

LAS REDES INTELIGENTES Y SU INTERACCIÓN CON LOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE MOVILIDAD: BUS ELÉCTRICO.

Hermann Fuquen Consultor en Innovación Tecnológica (COLINNOVACION)

Abstract— Recientemente las ciudades se han interesado en desarrollar soluciones de movilidad de pasajeros para sistemas de transporte público/urbanos de alta eficiencia. Estos pueden ser 100% eléctricos o híbridos o mixtos. Además de los costos asociados a la adquisición o desarrollo de vehículos de esta naturaleza, surge un reto adicional relacionado con los sistemas de carga de los vehículos, y primordialmente, los sistemas de distribución de energía que requieren consideraciones particulares, relacionadas fundamentalmente con la autonomía de los vehículos y el costo de la energía eléctrica. En este artículo se exploran las mejoras tecnológicas y cómo se están preparando los generadores y distribuidores de energía eléctrica a través de las metodologías de redes inteligentes para responder a la demanda que supone la implementación de sistemas eléctricos de movilidad.

Palabras Clave— Motor Eléctrico, Baterías, Smart Grid, Carga Eléctrica

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de transporte de acuerdo con la agencia de Información de energía (IEA – International Energy Agency) contribuye en un cuarto de las emisiones totales del mundo, de las cuales un 94,7% correspondieron a consumo de petróleo, sin contar biocombustibles en 2014, tal como se puede ver en la figura 1. Por esta razón el desarrollo de sistemas de transporte con fuentes alternativas de energía generaría una serie de ventajas tanto al medio ambiente como a la diversificación de fuentes, permitiendo adicionalmente promover nuevas industrias con un componente de investigación y desarrollo por lo menos de media-alta intensidad tecnológica, así como la generación de alternativas para mejorar los indicadores que permitan disminuir emisiones, mejorando la protección al medio ambiente.

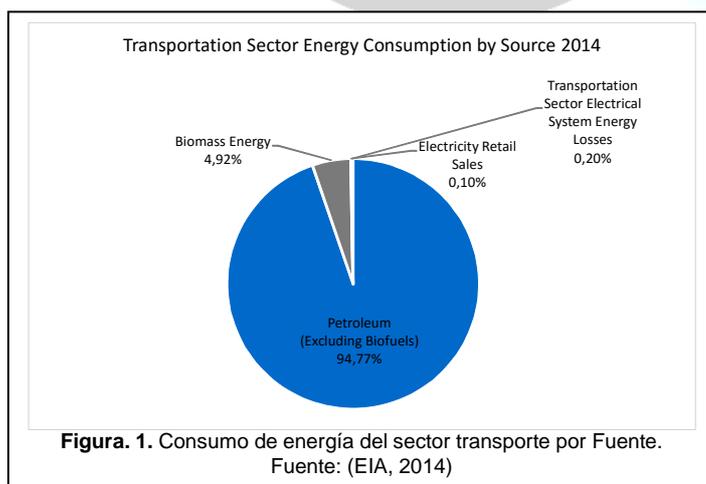


Figura. 1. Consumo de energía del sector transporte por Fuente.
Fuente: (EIA, 2014)

temas deben cumplir con ciclos de trabajo, tiempos y desplazamientos exigentes para prestar un servicio adecuado a los usuarios. Esto demanda condiciones especiales que los encargados de diseñar los sistemas de transporte deberán cumplir para brindar la estabilidad y confiabilidad al sistema, manteniendo la cuota de servicio adecuada y permitiendo un óptimo manejo de procesos de carga y descarga, con el fin de disminuir las brechas o en lo posible equiparar los costos asociados a estos nuevos sistemas, con los sistemas de buses tradicionales.

En este artículo se realiza una revisión del estado del arte enfocado a resaltar los esfuerzos que las empresas de generación y distribución eléctrica están realizando, a través de la metodología de redes inteligentes, para proveer la demanda energética que las flotas de vehículos eléctricos de transporte público requerirán en su masificación, junto al uso de carros eléctricos de uso individual en un futuro cercano.

