

MEJORA DE LA AUTONOMÍA DE AUTOMÓVILES ELÉCTRICOS MEDIANTE MÉTODOS INALÁMBRICOS NO CONVENCIONALES

IMPROVING THE AUTONOMY OF ELECTRIC CARS USING NON-CONVENTIONAL WIRELESS METHODS

Equipo de investigación:

GRASSI, Juan José¹

BONANTINI, Mario César²

BIGGIO, Gabriel³

NOGUERA, Luciana Victoria⁴

REBECCHI CORES, Regina María⁵

Grassi, J. J., Bonantini, M. C., Biggio, G., Noguera, L. V. y Rebecchi Cores, R. M. (2025). Mejora de la autonomía de automóviles eléctricos mediante métodos inalámbricos no convencionales. *Revista INNOVA, Revista argentina de Ciencia y Tecnología*, 15.

RESUMEN

Un automóvil eléctrico, con características de equipamiento y prestación equivalentes a las de un modelo similar de combustión interna, debería estar dotado de un sistema de baterías cuyo peso hoy excedería los 3000 kg. El fuerte impacto que esto implica sobre la

¹ Titular. Ingeniero Electromecánico, UBA. Profesor, Investigador Facultad de Ingeniería, Universidad del Salvador, Argentina/ grassi.juanjose@usal.edu.ar / ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8717-6689>

² Cotitular. Ingeniero Eléctrico, UTN. Profesor, Investigador Facultad de Ingeniería, Universidad del Salvador, Argentina./ cesar.bonantini@usal.edu.ar / ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8327-2748>

³ Investigador Adjunto. Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional de Mar del Plata. Profesor, Investigador Facultad de Ingeniería, Universidad del Salvador, Argentina. / gabriel.biggio@usal.edu.ar / ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5155-8593>

⁴ Alumno practicante de grado. Carrera Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad del Salvador, Argentina. / l.noguera@usal.edu.ar

⁵ Alumno practicante de grado. Carrera Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad del Salvador, Argentina./ r.rebecchicores@usal.edu.ar

estructura y performance del vehículo ha forzado a la mayoría de las automotrices a optar por disminuir drásticamente ese valor a expensas de sacrificar autonomía. Este trabajo propone evaluar las distintas alternativas de recarga del sistema acumulador de energía de estos automóviles, minimizando el tiempo de detención. Además, analiza otras fuentes de suministro de energía, y evalúa diferentes métodos existentes de carga, con sus respectivos beneficios, incorporando inventivas que aún no han sido implementadas y pueden impactar notoriamente en el tiempo y rendimiento energético que requiere la carga de estos vehículos.

PALABRAS-CLAVE

Radiación energética; electromovilidad; nanotecnología; celdas fotovoltaicas.

ABSTRACT

An electric car, with equipment and performance characteristics equivalent to those of a similar internal combustion model, should be equipped with a battery system whose weight today would exceed 3000 kg. The strong impact that this implies on the structure and performance of the vehicle has forced most car manufacturers to opt for drastically reducing this value at the expense of sacrificing autonomy. This paper propose to evaluate the different alternatives for recharging the energy storage system of these cars, minimizing the downtime. It also analyze other sources of energy supply, and assesses the various existing charging methods, with their respective benefits, incorporating inventions that we consider have not yet been implemented and can significantly impact the time and energy performance required to charge these vehicles.

KEYWORDS

Energy radiation; electromobility; nanotechnology; photovoltaic cells.

1. Introducción

La energía eléctrica necesaria para el transporte representa un desafío significativo para la ingeniería, especialmente en el ámbito del transporte de personas mediante vehículos eléctricos EV⁶ de uso ciudadano. Con el objetivo de lograr mayor autonomía y reducir los tiempos de recarga, se han desarrollado diversos tipos de acumuladores de energía, como baterías y súper-capacitores.

En ciertos casos, para evitar el uso de estos costosos acumuladores, se han implementado soluciones alternativas para el transporte de carga o pasajeros. Entre éstas destacan los sistemas de alimentación eléctrica directa a los motores, utilizando “trolleys” o vías electrificadas en trayectos específicos.

⁶ EV: *Electric Vehicles* (Vehículos Eléctricos).

Estas soluciones permiten el uso de electricidad como fuente de energía limpia y sustentable, dependiendo de su origen, eliminando en muchos casos la dependencia de los hidrocarburos.

Estos acumuladores han impuesto un sistema de mantenimiento y elaboración que, en ocasiones, se ha tornado bastante oneroso.

2. Objeto principal

El principal objeto de este trabajo es contribuir al aumento de la autonomía de los EV y reducir el tiempo de carga sin el uso de energías tradicionales, aprovechando energías que están presentes y pueden colaborar con la autonomía.

