

Taxonomía de la movilidad y sistemas de recarga eléctrica, perspectiva para el Paraguay.

Diego Avalos – Ricardo Alonso

Unión de Ingenieros de la ANDE - UIA

Paraguay

Resumen

El sector de movilidad en nuestro país consume grandes cantidades de combustibles fósiles. De acuerdo a datos del 2014 Paraguay consume 36 mil barriles de petróleo diarios, la mayor parte de esta demanda va destinada al transporte de personas y bienes.

Desde hace algunos años, la importación de vehículos eléctricos e híbridos, ha abierto la posibilidad de reducir la dependencia en la importación de combustibles fósiles.

A partir de esa posibilidad, surgen oportunidades para implementar mecanismos y tecnologías para la atención de la demanda de energía que prospere a partir de la inserción de los EV (*electric vehicle*) en la economía nacional. Para ello, la autonomía de la batería de los EV es una variable en el diseño de la infraestructura eléctrica necesaria para la recarga de los mismos, como también, el promedio de recorrido, la distancia máxima de desplazamiento y la disponibilidad de energía eléctrica. La ubicación óptima de estaciones de recarga es una tarea evidentemente trascendente.

En cuanto a la disponibilidad de energía eléctrica (e.g.: estaciones de recarga), es común ya en el mundo que se combinen energías renovables con las provenientes de la red eléctrica.

Los EV adicionalmente pueden contribuir a la operación de la red eléctrica, siempre que puedan volcar su energía acumulada a la red en determinados intervalos de tiempo.

Este trabajo pretende ilustrar sobre el estado del arte actual de las tecnologías de estaciones de recarga y autos eléctricos a fin de recomendar y así orientar políticas relacionadas con la movilidad eléctrica, en el corto y mediano plazo.

Objetivos.

- Presentar una visión general de los sistemas de recarga de automóviles eléctricos y su impacto dentro del sistema eléctrico de distribución, ventajas y desventajas del sistema aplicado.
- Enumerar posibles escenarios de inversión, según la tendencia mundial y regional.
- Redactar algunas recomendaciones de implementación para el sistema eléctrico paraguayo.

Palabras clave

Microgrid, Vehículo Eléctrico (VE), Estación de Recarga, *Vehicle to Grid*, *Grid to Vehicle*.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

1. Recopilación Bibliográfica.

1.1 Algo de Historia.

La historia de la movilidad eléctrica se remonta al siglo XIX cuando en Escocia Robert Anderson invento lo que sería el primer auto eléctrico entre 1832 y 1839 [1]. En 1899 la piloto Camille Jenatzy estableció un nuevo record de velocidad en Francia, superando los 100km/h con su auto eléctrico convertible llamado “La Jamais Contente”. En 1899, Ferdinand Porsche diseño un carro hibrido, el motor a gasolina funcionando a velocidad constante era utilizado para cargar baterías eléctricas, esta energía era usada para mover motores eléctricos.

En 1907, la Detroit Electric Car Company, comenzó a producir autos movidos por baterías de plomo acido. Curiosamente, Henry Ford invirtió en esta compañía junto con Thomas Edison, convencido de que el auto eléctrico tenía un futuro promisorio. Sin embargo alrededor del año 1915, debido a la aparición de las autopistas, la primera guerra mundial, y la irrupción de un combustible fósil barato inhabilitaron en términos de costos al auto eléctrico para competir con los autos movidos a combustión.

Posteriormente entre los años 60 y 70, algunos modelos aparecieron principalmente por motivaciones ambientales. Nuevamente la crisis petrolera impulsó la investigación de la movilidad eléctrica. En los años 90, General Motor introduce su modelo EV-1.

Varios intereses dieron un final al auto eléctrico por un periodo de tiempo. La industria petrolera, y los intereses en favor de celdas de combustible crearon un ambiente poco favorable a los autos eléctricos. Actualmente, el desarrollo económico y la creciente conciencia ambiental han causado una reinvencción del auto eléctrico.

Hoy día más del 90% del transporte global se mueve con petróleo. Este escenario llevo a varios países como Australia a estimar que las emisiones de carbono pueden reducirse entre el 56 y el 73% en 2050 si la electricidad por hidrogeno, almacenaje y carga de batería fueran fuentes para la red nacional de electricidad, complementando con fuentes de generación renovable. Así también, varios países europeos, EEUU, China e india se están moviendo hacia los autos eléctricos como una alternativa de autos a gasolina. En cambio en países como Brasil, la principal barrera parece ser los incentivos a la producción de biocombustibles.

En la Tabla I podemos ver una comparación entre los principales ítems en las políticas de promoción de VE. La mayoría enfoca sus esfuerzos en estrategias como incentivos en impuestos y subvenciones directas para la compra o adquisición de vehículos eléctricos.

