruzadas.
- No se requieren características de seguridad adicionales.
- Ventajas desde el punto de vista del usuario:
- Alta tensión de celda
- Alta energía especifica (4 a 5 veces la de una celda de ácido plomo)
- 100% de eficiencia coulombiana
- Larga vida (mayor a 1000 ciclos) con baja tasa de falla de celdas
- Rango de temperatura de operación amplio. Desempeño independiente de la temperatura ambiente.
- Sellada y no requiere mantenimiento
- Mecanismos de sobrecarga y sobredescarga
- Seguridad completamente demostrada, no tiene componentes volátiles.

3.4 Supercapacitores y Ultracapacitores

Un capacitor convencional consiste en dos conductores separados por un aislante (un dieléctrico). El sistema almacena energía a través de la separación de cargas electrostáticas positivas y negativas. Las dos placas poseen una carga igual pero opuesta. La "capacidad" que es el índice de magnitud de la carga de una de las placas en relación a la magnitud de la diferencia de potencial entre ellas es inversamente proporcional a la distancia entre las placas y directamente proporcional a la constante dieléctrica del material aislante. La densidad de energía almacenada es muy baja, típicamente 0,05Wh/dm^2. El termino capacitor electrolítico se refiere a un aparato conocido con una moderadamente alta capacidad basado en una fina capa de óxido dieléctrico formado electrolíticamente en metales como aluminio, tantalio y titanio.

Supercapacitores difieren de los capacitores electrostáticos y electrolíticos en que contienen un electrolito que les permite que la carga electroestática pueda ser almacenada en forma de iones. Electrodos con superficie interna alta (generalmente carbón poroso finamente dividido) son usados para absorber los iones y proveer una mucha mayor densidad de carga de lo que es posible con un electrodo plano y no poroso. La tensión es más baja que para un capacitor convencional y la constante de tiempo para carga y descarga es mayor porque los iones se mueven y se reorientan más lentamente que los electrones. En este aspecto un supercapacitor empieza a tomar algunas de las características de una batería aunque no están involucradas reacciones electroquímicas en el proceso de carga y descarga.

El ultracapacitor se mueve un paso más cerca de una batería. Almacena energía por capacitancia iónica como también por procesos redox en la superficie (y cerca de la superficie) que ocurren durante la carga y descarga. Estas últimas son reacciones electroquímicas que aumentan la cantidad de energía almacenada pero como están confinadas a las capas superficiales son completamente reversibles por muchos ciclos. El electrolito puede ser una solución acuosa o una solución orgánica. Capacitores con soluciones acuosas tienen muy baja resistencia eléctrica pero también una baja caída de tensión. Lo contrario ocurre con electrolitos orgánicos. SE debe notar que existe una confusión considerable en la literatura en la definición de un supercapacitor y un ultracapacitor, especialmente ya que grupos desarrollando esta tecnología suelen usar los términos de manera intercambiable. Se propuso que el termino capacitor electroquímico sea adoptado.

Los capacitores contrastan con las baterías en que almacenan muy poca energía pero pueden producir una alta salida de potencia durante periodos cortos de tiempo. Además tiene excepcionalmente largas vidas útiles. Supercapacitores y ultracapacitores son ideales para enfrentar una repentina demanda de energía que es demasiado grande para ser provista por una batería. Los supercapacitores proveen además una forma eficiente de captura la alta potencia producida por el frenado regenerativo de un vehículo. Es

decir los capacitores son complementos ideales de una batería cuando alta potencia es necesaria por cortos periodos de tiempo.

3. 5 Baterías Experimentales

Se trata de una batería con un diseño innovador llamado flujo celular semi sólido, en el cual partículas sólidas se encuentran suspendidas en un líquido que sirve de transporte para bombearlo al sistema. Los componentes activos de la batería, es decir los electrodos positivo y negativo, se componen de partículas suspendidas en un líquido electrolito, o conductor eléctrico.

La clave está en que el equipo del MIT logró combinar la estructura básica de las baterías de flujo con la probada química de las baterías de ion-litio, al reducir el material sólido de la batería a partículas diminutas que pueden ser transportadas en suspensión líquida.

Una de las características más interesantes de esta batería es que separa dos de las funciones típicas de una batería, la de almacenar energía para cuando se la necesite, y la de descargar esa energía. En las baterías químicas comunes el almacenaje y la descarga se llevan a cabo en la misma estructura física, mientras que en esta nueva batería ocurre en dos estructuras separadas. Según los diseñadores esto permite un aumento de eficiencia.

Otra de las ventajas de este nuevo diseño es que al depender de ese líquido conductor, la batería puede ser recargada simplemente drenando el líquido, para bombear otro totalmente cargado; o cambiando los tanques como si se tratase de cargadores. Sin descartar la forma convencional de cargar una batería cuando el tiempo lo permita, por ejemplo cuando el vehículo está parado.

Este tipo de baterías de flujo no son nuevas, pero las que existían hasta el momento se valían de líquidos de baja densidad energética, por lo que debían ser de gran tamaño y eran poco eficientes. El nuevo diseño de los investigadores del MIT supera por un orden de magnitud la eficiencia de las baterías de flujo anteriores. A la vez que es más económica de producir que una de ion-litio.

Como el material en suspensión parece petróleo, los diseñadores lo han apodado “Cambridge crude”, o crudo de Cambridge.

Desde el punto de vista de la producción, lo destacable de este diseño es que no está vinculada con un tipo de química particular, como por ejemplo las baterías de ion-litio, sino que su arquitectura se puede adaptar al mejor material disponible.

El diseño ha sido licenciado a la compañía 24M Technologies, fundada por los diseñadores, que ya ha conseguido inversiones por 16 millones de dólares. El equipo diseñador recién espera tener un prototipo a fines de este año.

Figura 3.5.1: “Crudo de Cambridge”

3.6 Resumen de características de las baterías

A modo de resumen se da una tabla con las tecnologías aplicadas actualmente a la potencia de tracción.

	Plomo Acido	Silicona	Ni Cd	Ni Mh	Zebra	Li Ion	Li Poly	Li Fosfato
Costo de Compra	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto	Muy Alto
Costo Vida Util	Alto	Medio	Medio	Medio	Muy Bajo	Bajo	Muy Bajo	Muy Bajo
Seguridad	Buena	Muy Buena	Buena	Buena	Excelente	Buena	Muy Buena	Excelente
Impacto Ambiental	Alto	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Medio	Bajo	Muy Bajo
Ciclos Vida Util	200	400	250	400 a 500	> 1000	400 a 600	> 1000	> 2000
Tension Nominal	2	2	1,2	1,2	2	3,4	3,6	3,7
Wh / Kg	35	50	41	80	100	120	160 a 180	120
Wh / m3	80	130	120	200	160	280	>320	270
Autodescarga % Mes	0	0	<10	<20	100	<5	<5	<5
Efecto Memoria	No	No	Si	No	No	No	No	No
Temperatura de Operación	-15 °C a 50 °C	-50 °C a 70 °C	-20 °C a 50 °C	-20 °C a 50 °C	Maximo	-20 °C a 60 °C	-20 °C a 60 °C	-45 °C a 70 °C
Factor de Flexibilidad	No	No	Si	No	Si	No	Si	Si
Tiempo de Carga	Largo	Rapido	Moderado	Moderado	Rapido	Rapido	Rapido	Muy Rapido

Tabla 3.6.1: Comparación de características de baterías de tracción.

Costo de compra es el valor inicial de la compra, en su contraparte se encuentra el costo Vida Útil, que es simplemente la comparación del el valor de compra sobre el largo de la vida útil. De esta tabla se puede concluir que las últimas 4 son las únicas tecnologías actuales aplicables. No es extraño que las baterías a base de litio sean las más populares. La batería de sal fundida Zebra presenta el inconveniente de la elevada auto descarga, esto es debido a que la batería necesita mantenerse caliente y utiliza su propia energía para lograrlo, lo que las hace poco útiles para vehículos domésticos o de funcionamiento no continuo, ya que deben se conectadas a un cargador para no terminar de perder carga y enfriarse. En caso de que esto suceda se deberán esperar 24 horas hasta que la batería alcance nuevamente temperatura de funcionamiento.

3.7 Motores Eléctricos

Un motor eléctrico es un aparato que convierte energía eléctrica en energía mecánica. Fundamentalmente el procedimiento de selección de un accionamiento eléctrico corresponde a la elección de un motor industrialmente disponible que pueda cumplir con, por lo menos, tres requisitos de utilización:

- Fuente de alimentación: tipo, tensión, frecuencia, simetría, equilibrio, etc.
- Condiciones ambientales: agresividad, peligrosidad, altitud, temperatura, etc.
- Exigencias de carga y condiciones de servicio: potencia solicitada, velocidad angular, esfuerzos mecánicos, configuración física, pares motores requeridos, ciclos de operación, fiabilidad, etc.

(Lobosco, Días, 1989)

Hoy en día (y desde fines del siglo pasado) se usan exclusivamente controles electrónicos, y resulta mucho más económico y eficiente usar un control que sintetice un sistema trifásico de frecuencia variable y un motor de alterna (asincrónico o incluso sincrónico) y no un motor de continua. (Ing. E. Cerfoglio)

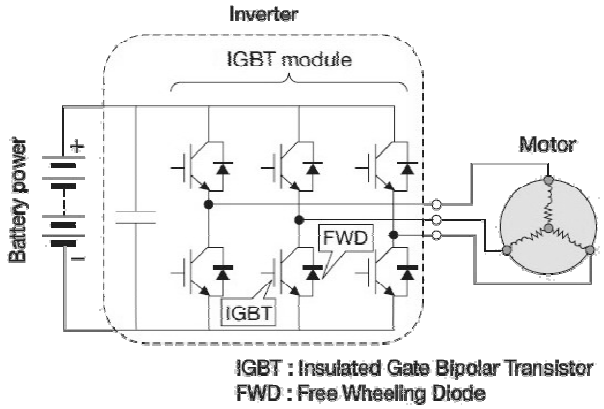

Figura 3.7.1: Diagrama de un Inversor Electrónico.

Cuando se desea controlar la velocidad o el par mecánico de forma ágil y precisa, no hay nada mejor que un motor eléctrico alimentado por un regulador electrónico. Hace unos 15 años el motor de corriente continua era el líder de las aplicaciones de velocidad variable, porque hasta entonces los convertidores de frecuencia todavía eran bastante caros, complejos y pocos fiables. Pero la situación ha cambiado por los avances en la fabricación de semiconductores de potencia y circuitos de control más potentes que permiten incluir estrategias más eficaces.

Los convertidores de frecuencia son dispositivos que se alimentan de la red de suministro eléctrico y generan corriente alterna de cualquier frecuencia, normalmente para accionar motores de inducción a velocidad variable, actualmente casi todos los electrónicos, pero también se fabrican algunos convertidores electromecánicos. Estos últimos son más caros, más grandes y necesitan mas cuidados, pero a cambio suministra

una corriente alterna más sinusoidal, suelen utilizarse a frecuencia fija para alimentar motores especiales y aparatos que han sido diseñados para alimentarse con frecuencias de 60 o 400 Hz.

Los convertidores electrónicos pueden ser directos e indirectos. Los primero, también llamados cicloconvertidores, producen una tensión alterna uniendo fragmentos de sinusoide procedentes de las distintas fases del suministro. Tienen la ventaja de que pueden utilizar solo tiristores de mayor potencia, relativamente lentos, trabajando en conmutación natural. Pero solo consiguen frecuencias muy inferiores a la de la red, además, se trata de dispositivos muy complicados que pueden necesitar 18, 36 o más tiristores para conectar las entradas a las salidas de todas las formas posibles. Por lo tanto solo se utilizan con potencias muy elevadas y motores lentos. Los convertidores más habituales son los indirectos. Los convertidores indirectos se dividen en:

- Convertidores de fuente de tensión (VoltageSourceInverter o VSI).
- Convertidores de fuente de corriente (CourrentSourceInverter o CSI)

Los convertidores de tensión se dividen según la modulación utilizada en el inversor:

- Modulación por el valor de amplitud del pulso (Pulse AmplitudeModulation o PAM)
- Modulación por ancho de pulso (Pulse WidthModulation o PWM)

La energía eléctrica procedente de la red en forma de corriente alterna monofásica o trifásica, normalmente de 60 Hz, llega a un rectificador que suministra corriente continua a una etapa intermedia más o menos compleja, le sigue un inversor que genera la corriente alterna trifásica de salida y alimenta el motor. Para controlar todos estos elementos se necesitan varios circuitos analógicos y digitales con sus correspondientes fuentes de alimentación y también algún sistema de programación que permita introducir los parámetros de funcionamiento e indicar la consigna de velocidad o par mecánico que se desea (Díaz, Pardo, 2004).

Sistema de Control

Para control de velocidad y torque se necesitara de un sistema de control apropiado. Uno de los ejemplos más simples es el sistema de inferencia Manani y Sugeno. Diseñado con la colaboración de estudiantes de electrónica de la Universidad de Illinois. El mecanismo de inferencia, es la parte de control del programa, encargada de procesar las reglas contenidas en la base de conocimiento, tomando en cuenta los nuevos datos y el estado del sistema, y producir como resultado, un nuevoantecedente, para el cual se mantienen las correspondientes proposiciones del consecuente (Zandobal, Bonilla, Tusa).

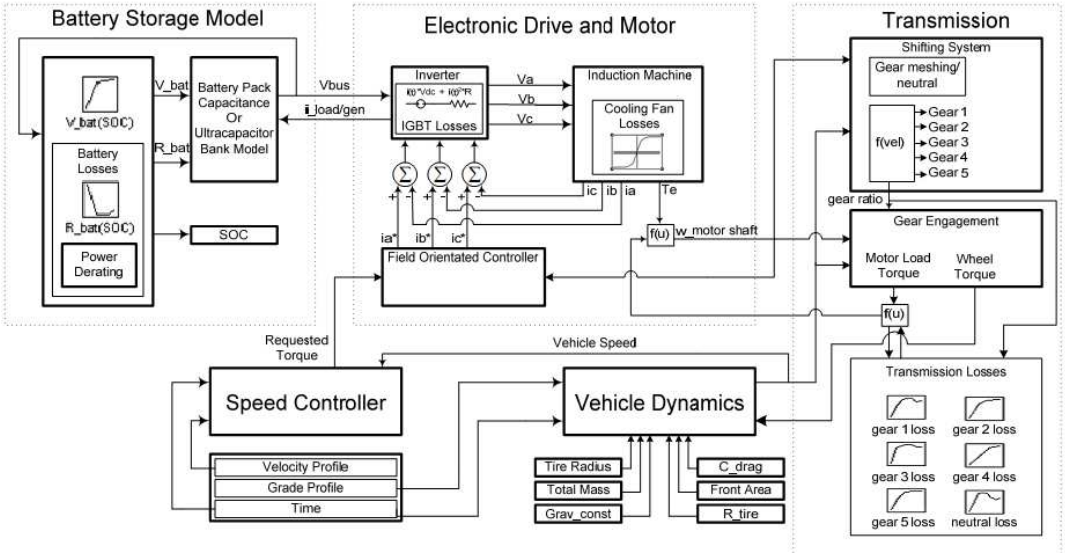

Figura 3.7.2: Diagrama de interacciones consideradas para el diseño del control de un Vehículo Eléctrico

Elección del motor

“Los cambios de marcha no suelen ser requeridos, tan sólo se suele disponer de un conjunto reductor de aproximadamente 1:5 a 1:10, dependiendo del peso y del uso del vehículo. A pesar de todo, en algunos vehículos puede ser necesario extender el rango en donde el motor ofrece sus mejores prestaciones a costa de sacrificar la simplicidad de construcción y el manejo de una transmisión directa” (Gonzales Perez, 2010).

Se utilizara en este vehículo un motor con las características de un motor UQM PowerPhase® 150 TractionSystem. Se eligió por que presenta las características de potencia, velocidad y torque requeridos según los cálculos preliminares. La ventaja de este sistema es que esta especialmente diseñado para vehículos de tracción, lo que implica que el sistema incorpora los inversores y demás elementos electrónicos para su operación. Las características principales de este sistema son:

- 150 kW / 650 N·m
- Motor con Imanes Permanentes sin cepillos. Eficiente, con alta densidad de potencia.
- Torque, velocidad o control tensión seleccionable por el usuario.
- Inversor controlado por DSP.
- Refrigeración por líquidos.
- Interface de uso amigable.
- Liviano y compacto.