La eliminación de todo tipo de conexión alámbrica permite desarrollar sistemas de conectividad que les permitirá a los EV desplazarse con mayor libertad utilizando recursos existentes, abundantes y a nuestro alcance, que actualmente se encuentran desaprovechados.

Se podría comparar esto con el tratamiento de los residuos, donde muchos de ellos son directamente desechados sin tener en cuenta su aptitud para ser reciclados y posteriormente reutilizados.

Mirando hacia el futuro, es posible que nuestras fuentes de energía deban reducirse y quizás ya no sean viables como fuentes principales. En un contexto global que busca optimizar recursos, nos veremos obligados a reducir drásticamente el uso de tales fuentes mediante su reemplazo por otras basadas en nuevas tecnologías.

2.1. Objetivos específicos

1. Por medio de la carga inalámbrica de las baterías, se puede extender la autonomía de los vehículos eléctricos y al mismo tiempo reducir el tiempo de carga en las estaciones.
2. Las baterías de los EV, pueden recargarse mediante energía inalámbrica proveniente de energías dispersas de las redes de transmisión y distribución eléctrica.

3. Hipótesis general

Por medio de investigaciones realizadas en la comunidad científica, se evaluarán las diferentes alternativas de energías que, estando a nuestro alcance, pueden ser aprovechadas por nuestros EV aumentando su autonomía. Basándonos en datos de información empírica recogidos en sitios adecuados del AMBA⁷, procuramos detectar y evaluar las posibilidades de recuperar energías perdidas para darles como uso, el aporte de carga a las baterías de estos vehículos.

3.1. Hipótesis particulares

1. Existen varios métodos por los cuales se puede obtener energía sin requerir conectividad y su utilización puede colaborar para aumentar la autonomía de los EV.

⁷ AMBA: Área Metropolitana Buenos Aires

2. La energía electromagnética que se pierde en las redes de transmisión y distribución eléctricas se puede capturar desde los vehículos mientras circulan o detenidos por medio de transductores⁸ adecuados y así cargar sus baterías extendiendo su autonomía.

4. Referencias conceptuales

Nuestro principal desafío de mejorar la autonomía de los vehículos eléctricos, es hacerla comparable con la de sus predecesores: los tradicionales automóviles con motor de combustión interna.

Dada la baja participación actual de estos nuevos vehículos en el parque automotor argentino, es razonable esperar que la adaptación de la infraestructura necesaria para garantizar la libre circulación por todo el país, incluyendo una amplia disponibilidad de puntos de recarga, tome todavía algunos años.

Para contrarrestar esta limitación, propia de los automóviles eléctricos, la Empresa Tesla¹ ha tomado la iniciativa de instalar 45.000 estaciones de recarga en los Estados Unidos, distribuidas estratégicamente para asegurar que los propietarios de sus vehículos tengan asegurado el reaprovisionamiento de energía, cualquiera que fuera el trayecto a cubrir.

Actualmente, EE. UU. cuenta con 188.600 puertos de carga (públicos y privados) y 67.900 estaciones de carga, según cifras del Departamento de Energía de EE. UU.

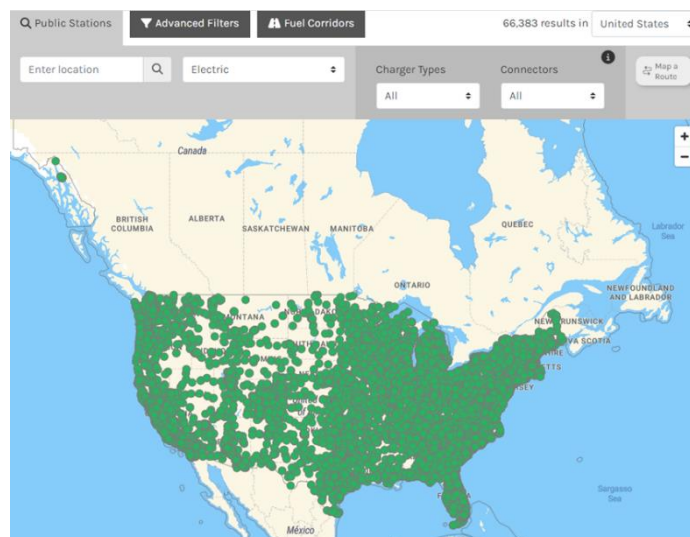


Figura 1: Relevamiento de puntos de reaprovisionamiento de energía eléctrica en USA².
Fuente: afdc.energy.gov

⁸ Un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

En el hipotético caso que se pretendiera reemplazar completamente el parque de vehículos convencionales por misma cantidad de vehículos eléctricos, un estudio de Coltura³, organización sin fines de lucro dedicada al estudio del consumo de combustibles, da cuenta de que sería necesario sextuplicar la cantidad de puntos de recarga, lo que representa un importante desafío.