Esta es una cuestión de interés para la instalación de parques de recarga. Así también para conducciones a mayores distancias, como puede ser usual en países emergentes, una revisión de la autonomía de los VE es necesaria. Es un campo que requiere investigación estadística.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

Tabla I: Comparación entre las principales políticas aplicadas a VE

País	Incentivos fiscales	Infraestructura de Recarga	Emisiones (reducción de CO2)	Batería	Reglas de acceso a áreas urbanas	Áreas preferenciales de Estacionamiento
Austria	si	no	si	no	no	no
Bélgica	si	Si	Si	No	No	No
Canadá	Si	No	No	No	No	No
Dinamarca	No	No	No	Si	No	No
Finlandia	Si	No	Si	No	No	No
Francia	No	Si	Si	No	No	Si
Alemania	Si	No	No	Si	No	No
Irlanda	Si	Si	No	No	No	No
Italia	No	Si	No	No	Si	No
Holanda	Si	No	Si	No	Si	No
Portugal	Si	Si	No	No	Si	Si
Corea	Si	Si	No	No	No	No
España	Si	Si	Si	No	No	No
Suecia	Si	No	Si	No	No	No
Suiza	Si	No	No	No	No	No
UK	Si	Si	Si	No	No	Si
EEUU	Si	No	Si	No	Si	Si

Una importante cuestión a analizar es la autonomía de los VE, siendo esta una de las grandes limitaciones atribuidas a la movilidad eléctrica comparada con los motores de combustión interna. El tamaño nominal de la batería de los VE de 16kWh fue derivado del hecho de que entre 50 y 60km es necesario para cubrir al menos el 80% de la conducción diaria de clientes promedios en muchos países [2].

Hoy día las investigaciones y desarrollos tienen foco en motores de reluctancia, en los cuales, la densidad de torque, eficiencia, y rango de operación puede ser competitivo, comparado con motores de imán permanente [3]. También, los sistemas de gerenciamiento de baterías (SGB) es un tópico crítico junto con el Estado de Carga (*State of Charge – SOC*), predicción de capacidad de carga y una cuestión muy importante: la carga en los sistemas de distribución de baja tensión [4].

1.1 Sistemas de almacenamiento.

Existe una variedad interesante de los sistemas de almacenamiento, muchos de los cuales ha sido y sigue siendo prometedor su uso en la industria automovilística. Podemos clasificar los sistemas de acumulación de energía en [5]:

- Mecánico: Hidro Bomba (PH), Sistemas de almacenamiento con aire comprimido (CAES) y Flywheels (FESS). Curiosamente FESS ha sido utilizado hace unos años en la máxima categoría del automovilismo deportivo mundial, la F1.
- Electroquímico: Sistemas de Almacenamiento de Energía en Baterías (BESS), incluido tecnologías como plomo-acido, ion litio (más común), NaS, Ni-Cd y baterías de flujo.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

- Eléctrico: Súper Capacitor (SCs), sistemas de almacenamiento de energía en superconducción magnética (SMES).

La superconductividad magnética puede tener aplicaciones particularmente interesantes en el campo del transporte masivo y está basado en el fenómeno que presentan algunos materiales conductores de eliminar su resistencia eléctrica y expulsar su campo magnético (material diamagnético perfecto) cuando son enfriados por debajo de una temperatura crítica (Figura 1).

Este fenómeno es conocido como Efecto Meissner y fue descubierto en 1933. Es un fenómeno asociado a la física cuántica.

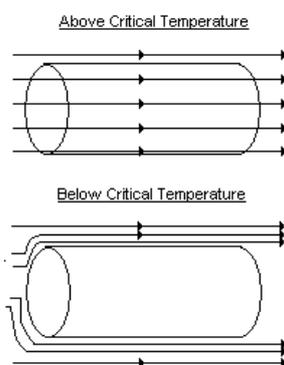


Figura 1: Efecto Meissner - expulsión del campo magnético.

- Térmico: por ejemplo *Sensitive heat Storage (SHE)* y *Ground source heat pump (GSHP)*.

1.2 Almacenamiento Electroquímico y su aplicación.

Los sistemas de almacenamiento de energía, están siendo actualmente desarrollados y desplegados en aplicaciones de pequeña, mediana y gran escala para mejorar el desempeño técnico y económico de redes inteligentes, ya que no solo tienen la capacidad de intercambio de potencia si no también puede proveer servicios a la red como regulación de tensión y frecuencia, el cual puede contribuir a mejorar la estabilidad del sistema, en particular los casos de operación de microrredes en modo aislado [6].

En ese sentido el almacenamiento electroquímico dado su flexibilidad y madurez ha tenido participación en aplicaciones como la movilidad eléctrica, regulación de frecuencia, *Peak Shaving*, Servicios auxiliares y otros [5].