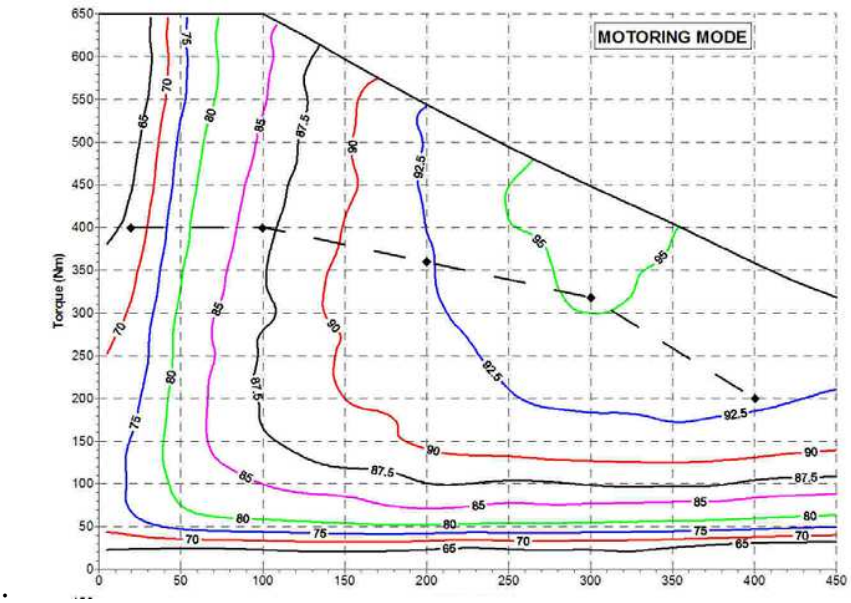

Figura 3.7.3 Torque en función de las rpm/10 del motor analizado

Las prestaciones del motor son un torque máximo de 650 N.m hasta la 1000 rpm, luego se reduce casi linealmente con una pendiente de 1 N.m / 10 rpm.

Como se observa en la figura la máxima eficiencia del motor se logra en el rango de entre 2500 y 3000 rpm.

Una simulación realizada en una hoja de cálculo refleja las prestaciones de este motor.

Se tomaron como hipótesis:

Una masa equivalente al PBT de 14.888Kg, que se corresponde al valor promedio calculado anteriormente; un radio de las ruedas de tracción de 0,56 m, que surgen del rodado estándar para este tipo de vehículos que es 275/80 R 22,5. Considerando esto y una velocidad máxima de alrededor de 60 Km /h se necesita una transmisión directa reductora 1/13 para que el motor opere a 4000 rpm aproximadamente en esta velocidad. Se estimó la eficiencia de la transmisión en un 95 %. Un valor razonable para este tipo de transmisión.

De un balance dinámico se tienen que considerar, la inercia, la fuerza de roce por rodadura en las ruedas, la fuerza de resistencia aerodinámica, la fuerza para escalar una pendiente.

La fuerza de roce por rodadura en las ruedas está regida por la siguiente expresión.

$$F_{rr} = \mu_{rr} mg$$

Donde 'μ_{rr}'es el coeficiente de roce por rodadura que tiene un valor regular de 0,01. Este valor podrirá se menor si se utilizan neumáticos especiales. 'm' es la masa del

vehículo, en este caso el PBT y 'g' es la fuerza de gravedad que se toma como 9,81 m/s^2. Esta fuerza es entonces constante para el modelo, variando solo con la carga a la que está sujeto el vehículo.

La resistencia aerodinámica es la generada por el viento sobre el frente del vehículo. Se estimó esta resistencia como:

$$F_{ad} = \frac{1}{2}\rho A C_d v^2$$

Donde 'ρ' es la densidad del aire considerada como 1,25 kg / m^3, 'A' es el área frontal del vehículo, en este caso se consideraron las dimensiones 3,2 m x 2,5 m. C_d es un coeficiente basado en que tan aerodinámico es el vehículo, para un colectivo tradicional se considera este coeficiente igual a 0,7. Un valor muy elevado. Por ultimo 'v' es la velocidad del vehículo.

La fuerza requerida para el escalado de pendientes es simplemente la componente del peso paralela al desplazamiento. Este término será positivo o negativo dependiendo de si el vehículo está ascendiendo o descendiendo respectivamente:

$$F_{hc} = mg\sin(\psi)$$

Para el modelo se tomara que el vehículo se encuentra en terreno plano, por lo tanto esta componente será nula.

La fuerza de aceleración es la resultante de los cambios de velocidad del vehículo. Es una aceleración lineal y la fórmula es la segunda ley de Newton:

$$F_{ta} = ma$$

A pesar de todo, es necesario considerar las fuerzas necesarias para acelerar las piezas mecánicas que rotan. Esta es una aceleración rotacional debido no especialmente al momento de inercia del motor sino a sus altas velocidades angulares.

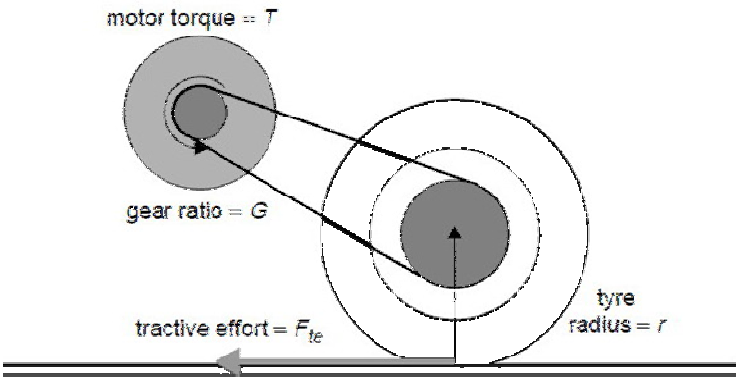

Figura 3.7.4: Esquema tracción de transmisión directa

A la vista de la figura, la fórmula para el par de accionamiento en el motor resulta:

$$T = \eta_g \frac{F_{te} r}{G}$$

y por lo tanto:

$$F_{te} = \frac{G}{\eta_g r} T$$

donde G es el ratio de reducción que se estimó en un 13:1 y r el radio de la rueda que es 0,56 m. Tomaremos el rendimiento de la transmisión de una marcha entre el motor y el eje del 95%. Así η_g = 0,95. Esta ecuación la emplearemos para desarrollar el rendimiento del vehículo. La velocidad angular del motor es:

$$\omega = G \frac{v}{r} \text{ rad/s}$$

y similarmente, la aceleración angular:

$$\dot{\omega} = G \frac{a}{r} \text{ rad/s}^2$$

El par necesario para esta aceleración angular es:

$$T = IG \frac{a}{r}$$

donde*I* es el momento de inercia del rotor del motor, típicamente 0,0125 kg·m^2 para un motor de 150 kW. Combinando estas ecuaciones obtenemos la fuerza en las ruedas necesaria para realizar esta aceleración angular (F_{wa}):

$$F_{wa} = I \frac{G^2}{\eta_g r^2} a$$

donde hemos añadido η_g que es el rendimiento del sistema mecánico de transmisión.

Como no se dispone de los valores del sistema mecánico del vehículo, optaremos por utilizar una aproximación para simplificar la fuerza debido a la aceleración. La aceleración angular supone el 5% del peso del vehículo, como se demuestra en la literatura ‘Electric VehicleTechnologyExplained’.

$$F_{wa} = 0{,}05ma = 0{,}05F_{ta}$$

Con estas hipótesis y velocidad inicial y tiempo igual a 0; considerando intervalos de 0,1 s se obtuvo que el vehículo requiera de 88 segundos para alcanzar la velocidad máxima a carga plena. Reduciéndose a casi la mitad con media carga. Que es en definitiva la operación promedio del vehículo (Fuente CNRT). El alcance de un vehículo a baterías depende casi exclusivamente del perfil de manejo. El modelo más simple es el de velocidad constante, pero este es una simplificación demasiado alejada de la realidad, sobre todo considerando el perfil que utilizara un colectivo.

Un modelo más ajustado debería ser uno aceleración y desaceleración intermitente y periódica durante todo el recorrido. Representando de esta manera la cantidad de paradas que debe realizar el vehículo. Este cálculo es particularmente importante debido a que las baterías, incluso las más livianas, poseen un peso considerable. Como se estimó en los cálculos preliminares el peso de las baterías está cerca de los 1650 kg (1800 kg en el caso de las baterías de Li Ion).

La potencia requerida de las baterías es:

$$P_{Baterías} = P_{motor} + P_{perdidas}$$

Las pérdidas son debidas a las ineficiencias de transmisión de la batería al motor, tanto en la carga como en la recarga (debido al frenado), al consumo eléctrico dentro del colectivo (aire acondicionado, iluminación, tablero, luces, radio, etc.), las perdidas en los inversores y el sistema electrónico. La potencia del motor está sujeta a la eficiencia del motor. Pese a que motores de este tamaño tienen eficiencias altas, nunca será mayor al 95% según puede apreciarse en la gráfica provista por el fabricante.

$$P_{motor} = (F_{tracción} \times v) / \eta$$

Una simulación simple de los requerimientos para un perfil de arranque y desaceleración simétricacada 200 metros indican 1,17 Wh / Km de energía necesaria. Una parte de la energía se pierde debido a lo mencionado anteriormente. Pero otra parte se recupera en el frenado regenerativo.El perfil de aceleración desaceleración cada 200 metros implica que el colectivo completamente cargado nunca alcanza la velocidad máxima (por lo menos en el modelo simulado). Lo que habla de que para cada caso particular deberá modelarse el modelo más adecuado según el recorrido real para de esta manera dimensionar adecuadamente las baterías necesarias.

Con este perfil de funcionamiento el motor se encuentra trabajando un 70% del tiempo en una zona de rendimiento superior al 90%, solo el 10% del tiempo operará en una

zona de eficiencia menor al 80%. Por lo tanto se puede tomar una eficiencia del motor del 90% durante la aceleración. Se tomara como margen de seguridad la energía recuperada por el frenado regenerativo (equivalente al 70% según datos del Metrobus). También se consideraran pérdidas en la transmisión y conversión de la corriente de las baterías de un 20%. Incluidas en esta la potencia requerida por el equipamiento del vehículo.

Esto trae como resultado que (1,17 Kwh / Km) /(0,9*0,8)= 1,62 Kwh / Km.

A continuación se resumen los requerimientos de baterías requeridos según la autonomía deseada. Se hace notar en este punto que no se consideró la variación en el peso de la batería en este cálculo. Asumiendo que el peso de la batería no afecta significativamente el cálculo.

Autonomía (km)	Capacidad de la Batería (KWh)	Peso Batería Ion (kg)	Peso Baterías Zebra (kg)
50	81	894	813
100	163	1787	1626
150	244	2681	2439
200	325	3574	3253

Tabla 3.7.5: Requerimientos de Batería según autonomía.

Como se puede apreciar este cálculo supera ampliamente el cálculo preliminar. Con los resultados de la simulación se puede obtener una versión mucho más adecuada de los requerimientos. Sin embargo el proceso de simulación es mucho más sofisticado que el aplicado aquí. Incluso con el modelo más completo existirá una incertidumbre muy amplia, solo con la construcción de un prototipo se podrá lograr tener una buena aproximación. Este es en todo caso un modelo conservador, y como tal exigirá como resultado un requerimiento económico superior debido al sobredimensionamiento de la batería. Pero los resultados obtenidos serán alentadores, ya que se puede esperar un rendimiento superior al calculado con la inversión inicial.

Ajustando la tabla considerando la cantidad de cargas por día se obtiene que con una carga completa factor de carga 100%, con dos cargas por día una al 80% otra al 100 un factor de carga de 90%. Con 4 cargas por día se obtiene un factor de carga de 85%. Hay que considerar que la vida útil se mide por ciclos completos. Es decir que la vida útil es directamente proporcional a la autonomía a carga completa y no a las características de la carga y descarga (característica de este tipo de baterías que no tienen efecto memoria), considerando siempre que el uso de la batería sea el apropiado.

Autonomía (km)	**Factor de Recarga**	**Capacidad de la Batería (KWh)**	**Peso Batería Ion**	**Peso Baterías**

				Zebra
50	0,85	95,66	1051	832
100	0,9	180,70	1986	1571
150	0,95	256,78	2822	2233
200	1	325,26	3574	2828

Tabla 3.7.6 Requerimientos ajustados de la batería según recargas requeridas por día

3.8Frenado regenerativo

En un colectivo convencional, para detener el vehículo cuando este se encuentra en movimiento, se intercambia la inercia acumulada por energía térmica en los frenos a través del roce de dos materiales. Esta energía térmica es liberada al ambiente. Luego, se gasta una gran cantidad de energía para volver a adquirir la velocidad deseada. En estos ciclos de aceleración – desaceleración es cuando se consume la mayor parte del combustible. Más aún, si estos ciclos se realizan de manera brusca se puede llegar a consumir hasta un 50% más combustible (Fuente Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee), México).Cuando el vehículo se encuentra moviéndose a una velocidad relativamente constante el motor simplemente tiene que superar las fricciones internas, las de las ruedas con el pavimento y las del aire. Un perfil donde predominaría el segundo efecto sería un ómnibus de larga distancia, en el caso de los colectivos urbanos predomina necesariamente el primero.

El freno regenerativo es, en este caso,la opción que brindará una ventaja competitiva al motor eléctrico alimentado por baterías por sobre su par Diesel.

El freno regenerativo consta de utilizar el motor como sistema de frenos, esto se logra convirtiendo al motor eléctrico en un generador de energía eléctrica durante el frenado, esta energía es almacenada en el pack de baterías, estando disponible parte de la energía para su uso durante el consecuente arranque (durante el frenado se pierde una parte de la energía, debido principalmente a la capacidad de las baterías de absorber la carga). De esta manera el sistema de frenado convencional solo trabaja eventualmente como soporte del freno regenerativo. El sistema también acumula energía cuando el vehículo circula en pendientes descendentes y en cualquier situación en la que el vehículo deba forzosamente desacelerar.

Debido a que los frenos convencionales son utilizados solo una fracción de las veces, la posibilidad de que estos se desgasten y generen consecuentes sonidos molestos al ser accionados, se reduce considerablemente. El Ecobus que circula en la Ciudad de Buenos Aires logro recuperar con este método 71% de la energía de frenado y utilizó el frenado convencional solo el 4% de las veces.

La energía total ahorrada dependerá del perfil de manejo y condiciones de tránsito. Si el sistema está correctamente regulado deberá recuperar hasta el 91% de la energía de frenado. Se hacer particularmente importante esta cifra ya que dado el perfil de funcionamiento de un colectivo se puede esperar que la energía de arranque sea recuperada en un 91%. Y que solo el 9% de la energía de arranque y los ciclos de velocidad constante sean mantenidos por las baterías.

3.9 Sistema de recarga

El método de carga rápida se emplea para aplicaciones comerciales y públicas y está destinado a funcionar como una estación de servicio. Generalmente utiliza un sistema el sistema que emplea corriente trifásica a 480 VAC. En la práctica, los tamaños de equipos varían desde 60 hasta 150 kW, y si los vehículos lo permiten pueden recargar parcialmente la batería en pocas horas o incluso minutos. Este tipo de cargadores son los empleados para recargar vehículos eléctricos con baterías de gran capacidad.

El sistema de carga debe también ser el más adecuado de acuerdo a la batería a recargar, en el caso de baterías de litioel procedimiento más recomendado para recargar implica mantener una corriente constante seguido de una tensión constante Con este método, la mayor parte de la energía se carga en una corriente constante y para terminar se rellena empleando una tensión constante de corte. La carga final varía entre los fabricantes, pero generalmente el corte se produce con la batería al 100% del estado de carga.

Es muy importante tener en cuenta que las baterías varían de fabricante en fabricante, y en definitiva es este el que diseña el método de carga que asegure su correcto funcionamiento. Es por esto que el sistema de carga debe ser inteligente, pudiendo variar la corriente, la tensión, y los ciclos de carga de manera de adaptarse a las necesidades de cada batería.

La fuente de energía eléctrica puede ser provista por la red o por un generador privado o una combinación de ambas. En el caso de una empresa de colectivos es probable que se requieran varias estaciones, ubicadas estratégicamente en las terminales. Si estas estaciones son alimentadas por energías renovables tales como paneles solares o energía eólica entonces el transporte será efectivamente de cero emisiones. Si no le corresponderán las emisiones correspondientes a la generación de la energía de red.

3.10Reciclado y disposición final de baterías

No se puede dejar de considerar la alta rotación de baterías, con una vida útil aproximada de 5 años en promedio, pudiendo ser este tiempo mayor o menor dependiendo de las características de uso de la batería. La cantidad de baterías descartadas puede aumentar exponencialmente si la solución se llegase a aplicar de manera generalizada. Es decir que para que el proyecto sea escalable debe considerarse adicionalmente la disposición final de las mismas.

Las tecnologías predominantes son las basadas en litio. Estos materiales son poco tóxicos, sin embargo las baterías poseen componentes adicionales que si son peligrosos. Luego existe la necesidad de recuperar parte de estos materiales para que puedan ser reutilizados.