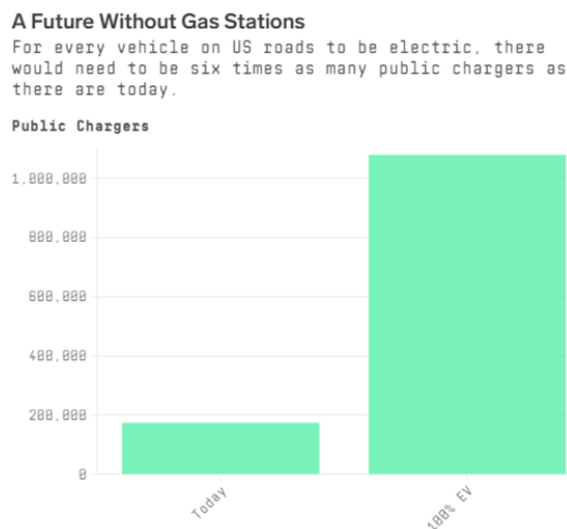


Figura 2: Estimación de puntos de recarga de vehículos eléctricos hacia el año 2040.
Fuente: Coltura

En cuanto a la infraestructura actual para el reaprovisionamiento de combustible, ese país dispone de unas 145.000 gasolineras, según el Instituto Estadounidense del Petróleo.



Figura 3: Información geoespacial obtenida por x Map⁴. Fuente: www.xmap.ai

En Argentina las cosas son un poco distintas, ya que las inversiones en materia de infraestructura están ligadas no sólo a políticas estratégicas sino también a créditos internacionales no siempre disponibles, que, además, suelen no ser lo suficientemente

ágiles como para acompañar un eventual desembarco masivo de esta nueva tecnología en el país.

Un último relevamiento llevado a cabo por este equipo de investigación, da cuenta de que en Argentina hay 73 estaciones de recarga que totalizan 141 puestos (información a octubre 2023). Más aún, de acuerdo con la información obtenida, no se puede garantizar que todos ellos se encuentren operativos.

Provincia / Ciudad	Estaciones	Puntos de Recarga
Buenos Aires	36	66
Avellaneda	3	6
Campana	1	2
Daireaux	1	1
Ezeiza	1	1
Flores	1	1
Hudson	1	1
La Plata	1	1
Uniers	1	3
Malvinas Argentinas	1	1
Mar del Plata	1	1
Pilar	4	5
Pinamar	1	1
Pompeya	1	1
San Clemente del Tuyu	1	3
San Isidro	3	4
Tigre	1	8
Wilde	1	3
Vicente López	2	2
San Martín	2	2
Chascomús	1	1
Boulogne	2	6
CABA	4	11
El Talar	1	1
Chubut	2	4
Puerto Madryn	2	4
Córdoba	9	17
Alta Gracia	1	1
Carlos Paz	1	1
Córdoba	3	9
La Calera	1	2
La Tablada	1	2
Rio Cuarto	1	2
Villa María	1	0
San Juan	1	4
Los Palacios	1	4
Santa Cruz	7	14
Bajo Caracoles	1	2
El Calafate	1	2
Gobernador Gregores	1	1
Perito Moreno	1	2
Tres Lagos	1	2
El Chaltén	1	3
La Leona	1	2
Santa Fe	8	19
Granadero Baigorria	1	6
Rosario	7	13
Tierra del Fuego	7	8
Rio Grande	4	4
Tolhuil	1	2
Ushuaia	2	2
Tucumán	2	6
San Miguel de Tucumán	1	2
Yerba Buena	1	4
Neuquén	1	3
San Juan	1	3
Total general	73	141

Tabla 1: Puntos de carga de EV en la Argentina.

Si se lograran captar algunos kWh adicionales de diversas fuentes de energía durante el uso habitual del vehículo, se cumplirían tres objetivos fundamentales: incrementar la autonomía de los vehículos, reducir la criticidad de la escasez de puntos de recarga, y disminuir el tamaño y/o la cantidad de baterías, el componente más caro y el más nocivo para el medio ambiente.

5. Análisis de alternativas

Así las cosas, este trabajo busca investigar algunas líneas de mejora de la autonomía a partir de estrategias de recarga de energía que no requieran inversiones exorbitantes en infraestructura y que, además, puedan permitir el reaprovisionamiento energético *sin necesidad de detener la marcha durante mucho tiempo*, otra gran debilidad de estos automóviles.

Sin perjuicio de que puedan existir otras fuentes de suministro de energía, que también serán oportunamente analizadas, algunas de las posibilidades previsualizadas y pasibles de ser investigadas son:

5.1. Recarga por Energía solar

Aprovechando esta importante fuente natural, su energía podría ser captada por paneles solares flexibles, ubicados en las superficies del auto expuestas a la radiación solar en el techo; el capot y eventualmente, en el baúl, de manera que no alteren el diseño original del vehículo.