El desarrollo de la electrónica de potencia y la ingeniería de control ha permitido además que los convertidores de fuente de tensión basados en IGBT's permitan la operación en 4 cuadrantes, i.e., intercambio de potencia activa y reactiva en ambas direcciones con la red [5], en la Figura 2 podemos ver un esquema de esta aplicación.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

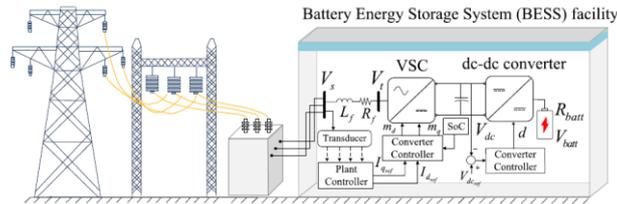


Figura 2: Topología típica y bloques de control de un sistema de almacenamiento.

En la Tabla II podemos ver una comparación con las tecnologías de almacenamiento a hoy día:

Tabla II: Características de tecnologías de almacenamiento

Technology	Power Density [kW/m ³]	Energy Density [kWh/m ³]	Power Rating [MW]	Energy Capacity [MWh]	Capital Cost [\$ /kW]	Lifetime [years]	Cycling Times [10 ³ cycles]	Round-trip Efficiency [%]	Response Time	Maturity
PH	0.01-0.12	0.5-0.133	100-5,000	500-8,000	500-2,000	30-60	10-30	70-85	mins	Mature
CAES	0.04-10	0.4-20	5-300	<1,000	400-1,800	20-40	8-12	42-54	sec-min	Developed
FESS	40-20,000	0.25-424	0.01-0.25	0.025-5	100-350	15-20	20-100	90-95	msec	Commercial
SMES	300-4,000	0.2-13.8	0.1-10	0.015	200-300	20+	>100	95	msec	Commercial
SC	15-4,500	1-35	0-0.3	0.0005	100-300	10-12	10-1,000	85-98	msec	Developing
TESS	-	80-500	0.01-300	-	200-300	5-40	-	30-80	slow	Developing
Li-ion	56-800	94-500	0-0.1	0.004-10	1,200-4,000	5-15	0.2-2	85-90	msec	Commercial
Lead-acid	10-400	25-90	0-20	0.001-40	300-600	5-15	0.2-2	85-90	msec	Mature
NiCd	38-141	15-150	0-40	6.75	500-1,500	10-20	1.5-3	60-90	msec	Commercial
VRB	2.5-33.4	10-33	0.03-3	2	600-1,500	5-10	>16	85	msec	Commercial
ZnBr	3-8.5	5.2-70	0.05-2	4	700-2,500	5-10	2-3.5	75	msec	Demonstration

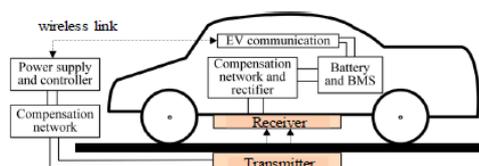
En la Tabla III, podemos ver una comparación ilustrativa entre las tecnologías existentes de baterías, en cuanto a densidad de energía, ciclos de vida y seguridad.

Tabla III: Características de baterías de Ion Litio.

Type of Li-ion	Practical Energy Density (Wh/kg)	Cycle Life	Safety
C/LiCoO ₂	110~190	500~1000	Poor
C/LiMn ₂ O ₂	100~120	1000	Safer
C/LiFePO ₄	90~115	>3000	Very safe
LTO/LiCoO ₂	70~75	>4000	Extremely safe
LTO/LiFePO ₄	~70	>4000	Extremely safe

2. Sistemas de recarga de vehículos

Los sistemas más habituales de recarga de vehículos son a través de kits, estaciones de recarga, etc. También hay en desarrollo sistemas de carga inalámbrica Figura 3, esta tecnología permite la carga sin conexiones físicas. Ofrece algunas ventajas en términos de automatización y seguridad [7].



XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

Figura 3: Integración del sistema de carga inalámbrica con los EV.

Luego los sistemas pueden agruparse de acuerdo a las prestaciones en cuanto a potencia y velocidad de recarga, pudiendo haber desarrollos para hogares y estaciones de recarga.

El desafío es implementar un sistema de carga bidireccional con la red, que soporte tecnología V2G – G2V (*vehicle to grid – grid to vehicle*). Para esto los sistemas de control deben cubrir el núcleo de esta esta tecnología [8].

V2G describe un sistema en el cual la energía puede ser vendida a la red eléctrica por el conductor de un vehículo todo-eléctrico o híbrido enchufable, cuando este es conectado a la red en los momentos que no se use para el transporte. Alternativamente, cuando las baterías del coche necesiten ser recargadas, el flujo se invertirá y la electricidad fluirá de la red al vehículo

En cuanto al sistema de gestión, los sistemas de control tienen la obligación de observar en tiempo real como los EV pueden suministrar o retirar energía de la red (carga o descarga).