Las baterías de sal fundida no presentan mayores inconvenientes para su disposición final fuera de su correcto desarme. Y recuperación de metales para reciclado.

Reciclado de Baterías

Existen en el mundo muy pocas iniciativas para el reciclaje de baterías de litio. Hasta el momento toda la energía estaba enfocada en el reciclaje de baterías de plomo ácido y las baterías primarias de uso doméstico.La UE apoya mediante su programa LIFE el reciclado de baterías primarias y secundarias, enfocándose en la recuperación de metales como el Cadmio, el Níquel y el Zinc. Japón y los Estados Unidos poseen iniciativas propias. Este último país otorgo 9,5 millones de dólares a la firma Toxco, única empresa que actualmente recicla baterías con el fin de evitar una posiblefalta del material debida a la dependencia extranjera en la provisión del litio, ya que este país no cuenta con yacimientos propios de este elemento.

El proceso que sigue esta empresa es el siguiente: Se reciben las el desecho con litio de las baterías e inmediatamente el desecho es almacenado en bunkers de concreto cubiertos con tierra. A continuación se elimina la carga remanente en el litio de las baterías más grandes. De ser necesario son enfriadas a -200 °C. El litio, normalmente explosivo a temperatura ambiente, es relativamente inerte a esta temperatura. Luego las baterías son molidas y los materiales separados y convertidos en carbonato de litio para su reventa. Los electrolitos peligrosos son neutralizados para formar compuestos estables. El resto de los componentes de la batería, tales como los envoltorios plásticos son recuperados para su reciclado o disposición final. Si las baterías contienen cobalto este también es recuperado para ser reutilizado.

Si las baterías no son de litio y cuentan con placas planas como cátodo o ánodo entonces son abiertas para exponer los materiales reciclables. El plomo, níquel, plata, cadmio, plástico, metal, y otros materiales son separados y vendidos. El electrolito es drenado y neutralizado.

Disposición final

Aquello elementos que no pueden ser reciclados para ser rehusados deben ser dispuestos de manera tal de no representar una amenaza para la salud o el medio ambiente. El primer paso consiste en separar los componentes peligrosos de los no peligrosos. Estos últimos pueden terminar en un relleno sanitario especialmente destinado a tal fin.

Residuo peligroso es aquel desecho que, en función de sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad y patogeneicidad, puede presentar riesgo a la salud pública o causar efectos adversos al ambiente. Algunas de estas características hacen que su disposición en el suelo cause un gran riesgo al ambiente. En este sentido es importante establecer definiciones y formas de transporte y de disposición final de los residuos sin generar un alto riesgo de contaminación al ambiente.

La contaminación de cuerpos de agua (principalmente las aguas subterráneas) causada por la disposición inadecuada de residuos peligrosos hizo que los países industrializados dieran una alta prioridad a su manejo en la década de los 80. El manejo de los residuos peligrosos incluye los procesos de minimización, reciclaje, recolección, almacenamiento, tratamiento, transporte y disposición.

Existe un gran número de tratamientos físicos, químicos y biológicos a los que se pueden someter los residuos tóxicos y peligrosos, cuya finalidad se dirige básicamente a la recuperación de recursos (materiales y energéticos), la decodificación, y la reducción de volumen previa a su disposición en tierra.

Tratamientos físicos

Estos procesos incluyen diferentes métodos de separación de fases y solidificación. En el nivel más básico, la separación de fases incluye el uso de lagunas de decantación, secado de borras en lechos, y el almacenamiento prolongado en estanques de proceso. Todos los anteriores dependen de la decantación gravitacional, y los dos primeros permiten la remoción del líquido por decantación, drenaje y evaporación. El uso de lagunas y estanques es ampliamente utilizado para separar aceites de agua en residuos húmedos, después de un tratamiento preliminar con agentes rompedores de emulsiones y ocasionalmente en el caso de estanques, combinados con calentamiento.

Solidificación o procesos de fijación.

Estos procesos convierten al residuo en un material insoluble y de características de rocadura, y se efectúan generalmente previos a la disposición de vertederos. La

conversión se logra mezclando el residuo con diferentes reactivos que producen un producto tipo cemento.

Tratamientos químicos

- Oxidación.

- **Precipitación de metales pesados**. Los efluentes del tratamiento de metales, a menudo contienen soluciones con distintos metales pesados tales como cobre, níquel o zinc. Estos pueden ser removidos con un exceso de una solución de cal o hidróxido de sodio para precipitarlos como compuestos insolubles en agua. Precipitantes alternativos para metales pesados incluyen sulfuro de sodio, tiourea y ditiocarbonatos todos los cuales producen precipitados insolubles de sulfuro. Usualmente la precipitación con sulfuros se usa como proceso final después de una precipitación inicial con cal o soda cáustica.

- **Reducción química.** El ácido crómico es un material corrosivo y altamente tóxico usado profusamente en el tratamiento de superficies de metales y en el cromado de metales. Se pude reducir químicamente a un estado relativamente no tóxico de cromo(III). Diferentes productos químicos pueden servir como agentes reductores, incluyendo; dióxido de sulfuro (SO_2), sales de sulfito (SO_3^{2-}), sales debisulfito (HSO_3^-) y sales ferrosas (Fe^{2+}).

- **Neutralización.** Las soluciones acuosas de ácidos minerales se producen en grandes cantidades a partir de industrias químicas. Muchas provienen del tratamiento de metales y contienen metales tales como fierro, zinc, cobre, bario, níquel, cromo, cadmio, estaño y plomo. Estos ácidos son extremadamente corrosivos pero pueden ser neutralizados, y usualmente se utiliza cal como el álcali menos costoso en operaciones a gran escala. Las soluciones alcalinas también se producen en la industria química, pero su composición varia más que en el caso de los ácidos y esto hace su recuperación más difícil. Como soluciones ácidas se pueden usar ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. El ácido sulfúrico forma precipitados más insolubles y genera más residuos que le ácido clorhídrico.

- **Separación de aceites y agua** Algunos residuos que contienen productos orgánicos, pueden ser eliminados por incineración después de separarlos del agua, otros contienen productos cancerígenos (aceites lubricantes) y pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas. Sin embargo el tratamiento de residuos de aceites y petróleos no es fácil, especialmente si se forman emulsiones las que necesitan bastante tratamiento para ser separadas. En muchos casos es posible la recuperación de los aceites, como en el caso de emulsiones de grasas en la industria de alimentos,donde se liberan las grasas y se pueden quemar o reutilizar. También es posible que algunos suelos descompongan materiales aceitosos en sustancias no dañinas, así como también

el tratamiento biológico es un método adecuado siempre que no contenga metales pesados.

- **Recuperación de solventes y combustibles**. Los solventes combustibles orgánicos son frecuentemente tóxicos y sus vapores cuando se mezclan con aire pueden ser explosivos. Este tipo de residuos es generalmente recuperable y si no es así, se usa la combustión como el mejor método de disposición. Solventes orgánicos no combustible incluyen las borras aceitosas, borras con grasas de agentes desengrasantes y removedores de pinturas del tipo hidrocarburos clorinados, loscualesson altamente tóxicos. Aunque sean incombustibles, se pueden incinerar a altas temperatura usando petróleo diesel u otro combustible auxiliar con la precaución de usar absorbedores para remover el ácido clorhídrico formado.

3.11Resumen de la alternativa propuesta

En esta sección se resumen las características principales de la alternativa propuesta. Se trata de un colectivo de chasis estándar modificado para albergar un motor eléctrico de 150 KW, con transmisión directa con una relación 1:13. El peso del motor es de aproximadamente 110 kg.

Lasbaterías con una masa de 2000 Kg proveerán una autonomía de 100 Km. Contará con baterías de litio Ion o baterías Zebracon capacidad de 180 Kwh(en el caso de las baterías Zebra el peso se reduce en 200kg).

Con un Peso Bruto total de 14888kg. Capacidad para 60 personas, 25 sentadas, el resto de píe. Tendrá una velocidad máxima de 60 Km / hora cuando se encuentre completamente cargado.

Contará con un sistema de control y la electrónica necesaria para contar con frenado regenerativo.

IV. CALCULO DE LA PROPUESTA ECONOMICA

4.1 Calculo de la Inversión Necesaria

La inversión necesaria se divide en dos grandes grupos. Por un lado está el motor y baterías. Por otro lado el chasis y carrocería.

Para el primer grupo se utilizará el cálculo de la batería según esta sea tipo Zebra para la primera opción y tipo Li Ion Fosfato para la segunda. El cálculo de costo se obtuvo en primera instancia un índice por kWh para cada tipo de batería. Se obtuvieron los siguientes índices.

Tipo de Batería	Capacidad (Kwh)	Costo (USD)	Valor (USD / KWh)
Zebra	28,2	USD 19.000	674
Li Ion	1,41	USD 2.030	1444

Tabla 4.1.1: Precio por KWh de los tipos de batería principales

El primero está basado en el precio del conjunto de baterías de la firma ValenceU24-12XP. Existen modelos más económicos pero en este caso estos modelos no son aplicables ya que según el uso que se les dará, los modelo RT no cubren las necesidades de corriente máxima. En el caso de las baterías Zebra se utilizó como base el precio de un paquete de 28,2 KWh. En ambos casos el precio incluye los mecanismos de seguridad, control y empaque de las mismas. Entendiéndose que el proveedor armará el mismo de la manera más conveniente. Es decir con el menor volumen posible para las características solicitadas.

El costo de las baterías está directamente relacionado con su vida útil.

Autonomía	Ciclos por Día	Vida Útil (Km) (Li Ion)	Vida Útil Años	Vida Útil (Km) Zebra	Vida Útil Años
50	3,4	29.412	0,55	14.706	0,28
100	1,8	111.111	2,10	55.556	1,05
150	1,3	236.842	4,47	118.421	2,23
200	1,0	400.000	7,55	200.000	3,77

Tabla 4.1.2: Vida útil de la batería según cantidad de recargas necesarias.

El costo de una batería de Li Ion Fosfato:

Autonomía	Costo Li Ion (USD)	Vida Útil (Años)	Costo Vida Útil
50	$ 138.102	0,65	$ 211.531
100	$ 260.860	2,33	$ 111.987
150	$ 370.695	4,70	$ 78.806
200	$ 469.547	7,55	$ 62.215

Tabla 4.1.3: Costo Vida Útil Batería Li Ion Fosfato.

El costo de una batería Zebra:

Autonomía	Costo Zebra (USD)	Vida Útil (Años)	Costo Vida Útil
50	$ 64.455	0,33	$ 197.451
100	$ 121.748	1,16	$ 104.533
150	$ 173.011	2,35	$ 73.560
200	$ 219.147	3,77	$ 58.074

Tabla 4.1.4: Costo Vida Útil Batería Zebra.

Como se puede apreciar ambas baterías cuentan con Costo por Vida Útil similar, siendo las baterías tipo Zebra ligeramente más económicas. Sin embargo existe una dispersión muy amplia entre el costo y el tamaño de la batería a comprar. Es decir, por el costo por vida útil no es conveniente comprar una batería con una autonomía de 50 Km.

Como se puede apreciar la batería más conveniente económicamente desde el punto de vista de la vida útil es aquella que represente un recarga diaria (o menos). Es decir una batería con autonomía de 200 Km. Por cuestiones de peso, una batería de esta magnitud puede causar una ineficiencia. Por lo tanto se optará por una batería intermedia.

El motor seleccionado, UQM PowerPhase 150 tiene un costo de 34.700 USD, el costo del inversor asociado a este motor (provisto por el mismo fabricante) está incluido en el precio. Así como el sistema de control. Esto es posible ya que se trata de una firma especializada que diseña los motores para este fin. Es importante hacer notar que este precio no incluye el envío del motor, pero si el soporte técnico asociado. El costo del flete se estimará en 1,6 USD / Kg, De esta manera el sistema (Motor + Batería) tendrá un costo de flete de aproximadamente 3.035 USD. Por otro lado también se requerirá del sistema de recarga, este tiene un costo de 5.998 USD. El costo del chasis y la

carrocería es de 56.000 USD. A este valor hay que sumarle un costo de aproximadamente el 10% que corresponderá al valor de instrumentar el proyecto, en este caso este valor es de 22.178 USD.

Costo Total del Colectivo Eléctrico a Baterías:

Zebra	Li Ion
USD 243.962	USD 382.816

Tabla 4.1.5: Costo según tipo de batería.

4.2 Ingresos y costos de las empresas de transporte

Ingresos

Existen dos tipos de ingresos. El primero viene dado por la venta de pasajes. El segundo por los subsidios que el estado les otorga a las empresas de transporte de pasajeros. Como subsidio en este caso solo se consideró el subsidio directo, no teniendo en cuenta el subsidio indirecto al combustible.

Para el cálculo de ambos se tomó el valor total anual y se lo dividió por la cantidad total de unidades para ese año obteniendo como resultado para el año 2008:

Venta Pasajes	Subsidios	**Total Ingresos**
$ 153.671	$ 280.410	**$ 434.081**

Tabla 4.2.1: Ingresos anuales totales por unidad.

Costos

Existen diversos costos, uno de los principales costos es el pago de sueldos y cargas de sociales, el otro costo principal es el gasto de combustible, en último lugar se encuentran los gastos de mantenimiento. A primera vista parece que el gasto en combustible es poco relevante, pero hay que considerar que este se encuentra especialmente subsidiado, el valor real sin subsidio cuadriplica el aquí mostrado.

Mantenimiento	Sueldos	Cargas Sociales	Otros Gastos	Combustible	**Total**
$ 49.200	$ 78.717	$ 23.615	$ 10.000	$ 36.644	**$ 198.177**

Tabla 4.2.2: Costos anuales totales por unidad

El costo de mantenimiento se estimó en un 10% anual sobre el valor del vehículo 0 Km, este valor en realidad varía con la antigüedad del vehículo, pero como aproximación promedio se tomó este valor. Sobre todo considerando la antigüedad promedio del parque. Para el valor original del vehículo se tomó un valor promedio de 120.000 USD. Los salarios fueron construidos en base al convenio colectivo de trabajo. No existe una dispersión muy amplia en el salario bruto entre los distintos puestos laborales (Chofer, auxiliar, mecánico, etc.). Se tomó como promedio que trabajan por unidad 3,5 trabajadores. Las cargas sociales se estimaron en el 30% del sueldo bruto. El grupo otros gastos incluye mantenimiento edilicio, gastos administrativos y otros impuestos.

Para el costo del combustible se tomó el precio del gasoil subsidiado de 0,97$/ litro. Tomando como consumo diario 103,5 litros (207 Km x 2 lts / Km).

El costo de un colectivo eléctrico será de:

Mantenimiento	KWh / Año	Energía	**Total**
$ 7.200	136.528	$ 21.080	**$ 149.612**

Tabla 5.2.3: Costo mantenimiento y energía de un colectivo eléctrico.

El mantenimiento se estimó como el 2% del costo del colectivo eléctrico. Esto se debe a las características de bajo mantenimiento del motor eléctrico. El consumo de energía se realizó considerando una perdida durante la carga del 10%. El precio considerado fue de 0,038 USD / KWh (aprox. 0,15 $ / KWh). A estos costos resta sumarle los costos de Sueldos, Cargas Sociales y Otros Gastos.

A primera vista el ahorro en combustible no justifica el costo de las baterías que es de aproximadamente $420.000 anuales. Esto implica que, por lo menos inicialmente, deberá existir un subsidio especial para este tipo de baterías.

Costo de las emisiones diesel

La Corporación Andina de Fomento estimo basándose en estándares internacionales el costo de las emisiones de gases de invernadero para la ciudad de Buenos Aires para el transporte urbano.

‘En general, los costos buscan reflejar los gastos que la sociedad tiene que enfrentarpara el tratamiento de las personas que sufren enfermedades asociadas a los contaminantes locales, con la pérdida económica de los días inactivos de las personas (inclusolas muertas) y con los problemas climáticos (y de uso del suelo para agricultura) asociados al efecto invernadero. Muchos estudios más recientes han cambiado su metodología y hay una tendencia creciente a utilizar los valores derivados de encuestas de“disposición a pagar” (DPA), en las cuales se deduce cuál es el valor que las personasatribuyen al problema, que a su vez señala el “costo” que debe ser considerado (SECTRA,2002). En este estudio no disponemos de valores promedios generales ni de encuestasde DPA que puedan ser utilizadas para todo el Observatorio de Movilidad Urbana. Considerando estas limitaciones, elcosto de las emisiones de contaminantes y de CO_2ha sido estimado utilizando los costospor contaminante (en dólares estadounidenses) utilizados por las autoridades ambientales de Brasil’ (CAF, 2010). Arrojando para Buenos Aires como resultado un costo de emisiones de 79 millones de dólares para el año 2007.