Esta fuente de energía adicional consiste en el agregado de paneles solares flexibles sobre las caras superiores de la carrocería del vehículo, por supuesto, en tanto su diseño lo permita.

Dadas sus características, tales como peso, tamaño y facilidad de adaptación a distintos requerimientos, este tipo de paneles está particularmente recomendado para suministrar energía eléctrica a sistemas de potencia de elementos móviles, como, por ejemplo; embarcaciones, casas rodantes, vehículos recreativos y cualquier otro dispositivo que requiera fácil y práctico montaje, desmontaje y traslado del sistema.

La flexibilidad de estos paneles proporciona la adaptabilidad necesaria a superficies curvas, como las que caracterizan a los automóviles que nos ocupan. En la Figura 4, se puede observar un ejemplo de montaje de un panel de este tipo sobre el techo de un vehículo eléctrico.



Figura 4: Ejemplo de montaje⁵. Fuente: kpenergy.com

El aporte de energía de este sistema al sistema de baterías estará fuertemente ligado no sólo a la claridad del espacio aéreo (incidencia directa del sol), sino también al tiempo de exposición. Probablemente no sea muy contributivo en espacios urbanos y/o durante períodos de uso reducidos, pero sí ganará eficiencia en trayectos largos sobre rutas, naturalmente despejadas, y durante períodos prolongados.

A modo de ejemplo, se desarrollará un análisis cualitativo de lo que podría ser el aporte de energía de un panel de este tipo a un sistema acumulador de energía eléctrica.

El dato de partida será la curva característica Corriente-Tensión del panel. El caso ilustrado en la Figura 6, está referenciado a condiciones ambientales óptimas, con un nivel de irradiación solar de 1000 W/m^2 .

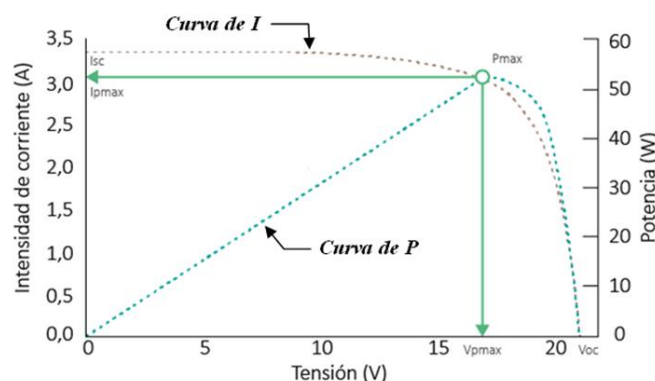


Figura 5: Gráfico de Intensidad en fusión de la Tensión y Potencia

La intensidad de la corriente al inicio de la curva es la que se corresponde con el estado de cortocircuito ($V = 0$), mientras que al final de ésta podemos apreciar el estado del panel a circuito abierto ($I = 0$). Cualquier estado intermedio representa el comportamiento eléctrico del panel para un estado de tensión específico. En nuestro caso dicho estado quedará establecido por el regulador de tensión, que, a su vez, estará configurado de manera acorde a la tensión máxima admitida por el sistema de baterías. En dicho estado tendremos una disponibilidad de potencia que resultará del producto de la intersección de las dos rectas correspondientes a la tensión fijada y a la intensidad de la corriente obtenida a partir de ella. Este valor es el que queda definido en el gráfico por I_{pmax} y V_{pmax} .

En todo proceso vinculado a una transformación energética, un dato de particular relevancia termina siendo su eficiencia. Si bien los motores eléctricos utilizados en estos vehículos suelen tener rendimientos realmente buenos (superiores al 90%), cuando se habla de transformación fotovoltaica rara vez se pueda superar el 25%. Por supuesto que esto no representa un problema desde lo económico, dado que el recurso original (radiación solar) es totalmente gratuito; pero sí lo es a la hora del dimensionamiento del sistema. El propio Elon Musk, director general de Tesla, Inc., dijo hace algunos años: *el lugar más ineficiente para el aprovechamiento de la energía solar son los automóviles*. No obstante, actualmente su empresa ha comenzado a realizar experimentos en este sentido.

Varios han sido los fabricantes de autos eléctricos que han evaluado la posibilidad de incorporar paneles eléctricos en sus vehículos. A continuación, detallaremos algunos ejemplos conocidos:

5.1.1. Proyecto Sion

Sion supo ser un proyecto de auto solar de “*Sono Motors*”. Se trataba de un automóvil de aspecto general y dimensiones muy similares a cualquier otro vehículo de gama media, equipado con un motor de 120 kW de potencia que permitiría desarrollar una velocidad máxima de 140 km/h. Contaba con un sistema de baterías de 54 kWh, lo que garantizaría

una autonomía de poco más de 300 km. Su carrocería estaba completamente cubierta por paneles solares que, según la propia empresa alemana “*Sono Motors*”, permitirían incrementar su autonomía en unos 112 kilómetros.