Por lo tanto, las baterías deben desarrollarse aún más para cumplir mejor con el ciclo de carga/vida y brindar más seguridad. Aquí lo relacionado con el ciclo de vida de las baterías es de suma importancia para que la tecnología V2G pueda implementarse.

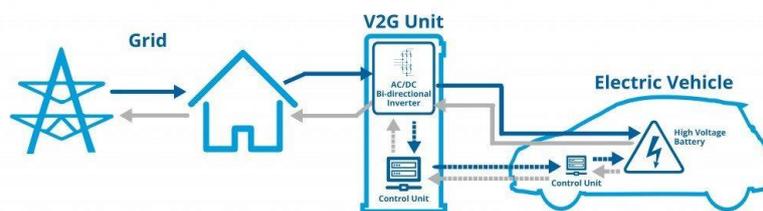


Figura 4: Tecnología V2G.

Hoy, con del desarrollo alcanzado y que se espera alcanzar con las baterías de litio y sistemas electrónicos de potencia, los investigadores se están concentrando en la tecnología V2G. Las tecnologías pueden tomar fácilmente algunas medidas para que la batería y los sistemas electrónicos de potencia proporcionen carga rápida, en el lado de la oferta y la demanda de la red. Con esos beneficios, la red podría funcionar correctamente, así se soluciona la falta de energía y almacenamiento temporal.

2.1 Velocidad de carga

Los modos de carga están especificados en la norma IEC 61851, a continuación se describe la tendencia actual de clasificación de la carga de baterías para vehículos eléctricos.

2.1.1 Carga Súper-lenta – Modo 1.

La recarga súper-lenta de coches eléctricos es poco común y apenas encontramos puntos de recarga de este tipo. Aun así, existe en lugares donde la instalación eléctrica no es adecuada y la corriente no supera los 10 A. En este caso, la velocidad de carga de los coches eléctricos, si tomamos como referencia la capacidad estándar de 24 kWh, suele ser de entre 10 y 12 horas.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

2.1.2 Carga lenta – Modo 2.

También llamada carga convencional, normal o estándar lenta, es, como su nombre indica, la más habitual. Frente a los 10 A que hemos visto en el sistema de carga súper-lenta, la carga convencional o lenta se realiza a 16 A, lo que permite realizar la recarga completa de las baterías en un plazo de 6 a 8 horas. Este tipo de recarga es la más sencilla de utilizar, ya que no requiere de instalación previa, únicamente es necesario contar con un conector doméstico Shuko.

La carga lenta es la opción más recomendada para cargar las baterías durante la noche. Además, puede permitir reducir gastos debido a la implementación de una tarifa eléctrica nocturna (residencial), más económica que en el resto de franjas horarias.

2.1.3 Carga semi – rápida – Modo 3.

La recarga semi-rápida, al contrario que la convencional si necesita la instalación previa de un punto fijo de recarga o *wall-box*. La carga semi-rápida permite recargar por completo las baterías en una hora y cuarto, a una potencia de 11kW y 22kW. Como podemos ver, la velocidad de carga de los coches eléctricos se reduce notablemente con respecto a las anteriores modalidades de carga.

Es importante señalar que este tipo de cargadores no es apto para las viviendas particulares. Debido a la gran potencia de estas instalaciones trifásicas, la carga semi-rápida queda reservada a aparcamientos públicos, empresas, etc.

2.1.4 Carga rápida – Modo 4.

La recarga rápida o *fast-charge* se realiza a una potencia muy alta, entre 44 y 50 kW. La velocidad de carga de los coches eléctricos, con una capacidad de 22 a 24 kWh, puede realizarse en apenas media hora. Una característica muy destacable de este tipo de carga, es que la media hora a la que hacemos referencia, es el tiempo necesario para recargar aproximadamente el 80% de la batería.

Habitualmente no supone ningún tipo de inconveniente pues cuando recargamos el vehículo las baterías no suelen estar del todo agotadas, pero en el caso de querer recargar el 20% restante, hasta alcanzar la carga completa, el proceso se ralentiza y puede tardar hasta 20 minutos más en alcanzar el 100%.

Por otro lado, a la gran ventaja de reducir los tiempos de carga, se contraponen ciertos inconvenientes.

No es aconsejable utilizar de forma habitual el sistema de carga rápida, pues reduciría el tiempo de vida útil de las baterías del coche eléctrico. Además, resulta más caro que utilizar un sistema de carga convencional. La recarga semi-rápida se realiza utilizando corriente continua y para ello, es necesario disponer de un conector ChaDeMo o CSS Combo. Este tipo de cargadores se utilizan principalmente en espacios públicos y electrolinerías.