Resultado

Valores anuales con y sin subsidios:

Ingresos sin subsidios: $ 153.700

Costos con subsidios: $ 198.200

De aquí se concluye que la tarifa estádesfasada. Ya que si no se contase con los mismos las empresas tendrían un déficit operativo estimado de $ 44.500 anuales.

Costos operativos con motor eléctrico a batería: $ 149.600

Lo que implica que aun sin el desfasaje los ingresos alcanzarían para cubrir los costos operativos.

Subsidio al combustible: $ 114.000

Subsidio directo: $ 280.400

Subsidios Totales: $ 394.400

Se requiere para subsidiar la batería de $ 402.100 anuales. Teniendo esto en consideración se puede determinar que con un simple traspaso de subsidios y un pequeño ajuste tarifario (del orden del 5%). Ya sea general o particular para esta clase de vehículos se pueden cubrir los costos de la transferencia tecnológica.

Proyecciones

Actualmente el precio de las baterías es extremadamente alto para este tipo de aplicación. Pero este irá en disminución con el avance de técnicas de fabricación y ampliación de la capacidad de las mismas. Por otro lado el precio del petróleo tiene una tendencia alcista. Lo que implica que en determinado momento se dará la intersección entre ambas y un sistema eléctrico superara económicamente al actual sistema diesel. Para poder aprovechar las ventajas de estos nuevos sistemas será necesario contar con experiencia local para su rápida implementación.

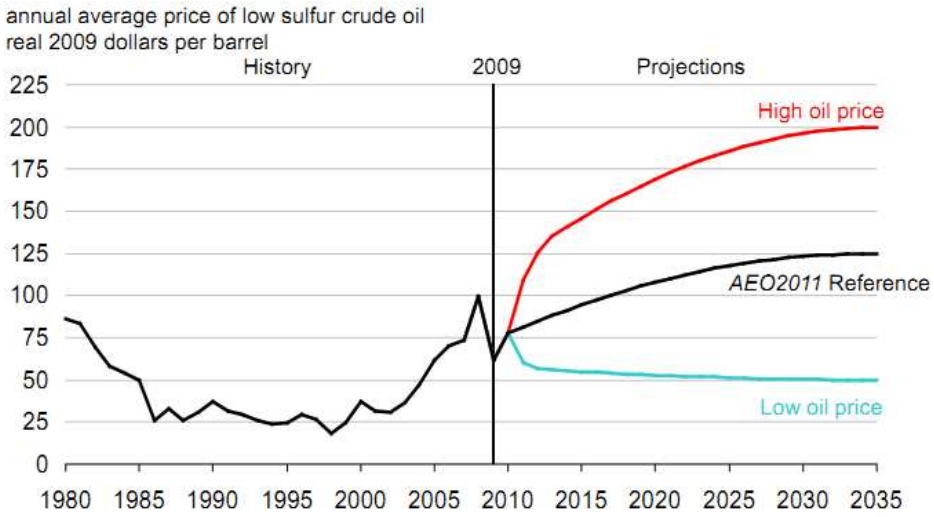

Tabla 4.2.3: Evolución del Precio del Petróleo

V. MARCO LEGAL

VI. NUEVAS LINEAS DE INVESTIGACION

5.1Marco legal de regulación del transporte

Las actividades de las empresas transportistas de pasajeros están reguladas a través de la Comisión Nacional de Regulación del Transporte (CNRT), un ente autárquico que se encuentra dentro de la órbita de la Secretaria de Transporte de la Nación, que depende a su vez del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios.

La CNRT tiene como objetivos:

a) Instrumentar los mecanismos necesarios para garantizar la fiscalización y el control de la operación del sistema de transporte automotor y ferroviario, de pasajeros y carga de Jurisdicción Nacional, con el objetivo de garantizar la adecuada protección de los derechos de los usuarios y promover la competitividad de los mercados.

b) Ejercer el poder de policía en materia de transporte de su competencia. Controlando el cumplimiento efectivo de las leyes, decretos y reglamentaciones vigentes, así como la ejecución de los contratos de concesión; y fiscalizar la actividad realizada por los operadores de transporte.

c) Asistir a la Secretaria de Transporte en todos aquellos aspectos relativos a su competencia.

Esta está en concordancia con las siguientes leyes y decretos:

Decretos que se refieren a la CNRT

Decreto Nº 660/96: Modifica la estructura de la Administración Pública Nacional. Crea la Comisión Nacional de Regulación del Transporte

Decreto Nº 1388/96: Aprueba el Estatuto de la Comisión Nacional de Regulación del Transporte.

Decretos que regulan el transporte urbano de pasajeros

Decreto 656/94: Fija el marco regulatorio del autotransporte público de pasajeros de carácter urbano y suburbano de jurisdicción nacional estableciendo el marco normativo para el otorgamiento de los permisos de explotación.

Decretos que regulan el transporte interurbano de pasajeros

Decreto 958/92: Fija el marco regulatorio del autotransporte interurbano de pasajeros de jurisdicción nacional.

Decreto 808/95: Modifica el decreto Nº 958/92 estableciendo nuevas normas para la reglamentación del transporte interurbano de pasajeros de jurisdicción nacional.

Decretos que regulan el régimen de penalidades:

Decreto 253/95: Aprueba el Régimen de Penalidades por Infracciones a las Disposiciones Legales y Reglamentarias en Materia de Transporte Automotor de Jurisdicción nacional. Fija multas y sanciones.

Decreto 1395/98: Modifica el Régimen de Penalidades aprobado por decreto Nº 253/95.

Resoluciones referidas a vehículos

Res. SETOP Nº395/89: Aprueba el Reglamento para la Habilitación de Vehículos de Transporte por Automotor de Pasajeros de jurisdicción nacional. Se aplica en la inspección técnica de vehículos.

Resoluciones referidas a los conductores

Resolución ST Nº 444/99: Aprueba el Reglamento para el otorgamiento y uso de la Licencia Nacional Habilitante y el Régimen de sanciones de los prestadores médicos habilitados.

Leyes referidas al transito

Ley 24449: Ley de Tránsito y Seguridad vial. Regula el uso de la vía pública y se aplica a la circulación de personas, animales y vehículos terrestres en la vía pública y a las actividades vinculadas al transporte, los vehículos, las personas, las concesiones viales, la estructura vial y el medio ambiente, en cuanto se relacione con el tránsito. Quedan excluidos los ferrocarriles.

Decreto N º 779/95: Reglamenta la Ley de Tránsito y Seguridad vial.

A su vez opera, dentro del ámbito de la Ciudad, el Ministerio de Desarrollo Urbano, que depende del Jefe de Gobierno de la Ciudad, cuyo objetivo se encuentra en la Ley de la Ciudad de Buenos Aires 2506, Articulo 26, inciso 8: Implementar las políticas referidas a la gestión y fiscalización del transporte y tránsito en coordinación con el Ministerio de Justicia y Seguridad.

5.2 Marco legal referente a las emisiones

En Argentina el tema de regulación de emisiones contaminantes sonoras y gaseosas se encuentra normado. Como herramientas legales de control a nivel nacional y local, de las emisiones de Vehículos automotores, existen la ley 24.449 mencionada anteriormente y fundamentalmente su Decreto reglamentario 779/95. Este último establece en sus artículos 33 y 34 las responsabilidades y el poder de policía para las distintas autoridades jurisdiccionales, en lo que hace a nuevos modelos de vehículos automotores así como a vehículos en uso. El artículo 33 del Decreto establece los límites de emisión para vehículos en circulación y nuevos modelos de automotores y el artículo 34 establece las directivas para la articulación de un sistema integrado de revisión rutinaria de vehículos en uso.

La Argentina también está suscrita a acuerdos internacionales tales como el protocolo de Kyoto, ratificado en el año 2001 por el Congreso de la Nación. El Protocolo de Kyoto sobre el cambio climático es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990. Por ejemplo, si las emisiones de estos gases en el año 1990 alcanzaban el 100%, para el año 2012 deberán de haberse reducido como mínimo al 95%. Es preciso señalar que esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de gases regulados en un 5% como mínimo, sino que este es un porcentaje a nivel global y, por el contrario, cada país obligado por Kioto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe disminuir.

Respecto de la disposición final de las baterías, estás están reguladas dentro de la Ley Nacional 24.051 de Residuos Peligrosos y la Ley Nacional 25.612 de Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios.

VI. NUEVAS LINEAS DE INVESTIGACION

VI. NUEVAS LINEAS DE INVESTIGACION

6.0 Nuevas líneas de investigación

Está claro que existe desde hace varios años un cambio en el desarrollo de tecnologías sustentables. Estas deben ser apoyadas por políticas tanto públicas como privadas, existen adicionalmente un gran número de proyectos que se están ejecutando alrededor del mundo en áreas relacionadas al transporte limpio.

Tecnologías de almacenamiento

Se están desarrollando continuamente distintas alternativas para sustituir a los combustibles fósiles. Sin embargo su éxito se debe a que son una reserva de energía ampliamente disponible y transportable. Todavía es necesario encontrar alternativas que posean la misma densidad de energía. Mucho se está trabajando en el almacenamiento de energía en forma de hidrogeno.

La evolución de las baterías acaba de alcanzar un punto de competitividad debido al fuerte aumento del precio de los combustibles fósiles y a su continuo desarrollo durante los últimos 40 años. Sin embargo existe una gran cantidad de combinaciones de sustancias químicas que pueden utilizarse como medios de almacenamiento. Solo unas pocas lograron cumplir con los requerimientos técnicos y económicos para convertirse en opciones viables. Lo que no quiere decir que estas puedan seguir evolucionando. Claramente los precios actuales de las tecnologías disponibles para baterías exceden por mucho el valor que la media de la población puede pagar, lo que implica que todavía queda lugar para otras alternativas.

Escalabilidad

En este punto del desarrollo se está considerando la posibilidad de escalar cada solución. De esta manera una tecnología totalmente viable hoy, puede no ser la más adecuada dentro de 20 o 30 años. Se supone por ejemplo que no existe suficiente litio como para reemplazar todos los motores de combustión interna del mundo (actuales y proyectados). Sin embargo los países más desarrollados del globo empezaron a masificar la producción de vehículos eléctricos basados en esta tecnología.

Integración

Existen numerosas alternativas a desarrollar para integrar centros de carga de energía eléctrica en forma de cargadores en las calles que se alimentan de la red pública, así también como estaciones de servicio que basan su suministro en paneles solares. De esta manera se podría contar con sistemas totalmente sostenibles basados en energías

renovables en distintos puntos de un recorrido, aumentando de esta manera el rango de operación de los VE.

También debe trabajarse en limpiar la fuente de energía de la red. Existen numerosas alternativas: solar, eólica, mareo marítima, hidráulica, etc. Todas con factores de emisión nulos.

Diseño

En la actualidad existen pocos modelos de simulación que permiten diseñar de manera más económica un VE. Gracias a estos modelos se puede reducir la incertidumbre generada por la novedad del proyecto. Se podrían estimar con mucha más precisión los requerimientos técnicos de los vehículos. Ajustándolos con mayor precisión a cada ambiente de trabajo y requerimientos de uso.

Progreso

Como Nación existe en estas nuevas tecnologías una oportunidad de desarrollo. Existen en nuestro país una gran cantidad de los recursos necesarios para la producción de estos vehículos en su totalidad. Pero para lograrlo debe existir el incentivo necesario. Actualmente existe solo un puñado de fabricantes de baterías y componentes a nivel mundial. Un análisis de viabilidad y oportunidad debe realizarse y promoverse hasta convertirse en una realidad. No solo como productores de materias primas para fabricación de componentes sino como productores de productos terminados.

CONCLUSIONES

Los colectivos con motores diesel son altamente ineficientes, ruidosos, contaminantes e incomodos. Sin embargo cuentan actualmente con una inversión inicial menor y un combustible subsidiado. Haciéndolos de esta manera relativamente rentables. Pero existen costos ocultos generados por estos, entre ellos los efectos en la salud, y el ánimo de las personas que conviven con ellos.

Es posible con voluntad reemplazarlos por colectivos potenciados por tecnologías totalmente limpias. Que se deshagan de los ruidos molestos, de las partículas emitidas y de la incomodidad del viaje. Si estos adicionalmente son alimentados a través de energías limpias se puede incluso contribuir a la disminución de la generación de gases de invernadero a niveles realmente bajos y hasta nulos.

Los colectivos con motores eléctricos requieren menos mantenimiento y son mucho más durables, ya que están diseñados para durar décadas. Actualmente está siempre presente el costo de las baterías, pero con la evolución de la tecnología es posible que dentro de 10 a 20 años los precios de las mismas bajen en un orden de magnitud. Logrando de esta manera que la transición total a tecnologías limpias pueda llegar a ser casi una necesidad inmediata. Para que esta necesidad no nos encuentre sin estar preparados es necesario empezar hoy a idear e implementar prototipos basados en estas tecnologías.

ANEXOS

Desarrollo de las distintas tecnologías de Baterías

Baterías Plomo – Acido

La batería de ácido plomo es una de las baterías más antiguas, es una batería confiable y económica. Por otro lado posee la desventaja, entre otras, de ser pesada. Lo que limita su uso en vehículos de tracción que se espera sea eficiente.

La batería Pb Acido es inusual entre las baterías recargables en que el electrolito (el acido sulfúrico H_2SO_4) forma parte en las reaccione de los electrodos, no es solamente un conductor de Iones. Sulfato de Plomo ($PbSO_4$) se forma en la descarga en ambas polaridades de las placas. El acido sulfúrico es consumido durante la descarga y regenerado durante la carga. Esto permite medir el estado de carga de la batería midiendo la densidad relativa del electrolito. Cuando la batería se encuentra completamente cargada a 25ºC, la densidad relativa de aproximadamente 1,28, que corresponde al 38%peso de H_2SO_4; y cae a 1,1 cuando esta descargada (aprox. 16%peso deH_2SO_4). La conductividad del acido varia fuertemente con la temperatura. A 20ºC la conductividad del acido es 0,7 y 0,6 S/cm (Siemens / centímetro) cuando se encuentra cargada y descargada respectivamente. A 40ºC la conductividad específica alcanza un máximo de 1,0 S/cm.

El coeficiente de Temperatura para la tensión de circuito abierto es baja. En el rango de 0,1 a 0,3 mV por °C, y tiene poco impacto en el rendimiento de la batería. Mas importante es la influencia de la temperatura en el electrolito (el acido). En bajas temperaturas la difusión del acido en la masa activa se vuelve mas lenta, además el aumento de la viscosidad del acido disminuye el flujo por convección. Ambos efectos resultan en una marcada reducción de potencia a temperaturas bajo cero. Menos potencia esta disponible porque el material activo no reacciona con la misma velocidad que a temperaturas normales. En estas condiciones existen estándares que miden la corriente que puede suministrar una batería de plomo acido a -18ºC, comercialmente en el orden de 200 a 1000Amperes. Para suministrar esta corriente y evitar la polarización y su consecuente perdida de tensión es imperativo considerar en el diseño de la batería una resistencia interna del orden de millonésimas de Ohm.

La popularidad de la batería plomo acido proviene en parte por su comparativamente alta tensión de circuito abierto (aprox. 2,1V). Otros factores positivos son su bajo costo, versatilidad y excelente reversibilidad del par electroquímico. La mayor limitación reside en su alto peso, consecuencia de la alta masa atómica del Pb y su relativamente pobre rendimiento a bajas temperaturas. La energía especifica de una batería plomo acido, contando solo reactivos, es de 170 Wh/kg. Pero en la práctica es de 30 a 40 Wh/kg. Esta discrepancia es causada por el peso de los componentes inactivos (carcasa, rejillas, separadores, contactos, etc.) y por una pobre utilización del material activo. Esto ultimo es debido a el lento proceso de difusión del acido en los reactantes porosos y la baja conductividad del producto de la descarga (el sulfato de plomo), que cubre

partículas individuales y tiende a aislarlas eléctricamente. El sulfato de plomo también bloquea los poros en la masa activa e impide de esta manera el suministro de acido. Investigaciones están siendo conducidas con el fin de incrementar la utilización de la masa activa.

Para lograr una determinada tensión se colocan en serie celdas de 2V hasta lograr la tensión deseada.

La vida de la batería está definida como terminada cuando la potencia suministrada es inadecuada para movilizar el motor de un vehículo o cuando no puede ser sostenida durante suficiente tiempo. Durante la vida útil de la batería un proceso de degradación progresiva se sucede especialmente en la placa positiva. Este incluye: Perdida de material activo, corrosión de las redes y terminales; formación y acumulación irreversible de sulfato de plomo inactivo. Acumulándolos estos efectos resultan en la necesidad de cambiar la batería. Si durante la operación la batería es descargada totalmente frecuentemente, o si la tensión de carga es superior a la recomendada se reduce considerablemente su vida útil ya que se producen reacciones (tales como la producción de gases) que terminan perjudicando la operación de la batería.