Figura 6: Automóvil Sión. Fuente: El Español.

Con un costo aproximado inferior a los €30.000, este vehículo asomaba como una gran opción de relativo bajo costo, pero luego de 3 años de tareas relacionadas con el diseño, a fines de 2022 las necesidades financieras de la Compañía impulsora llevaron a abortar el proyecto, por lo cual no se ha logrado fabricar ni siquiera una unidad de este modelo.

5.1.2. Proyecto *Lightyear one*

Este es otro proyecto de los llamados “autos solares” que terminó muriendo sin llegar a transitar la línea de producción seriada.



Figura 7: Lightyear One. Fuente: El Español.

El inicio de su desarrollo data de 2017, llegando a la etapa de prototipo un par de años después. Sin muchas explicaciones, la empresa, subsidiaria de la holandesa Atlas Technologies BV, termina dando por terminado el proyecto y comienza a trabajar sobre su evolución, el *Lightyear Two*⁶. Tampoco está muy claro el futuro de este modelo, aunque todo parece indicar que las ecuaciones financieras que sustentaron su lanzamiento no resultaron lo suficientemente acordes a los requerimientos del proyecto.

5.1.3. Proyecto Aptera

Asoma casi como el único proyecto con posibilidades de progresar, al menos en lo que refiere a los planes de la Compañía *Aptera Motors*.

Se trata de un biplaza construido con materiales ultraligeros, lo que contribuye a un mejor aprovechamiento energético.



Figura 8: Prototipo Aptera. Fuente: El Español.

Si bien su diseño no está alineado con lo que uno acostumbra a ver en las calles, sus desarrolladores transforman este aspecto en una de sus principales fortalezas, argumentando que su diseño aerodinámico contribuye a la optimización del consumo energético. Tal es así que se augura una autonomía de más de 640 km (se llegó a hablar, incluso, de hasta 1000 km), a los que deberían agregarse unos 64 km adicionales concedidos por los paneles solares que lo recubren. Si bien no está debidamente explicitado en la ficha técnica, se entiende que estos km adicionales son por semana, es decir, capitalizando la radiación solar a lo largo de 7 días.

5.2. Recarga de baterías por Energías Telúricas

El aprovechamiento de este tipo de energía ya fue motivo de estudio por parte de este equipo de investigación, dando origen a publicaciones en diversos ámbitos de divulgación científica bajo el título: *Aprovechamiento Energético de las Corrientes Telúricas*⁷.

En dicho trabajo se ha podido comprobar la existencia de flujos de cargas eléctricas ya sea por encima como por debajo de la corteza terrestre. Las primeras son originadas por las partículas de aire que naturalmente portan una cierta cantidad de carga eléctrica y son trasladadas con ayuda de los vientos. Valiéndonos de un aro metálico con buena permeabilidad magnética y bobinado, montado con su eje transversal paralelo al suelo, se ha logrado verificar la inducción en dicho bobinado de fuerzas electromotrices de magnitud variable.

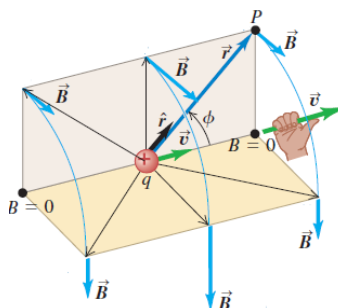


Figura 9: Campo magnético “B” producido por una carga en movimiento. Fuente: Propia

El campo magnético “B” es aquel constituido por las líneas de campo magnético que conforman el flujo magnético engendrado por cada una de las espiras de la bobina de nuestro aro de estudio.

Diversos experimentos realizados siglos atrás, terminan dando cuenta del relacionamiento de todos los factores incidentes a través de la expresión:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{|q||v|\sin\varphi}{r^2} \quad (1)$$

Donde “q” es la cantidad de carga eléctrica que porta la partícula en cuestión, “v” es la velocidad a la que se traslada y “φ” el ángulo instantáneo que forman los vectores $\vec{v}$ y $\vec{r}$.

La constante de proporcionalidad que relaciona a los factores intervinientes es $\mu_0/4\pi$, siendo μ_0 la constante de permeabilidad magnética del vacío⁹. La determinación de esta constante escapa al objeto del presente trabajo.

De aquí surge una conclusión muy importante: la sola presencia de una carga eléctrica no implica la generación por parte de ella de un campo magnético. Para que esto último ocurra, la carga debe estar en movimiento y, además, el punto donde se quiere determinar el valor del campo magnético no debe estar ubicado sobre la trayectoria, ya que, en tal caso, $\sin \varphi$ sería igual a cero y por lo tanto $B = 0$.