2.1.5 Carga ultra-rápida.

Llegamos a la última categoría en nuestro análisis de la velocidad de carga de los coches eléctricos.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

La recarga ultra-rápida, por el momento, tiene únicamente carácter experimental. Se están realizando pruebas en vehículos dotados con súper condensadores (un tipo de acumulador), como autobuses eléctricos. Debido a su elevada potencia, permite la carga total de baterías en cinco o diez minutos. Lamentablemente, las baterías convencionales no soportarían este tipo de carga, debido a las altas temperaturas que se alcanzan en el proceso y se verían seriamente deterioradas de forma muy prematura.

2.2 Conectores

Los conectores para vehículos eléctricos son regulados por las normas IEC 62196 y modificada por la norma IEC 62196-2. El conector tipo Schuko es el más ampliamente utilizado para carga de motocicletas y bicis. La Tabla IV muestra los diferentes tipos de conector.

Tabla IV: Tipos de conectores de acuerdo al modo de carga.

Connector Type	Diagram	Number of pins	maximum voltage	maximum current	regulation	
Mode 1		2 L1, L2/N	250 V (A.C.) single-phase	16 A single-phase	CEE 7/4 Tipo F (Schuko)	
Mode 2		5 L1, L2/N, PE, CP, CS	250 V (A.C.) single-phase	32 A single-phase	IEC 62196-2	
Mode 3		7 L1, L2, L3, N PE, CP, PP	250 V (A.C.) single-phase 500 V (A.C.) triphasic	32 A single-phase 63 A three-phase	IEC 62196-2	
Mode 3		4,5 or 7 L1, L2, L3, N PE, CP, PP	250 V (A.C.) single-phase 500 V (A.C.) three-phase	16/32 A single-phase 32 A three-phase	IEC 62196-2	
Mode 4		9 2 Power, 7 of signal	500 V (d.c.)	120 A (d.c)	IEC 62196-1 UL 2551	
CCS		5 + 2	500 V (d.c)	200 A (d.c)	IEC 62196-3	
CCS		7 + 2	500 V (d.c)	200 A (d.c)	IEC 62196-3	

2.2.1 Conector CHAdeMO

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

Este conector fue desarrollado por una asociación de empresas japonesas entre las que encontramos a TEPCO (Tokyo Electric Power Company), Mitsubishi, Nissan, Toyota y Subaru. Se trata de un conector para realizar recargas rápidas en corriente continua, diseñado para soportar hasta 50 kW de potencia y una intensidad de 125 A de corriente continua. La mayoría de vehículos eléctricos japoneses disponen de este conector para posibilitar las recargas rápidas. Los modelos que montan este conector (además del conector Tipo 1 para las recargas lentas en corriente alterna y baja tensión de 230V) son el Mitsubishi iMiev, Mitsubishi Outlander, Peugeot iON, Citroën C-Zero, KIA SOUL EV, Nissan Leaf y Nissan ENV200.

2.2.2 Conector Tipo 1 (SAE J1772)

Este conector es el adoptado por los mercados asiáticos y americanos. Originario de Japón (donde también se le denomina Yazaki) es el conector que montan vehículos eléctricos como el Nissan Leaf, Nissan ENV200, Opel Ampera, Mitsubishi Outlander, Mitsubishi iMiev, Peugeot iON, Citroën C-Zero, Renault Kangoo ZE (tipo 1), KIA SOUL EV, Ford Focus electric o el Toyota Prius Plug in. El conector de Tipo 1 dispone de los mismos contactos que una clavija schuko, típicos de un conector monofásico de baja tensión: fase, neutro y tierra. Adicionalmente, dispone de dos contactos destinados para la comunicación entre el cargador externo y el vehículo. Además dispone de un dispositivo de bloqueo que impide la desconexión del conector durante la recarga.

2.2.3 Conector tipo 2 (IEC 62196-2)

Este conector es actualmente el conector homologado como standard Europeo. Se conoce también como conector Mennekes, que es el nombre del primer fabricante de este tipo de conectores.

El conector Mennekes o de tipo 2 es un conector de corriente alterna que podemos encontrar en los modelos de coches eléctricos europeos, como el Audi A3 E-tron, BMW i3, i8, Renault Zoe, Tesla Model S, Mercedes S500 plug-in, Porsche Panamera, Renault Kangoo ZE, VW Golf plug-in hybrid, VW E-up o Volvo V60 plug-in hybrid.