Las baterías tubulares fueron diseñadas para que puedan soportar lo expuesto anteriormente. Son baterías pensadas para tracción. En una celda tubular la placa positiva es construida a partir de una serie de barras con aletas de aleaciones de plomo que esencialmente se parece a un peine. Estas actúan como colectores de corriente y son insertadas en tubos hechos de fibras de vidrio o poliéster cosido o tejido. Los tubos pueden ser montados ya sea individualmente o unidos juntos en un fila con un espaciado idéntico entre barras. Los tubos son sellados en la base con tapas plásticas que son montadas a una barra común. El material activo es vertido sobre el anillo que forman la barra y la pared del tubo. Con este diseño no es posible perder material activo, excepto en casos de severo mal uso donde los tubos se pueden partir. Las baterías de tracción tubulares tienen placas convencionales como electrodos negativos y separadores convencionales. Una aleación de Plomo – Antimonio es utilizada en las barras de la placa positiva. Por esta razón las baterías son susceptibles de perder agua y requieren mantenimiento regular. En baterías de gran tamaño este hecho fue considerado y los fabricantes proveen un sistema de reserva de agua en la parte superior de batería que detectando una baja en el fluido liberan agua almacenada para compensar la perdida.

Una celda individual de 2V varía su capacidad desde menos de 100 Ah hasta 1800Ah. El menor peso es de aprox. 7 kg el mayor de aprox. 100kg. Como aproximación, la capacidad por unidad de masa es 13 Ah/kg para las celdas más chicas y de 18 Ah/kg para las más grandes. Todas las celdas son construidas a un ancho estandarizado, con largo y altura variable. El estándar británico es de 159mm y el alemán (DIN) es 198mm. Estas celdas individuales son unidas en serie para proveer la tensión deseada.

Para minimizar el efecto de la estratificación del ácido, algunos fabricantes incluyen en sus diseños circulación forzada de electrolito. Uno de estos métodos incluye bombear aire a través del acido sulfúrico. Una bomba de diafragma (para evitar la corrosión) bombea aire a través de un tubo interior de dos tubos concéntricos que alcanzan la parte más baja de la celda para luego subir por el tubo exterior haciendo circular el electrolito dentro de la celda. Varias ventajas son obtenidas a través de este método:

- No hay estratificación del electrolito ni por temperatura.
- Aceptación de carga uniforme a lo largo del área de las placas
- Menor incremento de la temperatura durante la carga.
- Reduce el tiempo de carga. Aumenta la velocidad permitida de carga.
- Minimiza la gasificación.
- Reduce el mantenimiento y el consumo de agua (hasta un 75%).
- Mayor rendimiento y mayor vida útil de la batería.
- Ahorra energía hasta en un 20%

Este sistema no esta popularizado, seguramente debido a su complejidad y costo adicionales.

Baterías Alcalinas

Las baterías alcalinas surgen porque muchos metales comunes no son estables en solución acida. De esta manera se puede ampliar el alcance desarrollando baterías acuosas con electrolitos neutros o alcalinos.

La elección del Hidróxido de Potasio (KOH) en lugar del Hidróxido de Sodio (NaOH) que es más económico es debido a la mayor conductividad eléctrica del primero. La conductancia del hidróxido de potasio a 25ºC para una concentración de 6 a 8 M es comparable con la conductividad del ácido sulfúrico utilizado en las baterías plomo acido. En cambio una solución de igual concentración de hidróxido de sodio es un 30% menos conductora este. Por lo tanto la utilización de NaOH como electrolito incrementaría la resistencia interna de la batería.

Una desventaja de la utilización del KOH es su tendencia deformar el envase y filtrar líquido, en cambio el hidróxido de sodio es más fácil de contener. En conclusión la utilización de hidróxido de potasio se generalizó ya que la baja resistencia interna supera a los problemas de contención. Pero se utiliza hidróxido de potasio en celdas pequeñas, cuando los requerimientos de corriente no son elevados y el largo servicio con pocas posibilidades de goteo es necesario (tales como baterías de botón de relojería o baterías soldadas a circuitos impresos).

Baterías recargables utilizan uno de los tres metales (Cadmio, Hierro o Zinc) como electrodo negativo y un oxido de metal en un estado de valencia superior como

electrodo positivo. Este último electrodo es generalmente Oxido de Manganeso (IV); oxido de Níquel (III) u oxido de plata (II). Celdas que utilizan Plata o Manganeso se suelen ensamblar cargadas usando AgO y MnO_2 respectivamente. En contraste celdas con Oxido de Níquel como positivo son ensambladas descargadas usando Hidróxido de Níquel ($NiOH_2$), que luego es convertido por carga eléctrica en un compuesto que generalmente se conoce como Hidróxido de Níquel Trivalente, NiOOH. Esta es una descripción imprecisa ya que un electrodo completamente cargado también contiene algo de níquel cuadrivalente. Convencionalmente se conoce al electrodo positivo simplemente como “Electrodo de Oxido de Níquel”. Existen también baterías recargables alcalinas in los cuales el metal del electrodo negativo es reemplazado por hidrogeno o en que el metal del electrodo positivo es reemplazado por oxígeno. En efecto, estos sistemas son híbridos baterías – celdas de potencia ya que pueden ser recargadas (una característica de la batería) y que acumulan reactante, ya sea hidrogeno u oxígeno, almacenado fuera de los electrodos (una característica de las celdas de potencia).

Baterías Recargables de celda Alcalina - Manganeso

Generalmente conocidas como baterías primarias las baterías si se las diseñas adecuadamente pueden ser recargadas. Es fundamental controlar la carga y descarga. Con estas dos características se obtiene un celda RAM (RechargeableAlkalineManganesecell), que combina el rendimiento de la tecnología alcalina Magnesio con la cualidad de ser reutilizable. Este tipo de celda podría ser clasificada como una batería casi secundaria.

Estas celdas tienen una capacidad considerablemente superior a baterías recargables de similar tamaño. Aunque no toda esta capacidad está disponible para recarga. Incluso con esta limitación estas celdas son apropiadas cuando una alta tensión y bajo costo son considerados.

Una celda Alcalina-Mn puede entregar hasta 10 veces más horas de servicio por uso que una celda Alcalina normal, y si la carga es restringida al 20%DoD este servicio puede extenderse varas horas más. Es preciso aclarar que las celdas Alcalinas Mn tienen un ciclo de vida inferior a una de Níquel Cadmio.

Estas celdas tienen además ventajas como no sufrir efecto memoria, no contiene Cadmio lo que hacer que su disposición final es menos toxica, son efectivas para altas temperaturas donde otras celdas alcalinas no obtienen buenos rendimientos. También pueden ser almacenadas cargadas hasta por 5 años debido a su baja tasa de auto descarga.

Actualmente, pese a que se ha probado que funciona, no se realizaron diseños para trasladar esta tecnología a la tracción.

Baterías con Electrodo Positivo de Oxido de Níquel

La gran mayoría de las baterías recargables alcalinas están basadas en Oxihidroxido de Níquel como electrodo positivo. Dentro de estas se encuentran:

La batería Níquel-Hierro:

La batería Ni-Fe empezó a ser comercializada a principio del S XX, desarrollada entre otros por A. Edison. El sistema está compuesto por Níquel Oxido como electrodo positivo y polvo metálico de hierro como el negativo. El electrolito es hidróxido de potasio concentrado, que contiene un aditivo de hidróxido de litio para crear un efecto estabilizador en la capacidad del electrodo positivo durante los ciclos de carga y descarga. Específicamente el aditivo minimiza la coagulación del material activo.

La tensión práctica de descarga es de 1.25 V. La descarga completa del electrodo de hierro ocurre en dos etapas, primero a $Fe(OH)_2$ y luego a $Fe(OH)_3$. En la práctica esta segunda reacción no ocurre ya que se dimensiona la celda con límites en el electrodo positivo, es decir existe un exceso de hierro respecto del oxihidríxido de níquel.

Estas baterías se encontraban en un principio como baterías de tracción en autoelevadores, locomotoras de minas, y linternas. El atractivo de estas baterías es que tiene 1,5 a 2 veces la energía especifica de una batería de plomo-ácido y tienen buen rendimiento a tasas altas de descarga (por ejemplo 2000 ciclos a 80%DoD). Comparando con baterías de plomo acido sin embargo la batería Hierro Níquel tiene varias desventajas:

-Rendimiento inferior a bajas temperaturas.

-Comparablemente mayor corrosión y auto descarga.

-Una pobre eficiencia energética debido al bajo sobrepotencial para la evolución del hidrogeno en el electrodo de hierro.

-Mantenimiento frecuente debido a la generación de gases durante la carga.

Estos problemas causaron su baja aprobación en el mercado contra la batería de Ni-Cd que no presenta los mismos.

Las baterías de Ni-Fe fueron probadas para tracción y tuvieron buenos rendimientos, sin embargo su alto costo de mantenimiento las convierte en poco atractivas comercialmente.

Baterías de Níquel Cadmio

La batería Ni-Cd utiliza el mismo electrodo positivo de Oxido de Níquel que la batería de Ni-Fe en combinación con Cadmio metálico como electrodo negativo.

La tensión practica de estas celdas es de 1,2 V, como la masa atómica del Cadmio es el doble de la del hierro, la energía especifica de estas celdas no es tan alta como la de la mencionada anteriormente. La energía especifica de las baterías Ni-Cd es de 30 a 40 Wh/Kg (similar a las baterías plomo acido), pero recientemente su rendimiento se incrementó a 60 Wh/kg en diseños más recientes.

Después de la batería de plomo acido la batería de Níquel Cadmio es una de las más utilizadas comercialmente. Esto se debe a su buen rendimiento a bajas temperaturas y tasas altas. Otras beneficios son su tasa constante de descarga, larga vida (2000 ciclos aproximadamente), capacidad de sobrepotencial continuo, bajo requerimientos de mantenimiento y excelente confiabilidad.

Una característica a resaltar de la batería de Níquel Cadmio es que al contar con Cadmio, un conocido cancerígeno, su tratamiento y disposición hacen necesaria una consideración adicional que no puede ser obviada.

Otra desventaja es su alto costo, aproximadamente 10 veces lo que una batería de plomo acido.

Para usos industriales y de tracción no se hicieron avances en los materiales, si en el diseño de las celdas. Actualmente se fabrican celdas para tracción con electrodos positivos fabricados a través de aglomeración a partir de polvo y electrodos positivos unidos a través de plástico y tiene una energía específica de 55Wh/kg. Se publica que la vida operativa de la celda es de 100.000 Km con un rango de 90 Km para un automóvil eléctrico.

Las baterías domesticas de Ni-Cd presentan el efecto memoria, en el que pierden capacidad si no son descargadas completamente ciclo a ciclo. Las baterías industriales no presentan este inconveniente.

Otra característica limitante es la baja velocidad de carga, debido a al diseño de la misma respecto de la generación de gases y su recombinación dentro de la celda.

Baterías de Níquel – Zinc

El Zinc es el material ideal como electrodo negativo en electrolitos alcalinos gracias a su alto potencial. Es el metal común más electropositivo capaz de ser presentado en una solución acuosa. Es decir estas celdas tienen comparablemente una muy alta tensión y una correspondientemente alta energía especifica. En la práctica una celda de Ni-Zn descarga a aproximadamente 1,6 V y puede obtenerse desde 90 hasta 100 Wh/Kg. Mientras que en una celda industrial hasta 70 Wh/Kg. Este rendimiento es substancialmente superior al de las celdas de Níquel Hierro, Níquel Cadmio o Plomo Acido. Más aun el zinc es considerado no toxico y es más económico que el Cadmio.

La gran desventaja actual de las celdas de zinc para tracción es su baja cantidad de ciclos. La gran solubilidad del zinc en hidróxido de potasio, comprado con el hierro o el cadmio tiende a reducir la vida útil. La solubilidad provoca que el zinc migre y se acumule en la placa negativa que cambia de forma y pierde capacidad. También el zinc suele formar agujas que pueden penetrar el separador y causar cortocircuitos internos. Actualmente se alcanzaron rendimientos con electrodos de zinc estabilizados que alcanzan los 500 ciclos. La capacidad especifica alcanzada en baterías de tracción es de aproximadamente 60Wh/kg.

Baterías de Níquel Metal Hidrato

Estas celdas son una evolución de las celdas de Níquel Hidrogeno que se utilizan en satélites. El hidrogeno es almacenado de manera reversible en forma de un hidrato de metal que forma el electrodo negativo de la celda. El electrodo positivo es el estándar níquel oxido.

Para proveer un medio de almacenamiento efectivo para el hidrogeno, el hidrato debería tener:

-Alta capacidad de almacenamiento.

-Formación y descomposición a una tasa apropiada.

-Capacidad de repetir los ciclos sin cambios en las características de la presión y temperatura y un bajo ciclo de histéresis.

-Buena resistencia a la corrosión.

-Haber probado ser seguro en su uso.

-Bajo costo.

Estas demandantes características todavía no fueron cubiertas.

Las características de estas celdas son: una tensión operativa de entre 1,2 y 1,3 V, una capacidad actual de 70Wh/kg (2 veces la capacidad de una batería de Níquel Cadmio) pero esta energía especifica puede llegar hasta 250Wh/Kg. Las baterías son resistentes tanto a una sobrecarga como a una sobredescarga y pueden ser operadas desde -30ºC a 45ºC. Como desventajas se encuentra su alto costo, una tasa de autodescarga superior a la de una celda Ni-Cd y un pobre aceptación de carga a altas temperaturas.

Para utilizar en tracción se fabrican celdas prismáticas capacidad de 93Ah y 64 Wh/kg a una tasa de 3 h, para ser ensambladas en bloques de 12 o 24V.

También se fabrican baterías basadas en módulos de alta energía o alta potencia. Alemanas de 75Wh/kg y 160W/kg o 55Wh/Kg y 300W/Kg.

Baterías de Litio

El litio es extremadamente atractivo como electrodo negativo debido a su baja masa atómica y alto potencial de electrodo. El litio es muy reactivo a la humedad por lo que es necesario manjar el metal y construir las celdas en cuartos secos y además utilizar de electrolito una solución no acuosa (orgánica) con una sal de litio disuelta para proveer una correcta conductividad iónica. Una amplia selección de líquidos orgánicos y sales de litio fueron investigadas. El material activo para una celda primaria es generalmente un oxido inorgánico o un sulfito o a eventualmente un fluoruro de policarbonato hecho inmovilizando flúor en un anfitrión de grafito.

Intercalación de Electrodos y celda de Litio – Metal

Experimentos durante los primero años de la década del '70 mostraron que los iones de litio eran capaces de ser electroquímicamente intercalables dentro de la estructura cristalina de los cristales de ciertos compuestos inorgánicos. Un ejemplo de esto es el bisulfito de titanio (TiS_2) que tiene un cristal con una estructura en capas, en las cuales los iones de litio se insertan a sí mismos. La reacción tiene lugar cuando bisulfito de titanio es usado como electrodo positivo en una celda que utiliza una solución de sal de litio como electrolito. La intercalación del lito es rápida y completamente reversible. No hay recristalizacion o cambio de fase, como ocurre normalmente cuando un electrodo positivo es descargado, los iones de litio simplemente son llevados a la estructura cristalina del bisulfito de titanio con solo un pequeño cambio en los parámetros de cristalinidad. Las características del bisulfito de titanio para esta aplicación son una alta capacidad para almacenar litio, rápida intercalación y des intercalación, sin cambios significativos en la estructura del cristal, buena conductividad eléctrica. Una consecuencia de que solo una fase solida esté involucrada es que la termodinámica establece una curva de tensión decreciente mientras se descarga. Más parecida a una batería primaria de zinc carbón que a una batería secundaria de Níquel Cadmio.

Se investigaron otros compuestos intercalables a partir del descubrimiento del Bisulfito de Titanio, otros compuestos prometedores son el óxido de vanadio (V_6O_13), Bisulfito de Molibdeno ($_{MoS2}$) y Molibdeno Trisulfuro (MoS_3). Existe una celda de triselenio de Nobio ($NbSe_3$) como electrodo positivo, que utiliza una fórmula de una unidad de triselenio por cada tres iones de litio, donde el electrodo negativo es hecho de un film de litio. Esta celda tiene una tensión de circuito abierto de 2,2V y puede ser descargada a 1,4V. Comparada con una celda de Níquel Cadmio de tamaño similar tiene el doble de capacidad y a su vez mayor tensión, de manera tal que su densidad de energía es dos a tres veces mayor (300 Wh/dm^3). Las celdas de Triselenio de Nobio tienen vidas útiles de más de 200 ciclos, con una tasa muy baja de autodescarga y con una vida de almacenamiento de unos 5 años. Incluso con estas características esta batería no se

produce actualmente comercialmente. Celdas con los demás compuestos antes mencionados también fue abandonada su producción comercial por motivos de seguridad en su operación tales como sobrecalentamiento durante la recarga.