2. ESTADO DEL ARTE EN LAS PUBLICACIONES CIENTÍFICAS

2.1 Infraestructura de Carga de Baterías

Una pieza clave de la infraestructura para la carga de baterías son los dispositivos que permiten la carga de las baterías de los vehículos eléctricos (cargadores). Con los vehículos eléctricos en uso, los paquetes de baterías se pueden recargar de la red eléctrica a través de un cargador. Se requiere este tipo de dispositivos en el proceso de carga de las baterías, debido a que el suministro de la red eléctrica normalmente se encuentra en forma de corriente alterna (AC), mientras que la batería funciona con corriente continua (DC). El cargador está diseñado para corregir el nivel de potencia de AC desde la red eléctrica a un nivel adecuado de alimentación de DC para la carga de la batería. Con el fin de realizar esta tarea, un cargador se construye generalmente como un convertidor AC/DC o

Al pensar en una solución relacionada con el transporte eléctrico principalmente si se trata de transporte masivo, se enfrentan retos que van más allá de los costos asociados a la adquisición de los vehículos eléctricos, por cuanto estos sis-

rectificador. En algunos casos especiales como lo es una estación de carga rápida, un convertidor adicional AC/DC se incluye en el diseño del cargador del vehículo eléctrico para una mejor conversión de energía (Yong, 2015). Los cargadores pueden ser instalados a bordo o fuera de los vehículos eléctricos. Un cargador a bordo es a menudo diseñado en tamaño pequeño para reducir la carga de peso para el vehículo eléctrico, sin embargo esta configuración le disminuye la potencia del vehículo y adicionalmente, el proceso de carga se vuelve muy lento. Los cargadores externos se diseñan para ser instalados en sitios fijos, con los cuales es posible proveer los servicios de carga rápida. Existen varios tipos de Standards para cargadores de vehículos eléctricos como son el SAE el cual usa niveles para categorizar tasas de carga, IEC que usa tipos y modos para estandarizar la carga, CHAdeMO se introduce como el estándar de carga rápida DC diseñado para vehículos eléctricos modernos para acelerar el despliegue de este tipo de vehículos y resuelve este problema de la ansiedad del rango (miedo del conductor de no poder alcanzar su destino por falta de carga de la batería) entre los conductores de vehículos eléctricos. Los cargadores del tipo CHAdeMO DC de carga rápida puede recargar una batería de un vehículo eléctrico a 80 % SOC (State of Charge – Nivel de la carga de la Batería) en 30 minutos mediante el uso de la energía de carga de DC óptima de 50 kW (unos 500 V y 100 A). Esta calificación de potencia de carga se afirma que es óptima y equilibrada en términos de costes y beneficios (Yong, 2015). De esta manera la ansiedad del rango que experimenta un conductor de un vehículo eléctrico disminuye al contar con estaciones de recarga más rápida que le permiten continuar su camino acercándose a las ventajas de los vehículos de gasolina.

Las configuraciones de carga anteriormente mencionadas, pueden clasificarse en el mismo grupo llamado cargadores conductores. Los cargadores conductores requieren conexión física entre la fuente de alimentación y el vehículo eléctrico. Por otra parte, un nuevo concepto de cargador emergente llamado cargador inductivo no implica ninguna conexión física entre los vehículos eléctricos y la fuente de alimentación, estas funcionan con bobinas de inducción los cuales están instalados dentro de los vehículos eléctricos y la estación de carga y el concepto de electromagnetismo se utiliza para cargar los vehículos eléctricos. El cargador inductivo es una nueva tecnología que aún requiere de maduración por lo que presenta desventajas como una menor eficiencia si se compara con los cargadores de conductores. Sin embargo, el cargador inductivo tiene algunos beneficios tales como la seguridad en el proceso de carga y durabilidad de los sistemas (Ibid).