2.2.4 Conector Combo 2 (IEC-62196-3)

En Europa se ha optado por un conector distinto para recargar en corriente continua. Se trata de un ingenioso conector combinado que está compuesto por un conector de corriente alterna Tipo 2 (Mennekes) y un conector de corriente continua con dos contactos. El conector Combo 2 permite cargar el vehículo en modos 2, 3 y 4 a través de una sola toma, lo cual es la clave del éxito de este conector. La potencia máxima a la que puede trabajar en corriente alterna es de 44 kW (63A en trifásica 400V) y de hasta 100 kW en corriente continua, aunque actualmente sólo se realizan cargas en corriente continua de 50kW. Algunos fabricantes europeos de vehículos eléctricos ya montan este conector en sus vehículos: Audi, BMW, Porsche, Daimler y Volkswagen incorporan ya este tipo de conector.

2.3 Infraestructura de carga.

Las estaciones de recarga para EV son el conjunto primario de elementos necesarios para conectarlos a la red eléctrica. Estas estaciones son clasificadas como [9].

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

Puntos de carga: están compuestos de las protecciones necesarias y una o más tomas para carga en modo 1 o 2.

Sistema de alimentación específico o sistema de carga de vehículos eléctricos: estos sistemas contienen un conjunto de equipos instalados para proveer recarga a EVs, incluidos sistemas de protecciones, el cable de conexión y el conector. Es utilizado para carga en modo 3. Generalmente existen dos tipos: *Charging posts* y *Wall Boxes* Figura 5.



Figura 5: *Charging posts* y *Wall Boxes*

2.4 Ubicación Óptima de estaciones de recarga.

El análisis de la ubicación óptima de estaciones de recarga va de la mano de varios factores:

- Las costumbres y la paciencia humana, exigen en la mayoría de los casos la instalación de estaciones de recarga rápida [10].
- La penetración de los automóviles eléctricos en el transporte particular.
- Las distancias medias de desplazamiento que requieren los propietarios del transporte particular.
- La autonomía de los EVs.

Luego la función objetivo para ubicar las estaciones de recarga incluyen las siguientes variables: [10]

- La ubicación de las estaciones.
- La asignación de los EVs a cada estación.
- El Costo de desarrollo.
- El costo de la inversión eléctrica de la red para atender la demanda de la estación.
- Las pérdidas por desplazamiento de los EVs hasta las estaciones.
- Las pérdidas de la red eléctrica.

Por otro lado en [11] propone una revisión de la formulación propuesta en las investigaciones para la determinar la ubicación óptima de las estaciones de carga.

2.4.1 Los estudios al respecto abordan los siguientes enfoques:

Operación de Redes de Distribución:

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

- Costo de pérdidas eléctricas.
- Costo de estabilidad de tensión.
- Costo de confiabilidad.
- Beneficios de la tecnología V2G.

Abordaje de la estación de carga:

- Costo de construcción edilicia.
- Costo de la instalación electromecánica.
- Costos operativos
- Costo de conexión.
- Costo de Carga.
- Costo de Mantenimiento.
- Costo del suelo/espacio.
- Costo de mano de obra.
- Flujo de EVs.

Enfoque del usuario del EV:

- Costo de desplazamiento.
- Tiempo de espera.
- Costo del tiempo de carga.
- Beneficios de V2G.
- Costo de electricidad.

2.4.2 Técnicas de optimización.

Las variables envueltas en los problemas de optimización en la ubicación de estaciones de recarga, son como podemos inferir no lineales, combinatoriales y de gran tamaño de búsqueda. De ahí que las metaheurísticas surgen como herramientas apropiadas para resolver este tipo de problemas de programación entera no lineal.

A seguir algunas herramientas consultadas:

Algoritmos Genéticos (AG):

Como su nombre indica, AG imita los aspectos genéticos para seleccionar la población candidata a mejorar el conjunto existente de individuos. Por ejemplo en [12], costo de desplazamiento, costo de la inversión de las estaciones de carga, el costo de operación de las estaciones y las pérdidas de energía son las funciones objetivos utilizadas para formular el problema de ubicación de las estaciones de carga, siendo el problema resuelto por AG.

Recocido simulado:

El nombre proviene y está inspirado en el proceso de recocido de los metales, una técnica que envuelve el calentamiento del metal y el enfriamiento controlado del mismo para incrementar el

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

tamaño de los cristales y reducir sus defectos. En el recocido simulado, cada punto del espacio de búsqueda es comparado al estado de algún sistema físico y la función a ser minimizada es interpretada como la energía interna del sistema en ese estado. En fin, el objetivo es llevar al sistema de un estado arbitrario inicial a su estado de mínima energía posible [13].

Enjambre de Partículas:

Particle Swarm Optimization (PSO) por sus siglas en inglés es otra y eficiente heurística utilizada que optimiza este tipo de problemas de programación entera no lineal. En [14] estaciones de carga de EVs y fuentes de energía renovables son opimamente ubicadas considerando pérdidas eléctricas como función objetivo y es resuelto por esta heurística.