Problemas en el Replaqueado del Litio

En la reacción de recarga en el electrodo negativo de una batería secundario normalmente se reduce un sal metálica a un metal libre. Si la sal es insoluble, entonces no surge ningún problema particular. En una batería Plomo Acido por ejemplo el proceso de reducción tiene lugar dentro de granos individuales de producto de descarga (sulfato de plomo) adherido al electrodo negativo, y esta es una reacción de estado sólido. Si la sal es apreciablemente soluble, sin embargo, entonces el proceso de reducción se convierte en una cuestión de electroplaquear un metal desde la solución en el electrodo negativo. Aquí problemas pueden surgir como ocurre en el electrodo de zinc en la celda de Níquel Zinc. El metal plaqueado puede no redistribuirse de manera uniforme y adicionalmente formarse agujas que tienden a causar corto circuitos internos. Con celdas de litio este problema es aún mayor ya que la totalidad del Litio descargado es acomodado en el electrodo positivo y tiene que re atravesar el electrolito como iones de litio durante la recarga y ser electroplaqueados devuelta en el electrodo negativo. Esto incrementa la posibilidad de formación de agujas y superficies no uniformes.

Una complicación adicional con celdas de litio es que el metal es termodinámicamente inestable con respecto al electrolito y es entonces capaz de reaccionar con él. En celdas primarias esto es resuelto colocando una capa de hidróxido nítrico que actúa como un electrolito solido secundario que protege al metal de reaccionar con el electrolito orgánico. Con una celda secundaria esta situación se mantiene durante la primer descarga pero durante la recarga litio finamente dividido es depositado en el electrodo negativo. La electro placa está influenciada en gran medida por la naturaleza del electrolito y las condiciones de plaqueado. El depósito de litio es inestable con respecto al electrolito y va a tender a reaccionar con él en mayor o menor medida. Esta situación puede resultan en consecuencias no deseadas. Como mejor escenario el resultado será una pérdida de capacidad ya que el litio que reaccionó no estará disponible para ser descargado.

Una situación más seria evoluciona cuando trozos de cristales de litio replaqueado quedan aislados eléctricamente del electrodo y de vuelta no están disponibles para la descarga. El peor escenario sucede cuando la reacción con el electrodo es tan rápida que el calor generado resulta en la fundición del litio y fuego dentro de la celda. La misma consecuencia puede ser causada por la formación de agujas y un consecuente corto circuito interno.

Baterías de Zinc Aire

Las baterías de zinc aire son novedosas en dos aspectos: Que tienen un material activo positivo gaseoso (oxigeno) y que pese a que no pueden ser recargadas eléctricamente pueden ser recargadas mecánicamente reemplazando el producto descargado (hidróxido de zinc) con electros de zinc nuevos. Con estas características la batería es más parecida a una celda de combustible, con el zinc como combustible. En realidad no se ajusta a ninguna de las siguientes categorías completamente. No es una celda de potencia puesto que no tiene dos reactivos gaseosos. No es una batería primaria que puede ser utilizada una sola vez antes de ser desechada y no es una batería secundaria que puede ser recargada eléctricamente. Por convención será tratada como esta última.

En principio una batería de Zinc Aire es eléctricamente recargable, pero en la práctica, años de investigación no pudieron encontrar una batería secundaria viable. El problema es el mismo que con la batería de níquel zinc, la solubilidad del hidróxido de zinc en una solución de hidróxido de potasio. Esto crea la dificultad de alcanzar una solución uniforme durante el electroplaqueado del zinc en la recarga y la formación de agujas de zinc. En la ausencia de una solución técnica fue concebida la idea de recargar la batería mecánicamente removiendo el barro de consumido de óxido de zinc e hidróxido de zinc suspendido en el electrolito de hidróxido de potasio y reemplazarlo con un electrolito nuevo y nuevo electrodos de zinc. El barro es luego devuelto a una central para reprocesado a través de deposición eléctrica del polvo de zinc que es reciclado a la batería. En definitiva la batería puede ser considerada como una batería secundaria indirecta. Ya que el electrodo de zinc es recargado eléctricamente aunque no dentro del contenedor de la batería.

Esta batería tiene dos características positivas: No requiere el desarrollo de una electrodo bi funcional de oxigeno (es decir que pueda ser utilizado en carga y en descarga) que es una tarea difícil, y en segundo lugar la recarga es razonablemente rápida. Las baterías metal aires son atractivas además porque el aire es libre y no tiene que ser cargado dentro de la batería. Esta última cualidad hace que la batería pueda tener una alta energía específica.

En Israel y Alemania se desarrollaron módulos intercambiables a base de una solución de zinc en polvo que una vez consumido son enviados una central para su procesamiento. En Alemania se utilizó para alimentar una van de correo con una autonomía de 300km con una energía especifica de 200 Wh/Kg y una modesta potencia especifica de 100 W/Kg a 80%Dod.

Baterías de Zinc Bromo

El bromo es otro excelente agente químico oxidante que puede ser utilizado en principio como una material activo positivo. Es denso pero altamente volátil, un líquido corrosivo, venenoso si es inhalado y causa ampollas severas en la piel. Manejarlo

requiere cuidad. Además la reactividad del bromo es tal que el diseño de la batería va a tener serios problemas de compatibilidad de materiales. Especialmente en el área de contención. A pesar de estas dificultades una cantidad considerable de investigación y desarrollo fue realizada con una buena medida de éxito.

La batería de zinc bromo fue patentada en 1880. Por casi un siglo quedo como simplemente un concepto interesante debido a su alta tasa de autodescarga y a la formación de agujas en el zinc. Cuando el concepto fue revisado en los 70s el acercamiento más exitoso fue el uso de un electrolito acido de bromuro de zinc ($ZnBr_2$) desde el cual el zinc puede ser electroplaqueado durante la recarga. El uso de un electrolito que fluye resulto en una morfología satisfactoria para el depósito del zinc. La tensión de la celda es 1,83V pero a una densidad de corriente de 100mA /cm^2 la tensión cae típicamente de 1,3V.

Las celdas de zinc bromo utilizan electrodos bipolares. Durante la carga el bromo es liberado en la cara positiva del este electrodo y el zinc es depositado en la cara negativa. Existe un separador de plástico microporoso a través del cual los iones pasan a formar parte del producto de la descarga del bromuro de zinc. Las celdas se conectan en serie a través de sus placas bipolares. La batería resultante tiene un loop en el electrodo positivo y un loop en el electrodo negativo y es un ejemplo de una batería de flujo. El bromuro de zinc soluble formado en la descarga es almacenado junto con el resto del electrolito en los dos loops y en repositorios externos. El electrolito en cada reservorio es bombeado a través del loop apropiado. Con una batería de estas características la capacidad de la misma está determinada por el tamaño de los tanques de reserva y la cantidad de químicos que almacena, mientras que la potencia es determinada por el tamaño del grupo de celdas. Entonces energía y potencia pueden ser separadas y evaluadas individualmente para cumplir con las demandas de su aplicación. Ventaja con la que superan a la mayoría de las baterías donde estas características esta limitadas por el tamaño y forma de los electrodos.

La más exitosa de las celdas de zinc bromo almacena el exceso de bromo fuera de la celda como un compuesto químico formado por un amonio de bromo cuaternario, como el alquilo bromuro. La mezcla de esta sal con bromo es un líquido aceitoso y denso que es inmiscible con el agua. Cuando el bromo es liberado durante la carga, el compuesto de poli bromato es producido como gotas. Estas se separan del flujo de electrolito acuoso y son almacenadas en un reservorio externo al grupo de celdas. En la descarga el bromo es devuelto a la celda en forma de una dispersión del aceite de poli bromato en el electrolito acuoso. Este es un equilibrio con bromo disuelto e iones de polimerito (Br^{3-}) donde ambos son descargados en el electrodo positivo. Esta batería requiere una descarga profunda para ecualizar el estado de carga de ambos electrodos pero no sufre ningún daño de este proceso.

En principio la construcción de un conjunto de celdas y almacenamiento es directa. Una placa bipolar es un compuesto liviano de plástico carbón formado por extrusión. El separador micro poroso es contenido entre un marco de plástico formado por inyección que incorpora canales para que el electrolito fluya. Estos componentes del conjunto son livianos y simples de fabricar son ensamblados en una configuración placa-marco como una celda de potencia. El plástico ha demostrado una buena estabilidad hacia el bromo. Similarmente es esencial que los reservorios, tubos de conexión, bombas y juntas puedan soportar la degradación por el bromo.

Existe adicionalmente preocupación por la seguridad de los materiales (plásticos) en climas cálidos. Baterías exitosas fueron construidas con energía específica de 65 a 70 Wh/kg y una potencia especifica pico de 100W/kg.

Baterías Redox

Las baterías redox son también baterías de flujo y son construidos con los mismos principios que las de zinc bromo. Con repositorios externos para almacenar los reactantes. En una batería redox sin embargo no hay electro deposición de un metal como el zinc ni un oxidante discreto como el bromo. La reacción de electrodo en las dos medias celdas involucran la oxidación y reducción de iones en el electrolito, los electrodos son inertes y actúan solo como superficies de transferencia de electrones. Una celda redox temprana era basada en un par hierro cromo. Con una tensión estándar de 1,18V. En Japón fueron construidas conjuntos de 60KW como parte de un programa de almacenamiento de energía eléctrica. Pero un escalamiento fue abandonado porque iones de metal de filtraban a través del separador causando contaminación cruzada de las dos celdas. Un nuevo método de evitar este problema es utilizar el mismo metal pero en estados de valencia distintos en ambas medias celdas. Esto es posible con el vanadio que tiene 4 estados de valencia. Con este material fue lograda una celda con una tensión estándar de 1,26V. Esta batería cuenta con 4 tanques, uno para cada reactante. Una batería redox de vanadio tiene una baja energía específica y una baja densidad de energía. Pero estas características no son serias para aplicaciones estáticas.

Baterías de Níquel Hidrogeno

La batería de níquel hidrogeno es un sistema de electrolito alcalino desarrollado a finales de los 70s específicamente para satélites. Se parece a la batería de Zinc Aire en que tiene una especie activa que es gaseosa, pero en este caso es el reactante negativo en vez del positivo. Ambos dispositivos son una especie de hibrido batería – celda de potencia. La diferencia practica es que el hidrogeno no está libremente disponible y debe ser almacenado dentro de la celda, mientras que el oxígeno es abundante en la

atmosfera. Además las baterías níquel hidrogeno son eléctricamente recargables con largas vidas útiles, cuando las baterías de Zinc Aire no lo son.

Existen relativamente pocos materiales para electrodos negativos que pueden ser utilizados en soluciones alcalinas, los más prometedores son el cadmio, el hierro, el zinc y el hidrogeno. La batería de Níquel Hidrogeno tiene un electrodo positivo de óxido de níquel y un electrodo negativo de platino hidrogeno. Esta batería fue desarrollada específicamente para reemplazar a la celda de níquel cadmio en aplicaciones espaciales ya que posee una energía especifica ligeramente superior (aprox. 50Wh/Kg) en conjunto con una muy larga vida cuando es sometida a ciclos de descarga profunda.

El electrodo de hidrogeno es completamente reversible y cuando se lo combina con un electrodo positivo de níquel oxido provee una tención de celda de 1,32V. Cuando ocurre la reacción el hidrogeno gaseoso es almacenado a presión en la misma celda. Esto requirió un trabajo considerable en cuanto al desarrollo y construcción del requerido recipiente presurizado, en las guías eléctricas a través de la pared del recipiente a la batería y en el conjunto de celdas y su respectivo soporte. El recipiente presurizado es de forma cilíndrica, con tapas semiesféricas y es construido de una aleación de Inconel (aleación de níquel cromo). Los ciclos de la celda están acompañados por un cambio en la presión del hidrogeno (de 0,2MPa descargado a 4MPa cargado). El recipiente debe soportar esta variación sin agrietarse, corroerse o quebrarse bajo presión.

El agrupado de celdas es construido a partir de electrodos de níquel que son electroquímicamente impregnados. Y electrodos estándar de celdas de potencia que consisten en platino negro disperso en papel de carbón. Los separadores están formado de una papel cerámico poroso hecho de fibras de zirconio de ytrio estabilizado (Oxido de Zirconio y Oxido de Ytrio), que absorbe el electrolito de hidróxido de potasio. La celda puede ser sobrecargada ya que el oxígeno liberado en el electrodo positivo se recombina rápidamente en el electrodo negativo. A tasas altas de sobrecarga el calor debe ser transferido fuera de la celda para evitar su deterioro por temperatura. Estas celdas son extremadamente sofisticadas y costosas pero usurparon ampliamente el uso del níquel cadmio en satélites.

Baterías Sodio Azufre

El sodio es muy atractivo como material para el electrodo negativo. Tiene un potencial de reducción alto (-2,71V) comparado con el zinc (-0,76V) y una baja masa atómica. En conjunto estas propiedades ofrecen el prospecto de una batería con alta energía específica. Más aun las sales de sodio son abundantes en la naturaleza y no toxica. El metal es fácilmente extraíble y relativamente económico. De los posibles electrodos positivos para el sodio el azufre es el superficialmente más atractivo. Este también está disponible y es económico, casi hasta el punto de ser un producto de descarte.

El problema conceptual de construir una celda de sodio azufre se reduce a encontrar un electrolito apropiado. Claramente electrolitos acuosos no pueden ser utilizados y no como en el caso del litio todavía no se encontró un polímero adecuado. Sin embargo existe una alternativa, en la década del 60 se descubrió un cerámico, la beta-alúmina que es un aislante eléctrico pero tiene una alta conductividad iónica para iones de sodio sobre los 300°C. Beta alúmina es un oxido de sodio aluminio con una compleja estructura cristalina. Existen barias formas de beta alúmina con algunas diferencias en composición y estructura. La mayor conductividad iónica es provista por Beta – Al_2O_3 que tiene una composición idealizada de Na_2O_5,$33Al_2O_3$. A 350°C la conductividad de iones de sodio es tan alta como 20S/m, un valor comparable con muchos electrolitos acuosos.

Se desarrolló y mostró una ceda de sodio azufre basada en un electrolito de beta alúmina en la forma de tubos cerámicos. En cada celda el sodio fundido (electrodo negativo) era contenido en un tubo vertical cerrado con un diámetro de 1 a 2 cm que era contenido dentro de un contenedor cilíndrico de acero. El electrodo positivo consistía de azufre fundido absorbido dentro de los poros de una tela de carbón (el colector de corriente) y almacenado dentro del anillo entre el tubo cerámico y la carcasa de acero.

La celda se descarga a 300°C a 400°C en dos etapas mientras los iones de sodio formados por ionización del sodio metálico pasan del electrodo negativo a través de la beta alúmina hasta el electrodo positivo de azufre. En la primer etapa el poli sulfato de sodio (Na_2S_5) está en equilibrio con azufre en la forma de dos líquidos inmiscibles por lo tanto la tensión es constante.

Una vez que todo el azufre fue convertido a Na_2S_5 la segunda etapa de la reacción involucra la producción de polisulfidos menores. Esta es una fase homogénea y singular donde la tensión declina linealmente a 1,78V a la composición de Na_2S_3. En este punto la descarga se detiene para evitar la formación de Na_2S_2 insoluble.

Aunque simple en concepto la batería de sodio azufre probó ser difícil de desarrollar en la práctica.

Los principales problemas encontrados fueron:

Electrolito de beta alúmina: La beta alúmina es una cerámico técnico altamente sofisticado y requiere cumplir con especificaciones exactas. Aparte de las propiedades eléctricas que son determinadas para la composición del cerámico, existe el requerimiento de densidad teórica cercana, pequeño tamaño de grano y buenas propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, fragilidad, etc.). Adicionalmente existen demandas en la tecnología de fabricación para producir tubos de calidad uniforme y tolerancia en las dimensiones, de manera masiva. Todo esto fue logrado en Japón, Alemania y EEUU.

Sellado de la celda: Las celdas deben ser selladas para separar los compartimentos de sodio y de azufre, no solo eléctricamente sino también físicamente para prevenir el transporte de vapor de un compartimento a otro y para evitar la entrada de aire. Los sellos tienen que ser resistentes a ataques químicos por ambos, el vapor de sodio y el vapor de azufre, además de tener que soportar la alternancia de ciclos térmicos sin quebrarse. La mayoría de los fabricantes se decidieron eventualmente por un collarín aislante de vidrio en la parte alta de la celda al cual componentes metálicos adecuados le fueron unidos por una junta termo comprimida.