Analizando vectorialmente esta expresión vemos que también puede ser asimilada como el producto vectorial de los vectores velocidad $\vec{v}$ y posición $\vec{r}$, con lo cual podríamos expresarla de la siguiente manera:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q\vec{v} \times \vec{r}}{r^2} \quad (2)$$

⁹ Si bien se hace referencia a la permeabilidad magnética del vacío, vale aclarar que al trabajar en el medio “aire”, el error introducido como consecuencia de tomar la permeabilidad magnética relativa del aire en lugar de la del vacío, sería excesivamente pequeño y despreciable.

El campo magnético queda evidenciado a través de una cantidad infinita de líneas de campo, las que al atravesar una determinada superficie conforman el conocido flujo magnético Φ .

Y acá es donde volvemos a estar ante un fenómeno físico, ya descrito con anterioridad, que es el “*fenómeno de inducción electromagnética*”; y que queda definido a través de la Ley de Faraday como:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -A \frac{dB}{dt} \quad (3)$$

siendo “A” la superficie del área encerrada por cada espira bobinada en torno del aro experimental.

La Ley de Faraday (1867) establece que “la fuerza electromotriz inducida en un circuito cerrado es igual al opuesto de la tasa de cambio del flujo magnético en el tiempo”.

La expresión anterior está referida a un circuito conformado por una sola espira. En caso de contar con “N” espiras, entonces esta expresión debe ser afectada por el factor “N”, ya que el flujo magnético estaría siendo abrazado N veces y cada una de las espiras estaría dando lugar a la inducción de una fuerza electromotriz en sí misma. Si consideramos a todo el bobinado como una sucesión de N espiras conectadas en serie, la fuerza electromotriz total inducida en todo el arrollamiento resultará:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} = -N \cdot A \frac{dB}{dt} \quad (4)$$

Dijimos que una carga eléctrica da lugar a la generación de un campo magnético en su entorno si y sólo si dicha carga está en movimiento, lo cual constituye una condición necesaria. Pero Faraday establece una nueva condición para que ese campo magnético contribuya a la inducción de una fuerza electromotriz y es que dicho campo sea variable en el tiempo, ya que en caso de ser constante (como consecuencia de ello también lo será el flujo magnético), la derivada anterior será nula.

6. Recarga de baterías por inducción de pérdidas en redes de distribución

Se podría hacer extensivo lo visto en el punto anterior a aquellas zonas del automóvil que se encuentren sometidas a diversos flujos de aire de manera permanente durante su traslado.



Figura 10: Zonas probables para el montaje de bobinas telúricas. Fuente Propia

Por ejemplo, podrían imaginarse los espacios debajo de los guardabarros y todo el borde periférico interior debajo del capot delantero, cubiertos con pseudos toroides de alta permeabilidad magnética y bobinados. Estos elementos aprovecharían las corrientes de aire generadas mientras el vehículo está en movimiento, contribuyendo así a la carga del sistema de baterías mediante la captación de energía telúrica.

Estos efectos pueden ser cuantificados, según los parámetros de un inductor magnético tales como la cantidad, tamaño y longitud de las espiras y permeabilidad que dependerá de la ubicación de las diferentes bobinas, y su compactado en las diferentes zonas del vehículo.

De acuerdo con experiencias realizadas en nuestro trabajo anterior denominado "*Aprovechamiento energético de las corrientes telúricas*", por medio de un aro aislado del tipo bobina de Rogowski⁸, con los parámetros indicados en la tabla 2, que se muestra a continuación, hemos obtenido 630 mV inducidos, lo que demuestra la transferencia energética del viento al sistema de captación.

Diámetro del aro (mm)	Sección del aro (mm ²)	Permeabilidad magnética (Hy/m)	Espiras	Velocidad del viento (km/h)	FEM (mV)
450	120,96	0,00025	3200	6	630

Tabla 2: Tabla ponderativa de medición de tensiones inducidas por el aire. Fuente Propia.

Como consecuencia inmediata de lo explicitado más arriba, esa masa de aire (o conjunto de cargas eléctricas) que circula por el interior del aro; además de provocar el *efecto triboeléctrico*⁹ y ser la responsable de la formación de las tormentas eléctricas, da lugar a la inducción de una fuerza electromotriz en su arrollamiento.

En los automóviles son esperables valores muy superiores de fuerzas electromotrices debido a las velocidades desarrolladas. Éstas, básicamente, son tensiones alternas funcionales a la variación de esas cargas dentro del inductor.

Cabe recordar que el presente trabajo está enfocado a la factibilidad teórica del aprovechamiento energético de distintas fuentes hasta hoy desaprovechadas como tales. Por supuesto que el tema no se agota aquí y, a fin de proceder a su implementación definitiva, será imprescindible realizar una evaluación exhaustiva del comportamiento de todo este sistema de captación en lo que refiere a su compatibilidad electromagnética (EMC) y a eventuales interferencias electromagnéticas (EMI). Dicha evaluación no estuvo comprendida dentro de los alcances de este trabajo, quedando la misma asociada a una próxima investigación centrada específicamente en la implementación de los dispositivos descriptos.