Colonia artificial de Abejas:

Artificial bee colony (ABC) *algorithm* fue creado para simular el comportamiento de abejas reales cuando buscan sus fuentes de alimento, como el néctar, y como intercambian la información con otras abejas en el nido. En [15] ABC y FA (*Firefly Algorithm*) son utilizadas para encontrar la ubicación óptima de estaciones de recarga en la red de distribución minimizando el costo de pérdidas de energía, uso de la potencia disponible de la red y el costo de los recursos renovables. Así también es evaluado el costo de carga y descarga.

Optimización multi objetivo.

El problema en cuestión con un enfoque multi objetivo también es abordado, como en [16] donde es utilizado *Non-dominated sorting genetic algorithm-II* (NSGA-II) para considerar costo de desarrollo de las estaciones de carga, costo de consumo específico de los EVs, pérdidas de energía, costo de generación renovable y máxima desviación de tensión admisible.

En general en la planificación de la ubicación de estas estaciones de carga se deben además evaluar el impacto ambiental y su impacto económico. En lo que respecta al impacto a la red de distribución, estas pueden ser positivas como negativas.

En lo que respecta al impacto negativo podemos citar estos aspectos:

- Impacto en la calidad de potencia.
- Impacto en la tensión.
- Impacto en las pérdidas eléctricas.
- Impacto en la confiabilidad.

Los impactos positivos serían:

- Los beneficios de los esquemas V2G.
- Fácil manejo de la generación renovable

3. Implementación.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

A partir de la validación empírica y las propuestas académicas se puede, desde la visión de este trabajo, aportar las siguientes cuestiones para promover las instancias de incorporación de tecnología para la atención de un futuro crecimiento en el parque de la movilidad eléctrica particular:

3.1 Medidas Normativas:

La redacción de normas para la instalación de los puestos de recarga así como las normativas para mitigación de posibles impactos ambientales, debe ser realizado.

Existe aún una variedad de dispositivos de conexión (Tabla IV), entonces se deberían establecer un consenso en la región para determinar cuál padrón utilizar.

Establecer criterios unificados o padronizados para la construcción de instalaciones de recarga también es una cuestión que debe ser abordada. Parece ser que el consenso en el sentido del tipo de instalación de recarga es el de la carga rápida, por ende las instalaciones eléctricas deben prever todo lo relacionado a protecciones, seguridad ambiental y emplazamiento de estas instalaciones.

Se deben también establecer los criterios de concesión de las instalaciones, quien asume el costo, los límites de potencia de las instalaciones, desde las domiciliarias hasta las dedicadas a las electrolineras.

Estas normativas deben estar explícitamente detalladas y deben establecerse metodologías claras en los procesos de consulta previa y estudios para su concesión.

3.2 Políticas de incentivo

Si bien el enfoque de este trabajo es sobre lo relacionado a los sistemas de recarga, es importante no obstante establecer algunas recomendaciones en lo que respecta a los incentivos.

En primer lugar, el consenso por lo menos a lo que respecta a los países de primer mundo, es el del incentivos fiscales (Tabla I), de igual manera se debería implementar esa estrategia principalmente a lo que respecta a la importación de EVs a sabiendas que nuestro país no tiene aún plantas automotrices.

Esas políticas de incentivo deberían también estar asociadas la instalación de puestos de recarga y a la importación o a la manufactura de las instalaciones necesarias. Sin embargo como ya fue visto y será puesto en relieve, la instalación de las electrolineras está sujeta a un análisis de optimización de ubicación.

Desarrollar un programa de incentivos a la investigación desde la academia tanto del sector público como el privado a fin de generar conocimiento y técnica es un detalle no menor que debe ser propiciado.

3.3 Planificación.

Está claro que esta tecnología requiere de esfuerzos en lo tecnológico y también en la planificación. En ese sentido el aporte de la academia para establecer y aportar al estado del arte de la ubicación optima de estas instalaciones, debe ser fundamental.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

Para ello un análisis multiobjetivo, que incluyan: desplazamiento promedio de los usuarios del transporte particular, pérdidas por el desplazamiento de los EVs, pérdidas de energía de la red, inversiones de refuerzo necesarias en la red eléctrica, costo de instalación de las electrolineras, vida útil de las baterías y las restricciones operativas de la red, deben ser abordados.

Aunque parezca lejano aun, también lo relativo a como la tecnología V2G, en conjunto con sistemas de almacenamiento, puede ser motivo de análisis a fin de optimizar el uso de los excedentes energéticos. Para ello una política de revisión tarifaria debe ser realizada, a fin de incentivar el uso de la energía para recarga en horarios de valle, y eventualmente que los EVs, o mismo las instalaciones de recarga que dispongan de acumulación puedan ayudar a la resiliencia del sistema eléctrico de distribución.