Las distintas configuraciones de carga de baterías pueden aplicar distintos métodos de carga como son los tradicionales métodos de corriente constante, voltaje constante, potencia constante, por disminución paulatina de carga (Taper Charging) y por mantenimiento de carga (Trickle Charging)(Ibid).

Los sistemas de carga avanzada implican una combinación de los métodos anteriores, tales como corriente constante o voltaje constante. Pulso de carga y el pulso de carga negativa

son también buenas estrategias de carga para la carga rápida de una batería de un vehículo eléctrico. La carga por pulsos permite una nueva forma de cargar las baterías a través de pulsos los cuales permiten que la tasa de carga pueda ser controlada al cambiar la amplitud de los pulsos. Este método hace que la durabilidad de la batería y la velocidad de carga aumenten al estabilizar las acciones químicas de las baterías reduciendo por ejemplo la formación de gas en la superficie de los electrodos. Métodos aún más avanzados permiten regular en tiempo real el suministro de pulsos para carga según el Comportamiento de la batería (Ibid).

2.2 Infraestructura de Recargas para Buses Eléctricos

Uno de los retos fundamentales de la operación de sistemas de transporte urbano con buses eléctricos es el manejo de las restricciones de autonomía que ofrece la capacidad de las baterías de las unidades de transporte. En la actualidad suele ser insuficiente la capacidad ofrecida por las baterías para completar los recorridos diarios de una flota típica de transporte en una ciudad, por tanto es necesario desarrollar esquemas que permitan el reemplazo de las baterías descargadas por baterías cargadas de forma rápida y eficiente que permitan mitigar el impacto de la menor capacidad de autonomía de operación del bus y los largos tiempos de recarga de las baterías cuando se le compara con los buses convencionales de diésel o gas natural (Pearre, 2011). Autores como Chao & Xiaohong (2013) han desarrollado investigaciones para determinar las programaciones óptimas de buses que permitan su operación continua, la solución a estos problemas de programación de buses se ha concentrado en la actualidad en países como China donde se ha apostado desde los gobiernos locales a la implementación de buses eléctricos como el medio predilecto de transporte urbano en las ciudades chinas.

Por tanto, el determinar la cantidad de baterías en espera y la escala en cuanto al número de las instalaciones de carga para un sistema de transporte de una ciudad ha sido un motivo de preocupación recurrente para definir la viabilidad de las inversiones en estos sistemas. Las estaciones de carga públicas con sistemas de intercambio rápido y cargadores rápidos a altos voltajes y corrientes son la solución para los autobuses eléctricos en China (Chao, 2013). Para asegurar que las baterías completamente cargadas están siempre disponibles cuando un autobús regresa a la estación de intercambio de baterías, una cierta cantidad de baterías adicionales se deben mantener en la estación. El cómo determinar el número de baterías en espera y la capacidad de servicio de la estación de carga es un tema determinante que influye directamente en la viabilidad financiera de inversión y en los gastos de funcionamiento del sistema de autobuses eléctricos (Ibid).

3. ESTADO DE LA TÉCNICA A PARTIR DE LAS PATENTES

Al realizar una búsqueda de patentes relacionadas a las temáticas de recambio de baterías para utilización en vehículos de pasajeros, se obtuvo un resultado particular que vale la pena resaltar:

Patentes Relevantes a sistemas de Intercambio de Baterías

- Título de la Patente: Sistema de transporte público eléctrico incluye autobuses de transporte eléctrico con acumulador de tarjeta y sistema de control vehicular, las estaciones de recarga establecidos en algunos lugares fijos para cargar acumuladores y el mecanismo de descarga.