6.1. Recarga por inducción

Se sabe que uno de los grandes desafíos que impone una línea de transmisión de alta tensión es la minimización de sus pérdidas, individualizadas básicamente como potencia activa consumida por los conductores debido a su pequeña pero siempre presente resistencia eléctrica, y potencia reactiva irradiada al espacio circundante producto de las corrientes que circulan por ellos.

Esto impone la inquietud de explorar aún más esta iniciativa, yendo a buscar esta energía irradiada por las líneas de alta tensión, que corren a la vera de rutas y caminos, y captarla con un grado de eficiencia óptimo para su posterior utilización.

Nos proponemos captar estos campos magnéticos con inductores y aprovechar la tensión inducida en ellos para aportar carga al sistema de baterías. Es decir, transformar pérdidas de las líneas de AT en energía útil para estos vehículos.

Luego de haber recorrido diferentes rutas dentro de la provincia de Buenos Aires, se ha podido medir tanto el campo eléctrico inducido como así también el campo magnético, lo que nos llevó a realizar un cálculo de estimación de tensión que podría generarse y de la energía que se puede percibir en una simple inductancia.

6.1.1. Adquisición de datos

Para verificar los conceptos esbozados anteriormente, se han realizado diferentes mediciones en regiones del conurbano de Buenos Aires. Se detallan a continuación las más significativas, dado que no están alteradas por interferencias de campos electromagnéticos provenientes de otras fuentes.

Resumimos el trabajo realizado en dos regiones:

1. Ciudad de Campana
2. Ciudad de Cardales

Ambas regiones están atravesadas por líneas de alta tensión pertenecientes al Sistema Argentino de Interconexión (SADI), administrado en este momento por la empresa Cammesa¹⁰. Son redes importantes que atraviesan la ruta y provienen del complejo termonuclear de Atucha I y II.

Esa ruta es atravesada por redes de 132 kV y 500 kV y en esos sectores, con un instrumental elemental, se han obtenido muy buenas mediciones.

Las mediciones fueron realizadas con un medidor de campo magnético y de campo eléctrico, el que nos informa las magnitudes de ambos parámetros con un margen de error del 1,7% según indicación del fabricante, Benetech¹¹.



Figura 11: Equipo Benetech sobre vehículo, testeando valores de campo. Fuente Propia.

En la Figura 11 se presentan los diversos puntos de observación y toma de los valores que permiten realizar los cálculos de energía derivados de los fenómenos de inducción.

Éstas son esenciales para validar nuestro proyecto sobre la generación de fuerza electromotriz inducida en los vehículos para mejorar su autonomía, lo cual se verifica al observar que los vehículos capturan esta energía y recargan sus baterías.

Esta evidencia confirma la hipótesis y afirmamos que es posible aumentar la autonomía de las unidades mediante la recarga inalámbrica.

6.1.2. Mediciones realizadas en las zonas elegidas para este trabajo

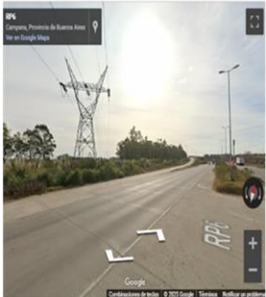
MEDICIONES TORRE DE 132 kV, Subicación detallada, localidad Campana Las distancias de las líneas de 132kV son aproximadamente de 4m entre fase La altura que poseen promedio éstas líneas de transmisión de AT, son de 4,5m 	MEDICIONES TORRE DE 500 kV, Subicación detallada, localidad Cardiales Las distancias de las líneas de 500kV son aproximadamente de 10m entre fase La altura que poseen promedio éstas líneas de transmisión de AT, son de 4,5m 
--	--

Figura 12: Zonas donde se efectuaron las mediciones. Fuente: propia

6.1.3. Valoración de las mediciones de campos en las regiones

Campana			Cardales		
CAMPO MAGNÉTICO	CAMPO ELECTRICO	DISTANCIA	CAMPO MAGNÉTICO	CAMPO ELECTRICO	DISTANCIA
μT	V/m	m	μT	V/m	m
0	20	98	0	22	98
0	120	90	0	28	90
0	234	82	1	46	82
0	228	74	3	49	74
0	226	66	6	120	66
0	208	58	21	132	58
0	171	50	17	134	50
0	174	42	43	196	42
0	107	34	51	208	34
0	135	26	96	305	26
0	168	18	122	323	18
0	194	10	287	509	10
0	217	2	449	649	2
0	262	-6	296	515	-6
0	281	-14	296	629	-14
0	270	-22	412	691	-22
0	251	-30	350	581	-30
0	200	-38	353	593	-38
0	179	-46	421	664	-46
0	135	-54	367	657	-54
0	117	-62	398	593	-62
0	97	-70	190	452	-70
0	73	-78	77	304	-78
0	64	-86	49	239	-86
0	52	-94	26	181	-94
0	41	-102	2	134	-102
0	32	-110	4	0	-110