4. Conclusiones.

Este trabajo es una revisión bibliografía del estado de arte de la movilidad, baterías y ubicación de instalaciones de recarga eléctrica.

Está claro la dirección a la que apuntan estos avances tecnológicos, y de la seriedad con la que deben ser encaradas las acciones para implementarlas en nuestro país. En Paraguay, la disponibilidad de recursos renovables hace que la movilidad eléctrica sea sumamente atractiva, mediante los mecanismos adecuados.

Aunque aún hay una expectativa y una espera en cómo se comportará el mercado de la movilidad frente a la oferta actual de EVs, en los últimos años la evolución de la tecnología de baterías, electrónica de potencia, dispositivos de control, ha mostrado ser una opción atractiva, viable y sostenible. La autonomía de los EVs ha ido creciendo exponencialmente hasta ser competitivos frente a los vehículos con motor a gasolina.

Todos estos escenarios hacen que los EVs sean una tecnología que vino para quedarse.

En cuanto a la red eléctrica y su resiliencia, el aporte que puede brindar estos vehículos, incluso en la optimización energética, son factores que se están explorando y que ofrecen alternativas a un mundo cada vez más dinámico en lo económico. También en este aspecto, el diseño de las instalaciones de recarga, de modo a que puedan incorporar el uso óptimo de fuentes renovables como la energía solar o eólica y/o participar de la optimización energética de la red mediante el uso de sistemas de acumulación, es una oportunidad para el sector.

Finalmente, es particularmente importante el aporte que pueda brindar la academia en esta tecnología emergente. Es fundamental entonces, una política de incentivos orientada a la investigación, el desarrollo y la implementación de estos avances.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Martínez-Lao, F. Montoya, M. Montoya y F. Manzano, «Electric vehicles in Spain: An overview of charging systems,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 970-983, 2017.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de junio 2022

- [2] Eberle y V. Helmut, «Sustainable transportation based on electric vehicle concepts: a brief overview..» *Energy Environ Sci*, vol. 3, n° 6, pp. 689-99, 2010.
- [3] Chiba y Kiyota, «Review of research and development of switched reluctance motor for hybrid electrical vehicle..» de *2015 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD)*, Turin, Italy, 2015.
- [4] Richardson, Flynn y Keane, «Optimal charging of electric vehicles in low voltage distribution systems,» de *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego CA, USA, 2012.
- [5] F. Calero, C. Cañizares, K. Bhattacharya, M. Zambroni de Sousa y e. al, «A review of modeling and applications of energy storage systems in power grids,» *Proceeding of the IEEE*, pp. 1-25, 2022.
- [6] Datta, Kalam y Shi, «Battery energy storage system to stabilize transient voltage and frequency and enhance power export capability,» *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 34, n° 3, pp. 1845-1857, 2019.
- [7] Mohamed, Shaier, Metwally y Selem, «A comprehensive overview of inductive pad in electric vehicles stationary charging,» *Applied Energy*, n° 262, pp. 1-18, 2020.
- [8] Harighi, Bayindir, Padmanaban, Mihet-Popa y Hossain, «An overview of energy scenarios, storage systems and the infrastructure for Vehicle to Grid technology,» *energies*, n° 11, p. 2174, 2018.
- [9] I. b. S. E. y T. Ministerio de Industria, Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos. Reglamento Electrotécnico de baja tensión., España, 2014.
- [10] Sadeghi-Barzani, Rajabi-Ghahnavieh y Kazeni-Karegar, «Optimal fast charging station placing and sizing,» *Applied Energy*, vol. 125, pp. 289-299, 2014.
- [11] Ahmad, Iqbal, Ashraf, Marzband y Khan, «Optimal location of electric vehicle charging station and its impact on distribution network: A review,» *Energy Reports*, vol. 8, pp. 2314-2333, 2022.
- [12] Xiang, Liu, Li, Li, Gu y Tang., «Economic planning of electric vehicle charging stations considering traffic constraints and load profile templates.,» *Appl. Energy*, vol. 178, pp. 647-659, 2016.
- [13] Eren, Küçükdemiral y Üstoglu, «Introduction to Optimization,» *Optimization in Renewable Energy Systems*, pp. 27-74, 2017.
- [14] Reddy y Selvajothi, «Optimal placement of electric vehicle charging station for unbalanced radial distribution systems.,» *Energy Sources*, vol. 00, n° 00, pp. 1-15, 2020.
- [15] El-Zonkoly y D. S. Coelho, «Optimal allocation, sizing of PHEV parking lots in distribution system.,» *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, n° 67, pp. 472-477, 2015.
- [16] Battapothula, Yammani y Maheswarapu, «Multi-objective simultaneous optimal planning of electrical vehicle fast recharging stations and DGs in distribution system,» *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, n° 7, pp. 923-934, 2019.