Inventores: LI, G

Asignado a: BEIJING DIANBA TECHNOLOGY CO LTD

Fecha de Publicación: 2011-01-26 (B2)

Número de Aplicación y fecha en PCT: WO2004CN1373A / 2004-11-29 Número de Aplicación y fecha en China: CN200410090796A / 2004-11-11 /

Resumen descriptivo de la Patente:

El sistema de transporte eléctrico incluye autobuses de transporte eléctrico con acumulador de tarjeta y sistema de control vehicular, estaciones de carga establecidas en algunos lugares fijos para cargar acumuladores y acumuladores de tarjeta. Cuando el bus eléctrico necesita un nuevo conjunto de baterías, la batería utilizada es bajada y se reemplaza con una ya cargada. Las estaciones de carga y el mecanismo de carga y descarga están equipados con sistema de control. La presente invención se caracteriza por que el sistema de control en el mecanismo de carga y descarga, el sistema de control vehicular y el sistema de control en las estaciones de carga, se comunican mutuamente. La presente invención contempla la recarga de las baterías en el tiempo valle de operación del sistema de transporte.

- Título de la Patente: Bus eléctrico y sistema de recarga de baterías.

Título Descriptivo Derwent: El sistema de bus eléctrico cuenta con un sistema de control en una pantalla que muestra el pronóstico de uso de operación de un bus eléctrico e indica la posición de intercambio de baterías que debe adoptar el bus para completar los ciclos de uso determinados.

Inventores: JUN S P; JUNG W; KIM W; PARK J S; WON J J; WON K K.

Asignado a: UNIV KOOKMIN IND ACAD COOP, UNIV SOGANG IND UNIV

Fecha de Publicación: 2015-05-05

Número de Aplicación y fecha en Corea: KR201210005A / 2012-01-31

Número de Aplicación y fecha en USA: US14492640A / 2014-09-22

Resumen descriptivo de la Patente:

El autobús eléctrico tiene una salida superior (Por el techo del vehículo) para realizar cambio de batería, esta unidad está conectada al sistema de baterías. Una unidad del sistema fijo toma una foto del autobús eléctrico cuando entra en la estación de autobuses de sustitución de baterías, identificando la unidad de bus. Una unidad de comunicación recibe información de la estación donde se realiza el intercambio de la batería. Una unidad de cálculo de la ruta obtiene ruta de conduc-

ción pronosticada para alcanzar determinada posición basada en la información de ubicación. Un sistema provee al operador en su pantalla el pronóstico de conducción que deben ejecutar según la carga de baterías

- Título de la Patente: Mecanismo de aseguramiento de batería de potencia de un bus eléctrico para un cambio rápido de baterías.

Título Descriptivo Derwent: Bus eléctrico con mecanismo rápido para cambio de batería de alimentación, cuenta con un componente de bloqueo en el lugar de montaje de la caja de batería donde se fijan los componentes, donde el componente móvil es conectado con el sistema de extracción de baterías.

Inventores: CAO T; JIAN Q; QI H; SUN Y; WANG Z; WNG M; XUE L

Asignado a: SHANDONG POWER RES INST

Fecha de Publicación: 2012-02-08

Número de Aplicación y fecha en China: CN201120246735U / 2011-07-13

Resumen descriptivo de la Patente:

El mecanismo está compuesto de una fibra de polímero para extender y retraer un conjunto de baterías para el aseguramiento de una batería de potencia. El componente móvil está conectado con la batería de alimentación de un componente extraíble. El sistema de montaje está provisto de un pin de conexión en el lugar de localización de una batería de iones de litio. Extremos internos de los pines de conexión están conectados con un brazo de bloqueo. Un extremo de un brazo de bloqueo está provisto de un extremo de un eje para la base del brazo de bloqueo.

Conclusiones de la Revisión de Patentes

Se encontraron varias patentes referentes a los sistemas de regulación y control eléctrico, arquitecturas de operación de sistemas de buses eléctricos e híbridos y medios para el intercambio de baterías de forma optimizada en sistemas de transporte masivo. El volumen de patentamiento es reciente y se estima que puedan existir varias oportunidades de seguir generando nueva propiedad intelectual que aporte al estado del arte de la tecnología.