Corrosión de las carcasas de las celdas: El poli sulfato de sodio es altamente corrosivo frente a los metales, especialmente el acero. Para superar este problema recubrimientos especiales de aleaciones de cromo fuero desarrolladas.

Pureza del Sodio: Para prevenir arrugamiento y una subsecuente fractura del tubo cerámico es importante usar sodio de alta pureza. In trabajo de laboratorio era común purificar el sodio y llenar las celdas usando cajas con guantes rellenas de argón. Luego, líneas de vacío fueron construidas para la distribución del sodio líquido

Seguridad: La reacción química del sodio fundido y el azufre es violenta y conduce a un fuego incontrolable. Las primeras experiencias mostraron que una fractura en el tubo electrolito causaba fuego dentro de la celda y consecuentemente corrosión y perforación del contenedor de la celda. Esto fue superado incorporando dispositivos de seguridad dentro de la celda que prevenían el flujo de sodio en caso de fractura.

Adicionalmente a estos problemas dos dificultades fueron encontradas al ensamblar las celdas en baterías. Primero para que las baterías fueran térmicamente autosustentables a temperaturas entre 300 y 400°C fue necesario desarrollar una coraza aislante y sistemas de control de temperatura. Este requerimiento dicto que el tamaño mínimo de la batería fuera de varios KWh. Consecuentemente la batería fue desarrollada únicamente para vehículos eléctricos o potencia estacionaria. La segunda dificultad se refiere a la ausencia de un mecanismo de sobrecarga que puede causar que una o más celdas desarrollen una alta resistencia cuando están completamente cargadas y no hay mecanismo que balancee unidades en una cadena en serie. Cuando esto ocurre en una celda de sodio azufre la tensión de la serie entera cae cuando se está en un estado de carga completa y resulta en la perdida dieléctrica del tubo cerámico. Más aun una celda fallada generalmente se transforma en circuito abierto aislando el resto de la serie a la que pertenece. El problema fue resuelto creando una organización by pass para la celda que se activa cuando una celda falla y configurando la batería como una serie de arreglos serie paralelo con conexiones paralelas cada una pocas celdas en una cadena en serie. Un sistema de protección como este limitaría el número de celda perdidas cuando una falla por abrir el circuito.

Sin embargo se lograron varios éxitos, por ejemplo una batería de 10kWh fabricada por Asea Brown BoveriGmbH con guías para suministro principal de energía, monitoreo de

tensión, protección de calentamiento y puesta a tierra. La energía especifica de aproximadamente 100Wh/kg que fueron colocadas en automóviles eléctricos. El proyecto fue discontinuado por cuestiones técnicas y comerciales.

Un enfoque diferente fue adoptado en el Reino Unido se desarrollaron celdas pequeñas de 45mm de ancho y diámetro con capacidad de 10Ah. Fueron elegidas pequeñas por cuestiones de seguridad, pero es difícil apreciar como podrían ser económicas de fabricar. Las celdas tenían una energía especifica de 200 Wh /kg a una tasa de 3 h. Esta alternativa tampoco prosperó.

Estas celdas fueron desplazadas por, no contar con un sistema contra sobrecarga, por celdas de sodio metal cloro, cuyo concepto es más sencillo.

Baterías de Litio – Polímero

Durante investigaciones realizadas en la década del 70 sobre la conducción iónica en polímeros se encontró que polímeros conteniendo un átomo heterogéneo, como oxigeno o azufre tendían a tener una alta constante dieléctrica y disolver sales de litio en concentraciones razonablemente altas. Trabajos siguientes se concentraron en el Óxido de polietileno (OPE) que disuelve sales de litio como el perclorato de litio ($LiClO_4$) y el triflorurormetano sulfato de litio ($LiCF_3SO_3$). La conductividad de estas soluciones sólidas para iones de litio es baja a temperatura ambiente (aprox. 10-5 S / m) para que la solución puedan ser de electrolitos de baterías. Sin embargo cuando se calientan sobre los 60ºC se produce una transformación en las regiones cristalinas dentro del polímero, que esencialmente no conducían iones, a regiones amorfas que presentaron conductividades mejores. Si se alcanzan los 100ºC de temperatura la conductividad alcanza los 0,1 S/m, un valor bajo comparado con los de electrolitos acuosos pero suficiente para baterías de polímero si es suficientemente fino. Cálculos muestran que para una pérdida de tensión aceptable de 10mV a través del electrolito el grosor del polímero debería estar en el rango de los 10 a 100 micrómetros.

Estos estudios tuvieron como resultado el concepto de una batería de Litio Polímero, cuyo objetivo era tener una batería ultra fina de 100 a 200 micrómetros de grosor, en la forma de una tira de litio metal laminado (como electrodo negativo), una fina hoja de polímero como electrolito y un componente de intercalación (un oxido de metal) depositado como una fina capa en un colector de corriente metálico (electrodo positivo). Para que el sistema funciones como una batería de estado sólido es necesario que los iones de metal que salgan del electrolito de polímero estén en contacto directo con las partículas del óxido de metal. Esto se puede lograr fabricando el electrodo positivo como un material compuesto en el cual el óxido activo es mesclado con grafito (para proveer conducción eléctrica). De esta manera los iones de litio conducidos a través del electrolito alcanzan la superficie de las partículas individuales del óxido activo.

Como la conductividad del electrolito del polímero es baja, incluso a 100ºC, la densidad de corriente está restringida a menos de 1mA / cm^2, para lograr que la caída de tensión a

lo largo de la celda no sea demasiado alta. Esta baja densidad de corriente es compensada por la gran superficie de la celda que puede ser del orden de varios metros cuadrados y gracias a esto la celda puede ser descargada a tasas altas.

Una vez que la lámina fue fabricada se puede configurar de diferentes maneras. Placas planas pequeñas fueron almacenadas en sobres de compuestos de aluminio plástico. Los conectores de corriente sobresalen sobre el cierre hermético. Celdas de mayor área pueden ser enrolladas en forma de cilindros o dobladas.

Celdas de este tipo se comportaban bien inicialmente pero tendían a perder capacidad bastante rápido cuando se completaban ciclos. La curva de tensión mostraba una marcada caída de 3,3V para circuito abierto a 1,7V al final de la descarga. La vida útil podía ser mejorada operando en un rango de tensión más acotado. Esta batería cobro interés ya que al poder se moldeada podía ser configurada de manera tal de adaptarse al espacio disponible.

La principal desventaja es que necesita operar en un rango de temperatura de 80ºC a 120ºC. Esto seriamente limita su aplicación. Sin embargo aplicaciones existen donde la temperatura ambiente es elevada (como contenedores al aire libre en verano) donde las baterías de soluciones acuosas tiene corta vida. De la misma manera se pensó que esta batería podía ser utilizada como fuente para la tracción de vehículos eléctricos que tendría que afrontar todos los extremos del clima.

En contraste una batería que opera alrededor de 100ºC seria independiente de la temperatura externa y por lo tanto no sería difícil de mantener a la temperatura operacional.

En tiempos más recientes la restricción de temperatura de la celda de litio polímero fue superada incorporando un electrolito de líquido orgánico convencional en la matriz del polímero para hacer un electrolito amorfo o Gelionico. Cuando es optimizado este electrolito tiene las mismas propiedades mecánicas de una tira de polímero sólido y es esencialmente seco, pero conduce iones de litios suficientemente bien de manera que la celda que lo utiliza pueda funcionar a temperatura ambiente. Gelionico puede ser considerado como un electrolito de líquido inmovilizado y generalmente están basados en fluoruro de polivinilideno PVDF.

En el desarrollo de baterías de tracción, utilizando un electrolito de sal de litio $Li(CF_3SO_2)_2N$ disuelta en OPE produce un polímero que de 60ºC a 80ºC es capaz de entregar un pulso de potencia mayor a 200 W /kg durante 30 s, lo necesario para la aceleración de un vehículo. Para esta aplicación se produjo un módulo de 119 Ah, 20V que pesa 15,7kg. El modulo tienen una energía especifica de 155Wh/kg y una densidad de energía de 220Wh/dm^3 y una potencia especifica de 315W/kg. Se dice que tiene una vida útil superior a los 600 ciclos y es seguro a cualquier condición de abuso.

Otros desarrollos se enfocaron en la opción de apuntar al uso de polímeros sólidos en celdas de litio ion que operen a temperatura ambiente utilizando electrolitos gelionicos. Estas celdas tienen la mayoría de las ventajas de las celdas litio ion mientras que mantienen las ventajas de configuración de las finas tiras de las celdas laminadas. Estas celdas flexibles operan en promedio a 3,7V y retienen el 80% de su capacidad luego de 1200 ciclos.

Baterías de Litio de alta temperatura

Uno de los potenciales electrolitos para usar con litio es una sal fundida, las sales inorgánicas generalmente se funden a altas temperaturas, aunque existen algunas sales complejas que se pueden fundir a temperatura ambiente. Hasta el día de hoy para ninguna de estas se encontró un uso práctico en baterías de litio.

El atractivo de las sales como electrolitos es su alta conductividad iónica (100 a 500 S / m) lo que conduce a la posibilidad de baterías muy poderosas con rápidas reacciones reversibles de electrodo. Contra esto se debe considerar la severa ciencia de materiales y problemas de compatibilidad de operar baterías a altas temperaturas.

Estas baterías no pueden ser pensadas para uso doméstico porque la capacidad térmica va a ser muy baja y la perdida de calor muy alta. Es mejor considerarlas candidatas para fuentes de energía muy grandes donde estas objeciones no aparecen. La mayoría del trabajo realizado hasta el momento en estas baterías está orientado a baterías para almacenamiento de energía de suministro, sistemas de suministro ininterrumpido y baterías de tracción para submarinos y vehículos terrestres.

Las primeras investigaciones se enfocaron en pares electroquímicos exóticos tales como litio cloro y litio azufre a temperaturas de entre 300ºC y 500ºC. Aunque teóricamente la energía específica y la potencia suministrada esperada era muy alta, pronto se llegó a la realización de que existían dificultades prácticas de manejar dos líquidos y un gas o tres líquidos en una celda eran demasiado complicados, además del problema de lograr una buena compatibilidad entre los materiales. En cambio esta alternativa se abandonó para reemplazarla por un objetivo más modesto de desarrollar una celda de litio hierro sulfuro en la que el electrodo positivo es sólido a la temperatura operativa.

El electrolito de sal fundida utilizado en la celda de litio hierro sulfuro fue una halido eutéctico binario o trinario. El eutéctico binario LiCl :KCl (punto de fusión 352ºC) fue ampliamente utilizado en las décadas del 70 y 80.

Como la composición del electrolito cambia durante el uso de la celda era necesario operar las celdas de 450ºC a 500ºC. En un intento de reducir la temperatura y aliviar los problemas de corrosión, eutécticos ternarios como el LiF:LiCl:KBr fueron empleados.

Existen dos sulfatos de hierro. FeS_2 y FeS. El primer compuesto descarga electroquímicamente en dos etapas y da una curva con dos plateas de tensiones

distintivas. Solo la mayor de estas es reversible. Por lo tanto el trabajo se orientó al FeS que es más simple. Para ser preciso el FeS también entrega dos plateas de tensiones (1,64V y 1,62V) respecto del litio pero son tan cercanas que solo pueden medirse por equilibrio termodinámico y en la práctica pueden considerarse como una sola.

Pronto se encontró que los problemas de compatibilidad y control asociados al uso de litio líquido podían ser reducidos si se utiliza un electrodo de litio sólido. Esto puede ser hecho utilizando una aleación de litio que sea solida a la temperatura de operación de la celda y a través del cual el litio de difunde suficientemente rápido. Las aleaciones elegidas fueron el LiAl y el Li_4Si. Cada aleación tiene sus ventajas y desventajas aunque la mayoría de la investigación fue realizada con LiAl. El uso de esta aleación reduce la tensión de la celda en 0,3V. Hecho que se acepta considerando que no se tiene que lidiar con litio líquido. El resultado es que la celda de LiAl-FeS es una celda de baja tensión con una tensión operativa de 1,2 V. Comparable con una celda de níquel cadmio.

Muchos problemas de corrosión y compatibilidad fueron encontrados desarrollando la celda de LiAl-FeS. Una dificultad fue encontrar un material adecuado para el separador. En EEUU fue utilizado un separador de nitrito de boro porque es compatible con el electrolito. En el Reino Unido descubrieron que es más económico utilizar magnesia en polvo como inmovilizador para contener el electrolito de sal fundida. Antes de ensamblar la celda la magnesia y la mezcla del electrolito halido eran comprimidos en placas que eran sintetizadas ligeramente. Luego las placas eran unidas a los electrodos por presión. La magnesia servía de separador y como un absorvedor del electrolito y era utilizada en un modo tal de electrolito sin carencia de líquido. En ambos países varias celdas de placas planas fueron construidas en atmosferas controladas y puestas a prueba. Las celdas operaban bien y daban una excelente curva horizontal de descarga de 1,2V. En EEUU se desarrollaron celdas prismáticas. Estas tenían una dimensión de 130mm x 130mm x 20 a 40 mm de ancho con una capacidad de aproximadamente 90 Ah y una energía especifica de 100 Wh/Kg. Con una potencia especificadefraudante de solamente 80W/Kg. Celdas construidas en Alemania dieron resultados similares. Para superar el problema celdas bipolares fueron diseñadas y fabricadas en EEUU. Esto dio como resultado una mejorada energía especifica de 130 Wh / kg y una energía especifica de 240 W/Kg. Cuando se utilizó FeS_2 como electrodo positivo fue posible extender el rendimiento a 180 Wh/kg y 400 W/kg. Luego de años de investigación el proyecto fue abandonado en Alemania y Reino Unido y continúan los problemas técnicos con la batería de litio hierro sulfuro. Los principios básicos fueron establecidos y es posible que una batería práctica y viable comercialmente pueda ser creada si los incentivos existieran.

Anexo Motores

Motores eléctricos

Clasificación de motores eléctricos

I. Motores de CC (por Excitación):
   - Imán permanente.
   - Serie.
   - Independiente.
   - “Compound”.

II. Motores de CA
   - **Monofásicos**:
     - Inducción:
       - Jaula:
         - Fase Partida.
         - Capacitor.
         - Capacitor permanente.
         - Espira de Sombra.
         - Dos Capacitores.
       - Rotor Devanado:
         - Repulsión,
         - Repulsión en el arranque.
         - Repulsión – Inducción
     - Síncronos:
       - Histéresis.
       - Reluctancia
       - Imán Permanente
   - **Polifásicos**:
     - Inducción:
       - Jaula.
       - Rotor Devanado.
     - Síncronos.
   - **Universales**.

Motores Síncronos

Los motores síncronos son motores de velocidad rigurosamente constante con la frecuencia de la red. Los polos del motor siguen el campo giratorio impuesto al estator por la red de alimentación. Así la velocidad del motor es la del campo giratorio (ns = velocidad síncrona): ns = f/p (Donde f es la frecuencia en Hz y p es el número de pares de polos. El mayor para que el motor pueda proporcionar está limitado por la máxima potencia que puede ser cedida antes de la pérdida de sincronismo del rotor. Por otra parte este valor máximo de potencia electromagnética es en función del grado particular de corriente de excitación que está siendo introducida en los arrollamientos de campo. Se puede concluir que la gama de valores de f.e.m. interna, para una potencia activa dada, se encuentra entre dos límites: un valor mínimo, por debajo del cual el sincronismo se pierde y un valor máximo, determinado por la mayor corriente de excitación que el arrollamiento de campo puede soportar sin calentamiento excesivo.

Existen 3 ventajas inherentes a los motores síncronos que los hacen particularmente indicados para algunos tipos de accionamientos.

1. El rendimiento del motor síncrono es mayor que el del motor de inducción equivalente, particularmente a baja velocidad angular.
2. Los motores síncronos pueden trabajar con factor de potencia capacitivo o unitario.
3. La velocidad angular es rigurosamente constante con la frecuencia de alimentación.

Hay motores síncronos entre 80 y 3600 rpm. Esto permite que el motor se pueda acoplar directamente a la carga, incluso a baja velocidad angular, mientras que en un motor de inducción es tiene un mal rendimiento y un pobre factor de potencia a bajas velocidades y requeriría un reductor de velocidad. Estas ventajas se hacen visibles para motores cada mas grandes a partir de 300CV y siendo exclusivos a partir de los 15.000 CV.

Uno de los problemas del motor síncrono es su arranque. Se utilizan 3 mmétodos: Motor Auxiliar, un conversor de frecuencias o arranque asíncrono a través de la jaula de amortiguamiento.