4. REDES INTELIGENTES Y SU INTERRELACIÓN A LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Todo el desarrollo en tecnologías para la operación de vehículos eléctricos ha generado un nuevo reto a los generadores y distribuidores de energía eléctrica en las ciudades al aumentar la demanda de energía debido a la necesidad de recargar las baterías de estos vehículos para su operación, situación que puede causar sobrecargas en los transformadores, congestiones de alimentación y fallas indebidas de circuitos (Shao et al, 2012). En esta sección se realizara una breve resumen del concepto de redes inteligentes o Smart-Grid y sus implicaciones ante la masificación futuro de vehículos eléctricos.

Definición de Smart-Grid

El concepto de Smart-Grid, traducido como red de distribución de energía eléctrica inteligente, es un concepto reciente, utilizado para describir una nueva metodología utilizada por los operadores y generadores de la redes eléctricas con el fin de distribuir la energía basado en el uso de las TIC (Tecnologías de la información y comunicaciones). El término Smart Grid es usado al menos desde el 2005 con el artículo "Toward A Smart Grid" escrito por Massoud Amin y Bruce F. Wollenberg publicado en la edición de Octubre de la revista IEEE P&E (Vol. 3, No.5, pg 34-41). Anterior a este artículo, se estima que el término fue usado en 1998 como referencias dentro de artículos relacionados al tema de distribución de energía. El uso de las TIC es entonces el medio novedoso para optimizar la producción y la distribución de electricidad, con el fin de buscar un equilibrio entre la oferta y la demanda de productores y consumidores y así hacer un mejor uso de la infraestructura eléctrica de un sistema regional o nacional (Ilic et al., 2008).

El término red inteligente o Smart-Grid se asocia con el uso de medidores inteligentes capaces de generar una facturación detallada por franjas horarias lo que permitiría a los consumidores no solo el elegir las mejores tarifas entre las diferentes empresas de distribución eléctrica, sino también decidir las horas de consumo más convenientes para él, lo que permitiría un mejor uso de la red. Este sistema también permitiría mapear con más precisión el consumo y anticipar mejor las necesidades futuras a nivel local.

El concepto de Smart Grid según Ilic et al. (2008) deberá incluir acciones para el manejo y entrega de energía al consumidor siguiendo las siguientes características:

- Incrementando la confiabilidad del servicio de suministro eléctrico.
- Reducir la demanda pico
- Cambiar el horario de consumo a horas no pico.
- Disminuir el total de energía consumida.
- Activamente administrar la carga de vehículos eléctricos.
- Activamente administrar otras fuentes de generación como de fuente solar, eólica y otros recursos renovables.
- Adquirir más electrodomésticos eficientes y equipos durante el tiempo, basados en un mejor entendimiento de cómo la energía es usada por cada aparato.

Las redes Smart Grid y el manejo de su demanda y demás tácticas incluyen (Ilic et al., 2008):

- Medidores inteligentes
- Precios dinámicos
- Termostatos inteligentes y electrodomésticos inteligentes.
- Control automático de equipos
- Información en tiempo real y al siguiente día sobre consumo eléctrico a los clientes
- Programación y control de cargas tal como cargado-

res eléctricos de vehículos, redes de vecindarios y otros.

Vehículos Eléctricos y Smart-Grid

Las redes inteligentes conllevan el control de muchos elementos integradores de la red de distribución y generación eléctrica hasta el punto que muchos lugares de la red eléctrica que eran consumidores netos de energía, como el usuario residencial o industrial, se puede convertir en generador, instalando, por ejemplo, paneles solares o turbinas eólicas y aportando sus excedentes de energía a la red de distribución (Ilic et al., 2008).

Los vehículos eléctricos promueven esta transformación, al demandar más electricidad de las redes de distribución que anteriormente no tenían esta carga, ya que los vehículos se alimentaban de combustibles tradicionales. La introducción de los buses eléctricos a los sistemas de movilidad de las ciudades aumentará la demanda de electricidad al tener la necesidad de movilizar una completa flota de vehículos que necesitan estar constantemente en operación (Ibid).

En este punto cobran gran importancia las redes inteligentes para el futuro de los vehículos eléctricos y especialmente al uso de buses eléctricos. Ilic et al. (2008) describe lo que serían las redes Smart Grid en el futuro, el punto donde se destaca su visión para que el usuario final tenga a su disposición las tecnologías de sensoría y control correctos, con el fin que ellos puedan adaptar su utilización sobre amplios rangos de disponibilidad energética. El cliente se convierte en el actor fundamental para la distribución de energía y sus decisiones basadas en la información suministrada por el sistema inteligente brindarían las pautas para la definición de políticas de distribución y predicción de carga y autonomía.

Ya se encuentra en investigación distintos métodos para permitir la coordinación de los momentos de carga de vehículos eléctricos como es propuesto por autores como Deilami et al. (2011) quienes exponen una solución para la gestión de carga para múltiples tipos de vehículos eléctricos, disminuyendo costos al incorporar la variación de los precios de la energía según el momento de consumo de la energía eléctrica.

Otras investigaciones apuntan a la definición de estrategias de respuesta de la demanda en el contexto de una red de distribución inteligente. En la estrategia los consumidores, sean grandes (operadores de transporte masivo) o pequeños (residenciales), tendrán sus propias decisiones respecto a la carga de sus baterías en sus vehículos (Shao et al, 2012). Shao et al. (2012) propone estimar los índices de confort del consumidor para medir el impacto de la respuesta de la demanda según la necesidad de los consumidores. Los índices propuestos pueden proporcionar a las empresas de servicios públicos de electricidad una mejor estimación de la aceptación del cliente de un programa de respuesta a la demanda y la capacidad de un circuito de distribución para dar cabida a la penetración vehículos eléctricos o la identificación de la nece-

sidad de inversiones para ampliar dicha capacidad (Ibid).

Part C , 1171–1184.

Por tanto, las redes inteligentes permitirán el buen uso de los activos de generación, transmisión y distribución de las empresas de energía eléctrica para abastecer adecuadamente la demanda de los vehículos eléctricos, controlado el precio de la energía para que sea rentable en la operación, por ejemplo, de flotas de transporte masivo que usen buses eléctricos.

CONCLUSIÓN

El presente artículo muestra un resumen de las tecnologías orientadas a la gestión de carga de baterías y su coordinación con la red eléctrica de distribución a través de Smart Grid. La interacción de esas será fundamental para el aprovechamiento de estas nuevas tecnologías.

El desarrollo de automóviles y buses eléctricos genera grandes retos para los generadores y distribuidores de energía que estarían siendo solucionados gracias a la implementación de los sistemas de redes inteligentes (Smart Grid). La integración de todos estos factores permitirá de una manera más contundente la masificación de los vehículos eléctricos haciéndolos en un futuro parte de nuestra vida cotidiana.

Colombia está aportando en el desarrollo tecnológico de buses eléctricos, por ejemplo con el caso del bus desarrollado por EPSA con el proyecto "Ensayo con Bus de 80 Pasajeros capaz de recambiar baterías y con autonomía de 40KM" inició en el año 2013. Este tipo de iniciativas actualmente continúan con su desarrollo y perfeccionamiento. De su continuidad y apoyo de entidades privadas y públicas permitirá el aporte a la ciencia y tecnología que pueda aportar Colombia en el mundo, permitiendo así integrar estos avances a su propia flota de vehículos de transporte.

BIBLIOGRAFÍA

Chao, Z., & Xiaohong, C. (2013). Optimizing battery electric bus transit vehicle scheduling with battery exchanging: Model and case study. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 96, 2725-2736.

Deilami, S., Masoum, A. S., Moses, P. S., & Masoum, M. A. (2011). Real-time coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile. *Smart Grid, IEEE Transactions on*, 2(3), 456-467.

Ilic, M. D., Xie, L., Khan, U., & Moura, J. M. (2008). Modeling future cyber-physical energy systems. In *Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008 IEEE (pp. 1-9). IEEE.

Pearre, N. K. (2011). Electric vehicles: how much range is required for a day's driving? *Transportation Research*