Motores asíncronos

Los motores asíncronos o de inducción, por ser robustos y baratos, son los más extensamente empleados en la industria. En estos motores, el campo gira a velocidad síncrona. Teóricamente para el motor girando en vacío y sin perdidas el rotor tendría también la velocidad síncrona. No obstante, al ser aplicado un par externo al motor, su

rotor disminuirá de velocidad justamente en la proporción necesaria para que la corriente inducida por la diferencia de velocidad entre el campo giratorio (síncrono) y el rotor, pase a producir un par electromagnético igual y opuesto al par aplicado exteriormente. El par electromagnético es proporcional al flujo producido por el campo giratorio y la corriente y al factor de potencia del rotor.

La perdida de velocidad angular del motor (necesaria para que sea producido un par electromagnético), expresada por unidad de velocidad síncrona, se llama deslizamiento.

Por sus características, precio y robustez, el motor de inducción es el preferido para la mayor parte de los accionamientos. Asociados a conversores electrónicos de tensión y frecuencia variables, los motores de inducción tienden a asumir un papel casi exclusivo en los accionamientos eléctricos.

Motores de Corriente Continua

Los motores de CC son motores de velocidad ajustable. La velocidad de un motor de CC con excitación independiente puede ser obtenida por la variación de la tensión del inducido y/o por la variación del flujo en el entrehierro (excitación). Las características de estos motores están profundamente afectadas por el tipo de excitación provista. En el caso del motor series, las bobinas de campo quedan en serie con el arrollamiento del inducido. Así solo habrá flujo en el entre hierro de la maquina cuando la corriente del inducido sea diferente de cero (maquina cargada). Por otro lado, siendo el flujo prácticamente proporcional a la corriente del inducido, el par será una función cuadrática de la corriente. Por esta razón, un motor serie tiende a tener un par bastante elevado con velocidad angular baja y una velocidad sumamente elevada cuando el motor esta descargado. Teóricamente el motor serie en vacía tendría una velocidad infinitamente grande, si no fuera por sus pérdidas rotacionales. Esto hacer prohibitivas las transmisiones de potencia del motor por medio de polea y correas, pues en caso de rotura de las correas resultaría de un motor sin carga. Por otra parte los altos pares producidos por el motor en serie a baja velocidad lo hace ideal para algunos tipos de aplicaciones como la tracción eléctrica. Más aun considerando que la fuente de energía (la batería) proporciona CC. Los riesgos de elevadas velocidades con baja corriente puede ser eliminados si el motor series es provisto de un arrollamiento de campo independiente que asegure un cierto flujo mínimo.

Pese a su flexibilidad los motores de CC presentan algunas desventajas. Para una misma potencia, los motores de CC son mayores y más caros que los motores de inducción. Debido a la presencia del colector existe una mayor necesidad de mantenimiento. Además la conmutación de corriente por un elemento mecánico implica arcos y chispas, un impedimento decisivo si el motor debe ser aplicado en ambientes peligrosos. Los motores de corriente continua no deben se alimentados con tensiones muy superiores a 900 V ya que la tensión entre las delgas del colector no debe exceder los 20V. Mientras

que un motor de corriente alterna puede tener millones de voltios en sus terminales. También deben tenerse precauciones con respecto a la corriente de arranque ya que la única limitación es la resistencia del inducido, un valor invariablemente pequeño.

Las baterías proveen continua, pero ningún motor puede recibir la tensión directade las baterías porque no habría control de velocidad ni aceleración.

Características y Gráficos de Eficiencia del Motor Eléctrico

HPM150 Brushless PM Motor/Generator		
Dimensions		
Length	9.49 in	241 mm
Diameter	15.94 in	405 mm
Weight	200 lb	91 kg
Performance		
Motoring power (peak)	200 hp	150 kW
Motoring torque (peak)	480 lbf·ft	650 N·m
Regeneration power (peak)	200 hp	150 kW
Regeneration torque (peak)	480 lbf·ft	650 N·m
Maximum speed	5000 RPM	
Power density	1.00 hp/lb	1.65 kW/kg

Tabla Anexo Motores: Características del Motor

DD45-500L Inverter/Controller		
Dimensions		
Length	14.96 in	380 mm
Width	14.37 in	365 mm
Height	4.69 in	119 mm
Weight	35.0 lb	15.9 kg
Input Parameters		
Nominal input range	320 to 376 VDC	
Operating voltage input range	300 to 420 VDC	
Minimum voltage limit	240 VDC (with derated power output)	
Maximum Input current	550 A	
Inverter Type		
Control type - PWM, 3-Phase Brushless PM		
Power device	IGBT module half bridge x 3	
Switching frequency	12.5 kHz	
Standby power consumption	17 W (inverter and microprocessor)	
Liquid Cooling System		
Minimum coolant flow	8 l/min (50/50 water/glycol mix)	
Max. inlet temp of controller	131 °F	55 °C
Inner diameter of hose	5/8 in	16 mm
Max. inlet pressure	10 psig	0.7 bar
TI2812 Digital Signal Processor (internally packaged)		
Nominal input voltage	12 VDC	
Input supply voltage range	8 to 15 VDC	
Input supply current range	0.3 to 0.5 A	

Tabla Anexo Motores: Características del Inversor

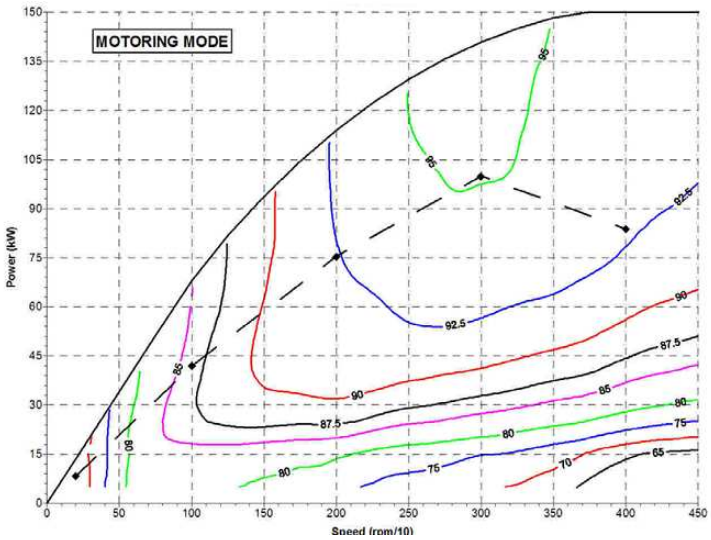

Grafico Anexo Motores: Curva de eficiencia del motor durante aceleración.

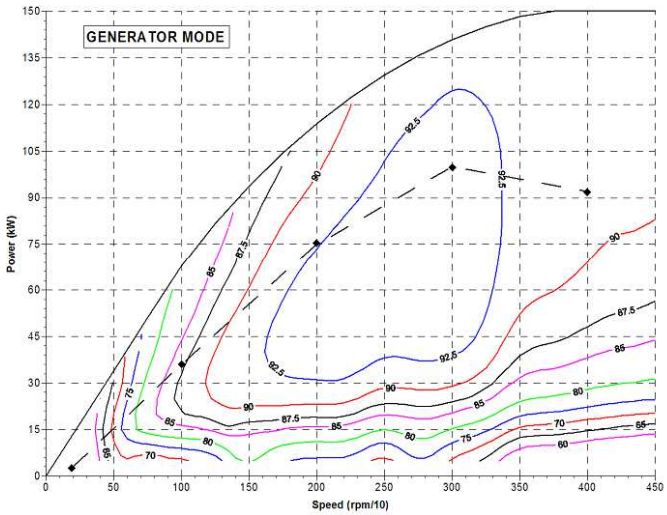

Grafico Anexo Motores: Curva de eficiencia del motor como generador.

Componentes de la electrónica de potencia

Dispositivos de Intercambio (Switches):

La tensión de todas las fuentes de potencia eléctrica varía con el tiempo, la temperatura y otros factores, especialmente la corriente. La tensión de las baterías está bastante bien regulada, pero frecuentemente se quiere cambiar la tensión a un valor más alto o más bajo, generalmente para controlar la velocidad del motor. Cuando se quiere utilizar el motor como freno regenerativo es necesario poder aumentar la tensión (y reducir la corriente) de manera continuamente variable.

La mayoría de los equipos eléctricos y electrónicos requieren de una tensión relativamente constante. Esto puede ser logrado bajando la tensión hasta un valor fijado menor al rango operativo de una celda de potencia o una batería, o por el contrario aumentarla. En otros casos se quiere lograr una tensión variable, como en el caso de los motores, a partir de una tensión bastante fija proveniente de una batería. Esto se logra intercambiando (switching) o intercalando (Chopping) utilizando los circuitos que se describen a continuación. Estos circuitos, así como los inversores y controladores del motor que se describenmas adelante utilizan switches electrónicos.

Existen tres tipos de switches principales: los tiristores, los MOSFET y los IGBT. Los MOSFET (metal oxide semiconductor fieldeffect transistor) on activados aplicando una tensión, generalmente entre 5 y 10 V a la puerta (gate). Mientras esta activo la resistencia entre el destino (drain) y la fuente (source) es muy baja. La potencio requerida para asegurar una baja resistencia a través del MOSFET es muy baja , como lo es también la corriente. El camino generado por este dispositivo se comporta con una resistencia mientras este activo. El valor de esta “resistencia” puede ser tan bajo como 0,01 Ohm. Sin embargo estos valores bajos solo son posibles con dispositivos que puedan intercambiar tensiones bajas, del orden de 50V. Dispositivos que pueden intercambiar tensiones más altas poseen “resistencias” de aproximadamente 0,1 Ohm, lo que causa pérdidasmás altas. Por lo tanto los MOSFET son ampliamente utilizados en sistemas de baja tensión con potencias menores a 1 KW.

El IGBT (InsulatedGate Bipolar Transistor) es básicamente un circuito integrado que combina a un transistor bipolar y un Mosfet, acaparando las ventajas de ambos. Requieren una tensión relativamente baja, con una corriente de activación en la puerta despreciable. El camino principal donde fluye la corriente es desde el colector al emisor., y este camino tiene las características de una junta p-n. Esto significa que la tensión no sube mucho más arriba de 0,6 V para todas las corrientes dentro del rango de operación del dispositivo. Esto lo hace la elección preferencial para sistemas donde la corriente es superior a los 50 A. También pueden ser fabricados para soportar tensiones mas altas. Como posee un tiempo de switching superior al Mosfet no son utilizados en sistemas de baja potencia son, sin embargo, los dispositivos más utilizados en sistemas desde 1 KW a varios cientos de KW.

El tiristor es el switch electrónico más comúnmente usado en la electrónica de potencia. A diferencia con el MOSFET y el IGBT, el tiristor solo puede ser utilizado como switch electrónico. La transición desde el estado de bloqueo de corriente a conducción es disparado por un pulso de corriente en la puerta. El dispositivo permanece conduciendo hasta que la corriente que lo atraviesa cese. Esto los hace especialmente útiles para rectificar circuitos de corriente alterna. Existen tiristores alternativos que pueden ser apagados enviándoles un pulso de corriente negativo a la puerta. A pesar de ser necesario solo un pulso para activarlo, la energía necesaria para el efecto de intercambio es mayor que la de sus pares antes mencionados. Más aun, los tiempos de intercambio son marcadamente más largos. La única ventaja es que tensiones y corrientes muy altas pueden ser intercambiadas a través de ellos. Sin embargo este hecho no afecto a los vehículos eléctricos cuya potencias esta generalmente debajo de 1000KW.

En última instancia el componente usado como switch electrónico no es de gran importancia. Lo es sin embargo que haga el intercambio de manera rápida. No hay energía disipada cuando el circuito está abierto y la energía perdida cuando el circuito está activo es también muy baja, es cuando ocurre la transición que el producto entre la tensión y la corriente no es cero y se pierde potencia.

Reguladores de escalón descendente (buck) y Reguladores de escalón ascendente (boost)

Los componentesesenciales son un switch electrónico asociado con un circuito de dirección, un diodo y un inductor (una bobina). En el caso de los reguladores boost es necesario contar adicionalmente con un capacitor. En el caso de un sistema buck, cuando la corriente circula por la bobina esta genera un campo electromagnético produciendo que la corriente aumente gradualmente, cuando el switchesta apagado la energía almacenada en la bobina sigue fluyendo a través de la carga utilizando el diodo. El sistema boost opera de manera similar.

La tensión a través de la carga puede ser alisada aún más utilizando capacitores de ser necesario. Para ambas existe una relación entre las olas generadas por la oscilación ON – OFF del switch y la frecuencia, a mayor frecuencia menos olas, pero aumenta la potencia perdida debido que aumenta la cantidad de instancias ON – OFF donde se pierde parte de la misma. En la práctica estas se mantienen bajas, la eficiencia debe ser mayor de 90%, y hasta un 98% si se manejan tensiones más altas (a partir de los 100V).

BIBLIOGRAFIA

- Orlando Lobosco,JoseLuiz Pereira da Costa Dias. 1989. Selección y aplicación de motores eléctricos, Tomo 1

  EditorialMarcombo, ISBN 8426707696

- Ronald Dell, David Anthony James Rand. 2001. Understanding batteries, Royal Society of Chemistry paperbacks, RSC paperbacks

  Royal Society of Chemistry, ISBN 0854046054, 9780854046058

  James Larminie, John Lowry. 2003. Electric Vehicle TechnologyExplained

  John Wile y & Sons Ltd, ISBN 0470851635

- J Ferris Tortajada, J A Lopez Andreu, J Gacrica Castell, J Aliaga Vega, A Cánovas Conesa, Ve Ferris Garcia. 2003. Autobuses escolares y motores diesel: contaminación atmosférica, exposición pediátrica y efectos adversos en la salud humana.

  Revista Española de Pediatría, Edición Enero 2003

- J L Diaz, A Pardo. 2004. Estrategias avanzadas de control en accionamientos de corriente alterna.

  Revista Ciencia e Ingeniería Volumen 25

- D'Angiola, L. Dawidowski, Gomez, M. Osses.2009. On-roadtrafficemissions in a megacity.

  AtmosphericEnvironmentNro44, 2010

- Sosa, Wulff, Kogan, Azán.2010.Observatorio de Movilidad Urbana para América Latina

  Corporación Andina de Fomento, ISBN: 978-980-6810-54-9

- Alberto González Pérez. 2010. Implantación de VE.

  Universidad de Vigo. 2010

- MounirZeraoulia, Mohamed El HachemiBenbouzid, DembaDiallo.2006. Electric Motor Drive Selection Issues for HEVPropulsion Systems: A Comparative Study

  IEEE Transactions on vehicular technology, Vol. 55, No. 6

- Marcelo Francisco Sandoval Z. Jaime Germán Bonilla A, Eduardo Alejandro Tusa J, Olga Lucía Quintero M.. Año.Controlador de un vehículo eléctrico utilizando los sistemas de inferencia Mandani y Sugeno.

- Diario La Nación

  http://www.lanacion.com.ar / Página Vigente 04 / 04 / 2011

- J. Dixon, I. Nakashima, E. F. Arcos, and M.Ortúzar.2010. Electric Vehicle Using a Combination of Ultracapacitors and ZEBRA Battery.

  IEEE Transactions on vehicular technology, Vol. 57, N° 3
- Comisión Nacional de Regulación del Transporte. 2011

  http://www.cnrt.gov.ar Página Vigente 05 / 06 / 2011
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. 2011

  http://www.buenosaries.gob.ar/ Página Vigente 07 /05 / 2011
- Secretaria de Medio Ambientey Desarrollo Sustentable de la Nación. 2011

  http://www.ambiente.gov.ar / Página Vigente 10 / 06 / 2011
- Pagina Secretaria de Transporte. 2011

  http://www.transporte.gov.ar/ Página Vigente 06/07/2011
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee). 2011

  http://www.conae.gob.mx/ Página Vigente 07/07/2011
- Asociación de Concesionarios de la República Argentina. 2011

  http://www.acara.org.ar/economicos/pdf_anuario/2010/CH3.pdf/ Pagina Vigente 18/07/2011
- Mercedes Benz Argentina. 2011

  http://www2.mercedes-benz.com.ar/buses_ficha.aspx?idBus=36/ Pagina Vigente 21/06/2011
- Gobierno Municipal de Vancouver, Canadá. 2011

  http://vancouver.ca/sustainability/documents/ElectricVehicleClassificationTable.pdf/ Pagina Vigente 13/07/2011
- Green Car Congress. 2011

  http://www.greencarcongress.com// Página Vigente 26/07/2011
- Optare. 2011

  http://www.optare.com/ Página Vigente 01/06/2011
- ProterraInc..2011

  http://www.proterra.com/ Página Vigente 13/07/2011
- RAC Electric Vehicles Inc. 2011

  http://www.racev.com// Página Vigente 14/07/2011
- Toxco Inc. 2011

  http://www.toxco.com/ Página Vigente 14/07/2011
- Velence. 2011

http://www.valence.com / Pagina Vigente 01/07/2011