Intensidad del campo en función de la distancia

campos (V/m)

DISTANCIA

Distancia (m)

CAMPO ELECTRICO

Intensidad de los campos magneticos y eléctricos en función de la distancia al centro de las líneas.

campos (V/m)

Distancia (m)

CAMPO MAGNÉTICO CAMPO ELECTRICO

Tabla 3: Valoración de mediciones en zonas elegidas. Fuente Propia

Se puede observar en las mediciones expuestas en la Tabla 3, donde la variación tanto del campo eléctrico como del campo magnético. En una de las zonas se detectó la presencia de campo eléctrico solamente, y esto nos lleva a realizar la siguiente inferencia, bastante aceptable:

El campo eléctrico, es generado por la presencia de cargas eléctricas y, en este caso, variables o alternativas con una frecuencia de 50 Hz, lo cual se manifiesta por la diferencia de potencial de la red, y en ambas mediciones está presente, aunque con valores diferentes tanto por las distancias, como por las mismas tensiones de línea presentes en las torres: un caso de 132 kV y el otro de 500 kV.

El campo magnético que percibimos, y que también está presente en toda la red, es proporcional a la intensidad de la corriente que circula por las líneas de transmisión y, por lo tanto, también de la manifestación del estado de carga que la misma posee.

En la localidad de Campana, las mediciones se llevaron a cabo durante un día feriado. Podríamos entonces inferir con un importante grado de confianza que, por tratarse de una red industrial, el estado de carga de dicha red era escaso, por lo que el campo magnético no llegó a ser detectado por el instrumento de medición.

No ocurrió así en la localidad de Cardales, donde, por tratarse de un ramal de 500 kV de la red del SADI, el nivel de carga es más constante.

6.1.4. Captura de la Energía irradiada por las torres

A partir de la presencia de las inducciones manifestadas en la Tabla 3, resulta necesario diseñar sistemas de captura de la energía presente, para lo cual se requieren inductancias, según explica Mujal Rosas¹² en su estudio de redes de transmisión y sus pérdidas. La valoración de las potencias que surgen de dichas inducciones se fundamenta en los aspectos teóricos explicitados en el Punto 5.2 de este trabajo, por lo que haremos unas consideraciones que, de alguna manera, nos permitan concluir con algunos datos interesantes.

En principio se alojará un inductor en algún lugar oculto del automóvil. Sólo a modo ilustrativo, se ha elegido un Renault Kwid, Figura 13, donde debajo del capot y debidamente oculto se ubicará el bobinado, marcado con una línea roja, repitiendo el esquema teórico desarrollado en el Punto 5.2:



Figura 13: Zona elegida para el bobinado. Fuente: propia.

Una vez más, es necesario recordar lo señalado en el Punto **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de este documento respecto de las EMC y EMI.

6.1.5. Inductancia del posible bobinado en el capot de un Renault Kwid

Lo primero que se necesita es calcular la FEM¹⁰ inducida por esta bobina. Para ello hacemos algunas aproximaciones de los parámetros.

¹⁰ Con las siglas FEM se identifica a la Fuerza Electromotriz, que surge a partir de la ley de Faraday-Lenz.

Consideramos que el capot posee un bobinado en su contorno, el que captura líneas de campo provenientes de las redes de transmisión eléctricas como las señaladas anteriormente.

- **Cálculo del valor de la inductancia**

Para ese cálculo, y considerando una arquitectura rectangular redondeada en las esquinas, aproximaremos el cálculo al de la bobina toroidal¹³, cuyo valor de inductancia es determinable por medio de la siguiente expresión:

$$L \text{ (H)} = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{l} \quad (5)$$

Donde:

L es la inductancia y se mide en Henry¹⁴ (H).

μ es la permeabilidad del núcleo, en Henry por metro (H/m).

N es el número de espiras que arrollan alrededor del núcleo.

A es el área de la sección transversal donde se arrolla el inductor (m²).

l es la longitud media del circuito magnético, que sería aproximado al perímetro del capot (m).

El inductor propuesto consiste en un bobinado alrededor de un núcleo, con un formato similar al que se observa en la Figura 14. Sobre la representación exhibida, debería enrollarse el alambre conductor, rodeando todo su perímetro:



Figura 14: forma del núcleo. Fuente: Industria Nicoré

- **Permeabilidad magnética**

Conocida con el símbolo “ μ ”, esta propiedad es la capacidad de un material para permitir el establecimiento de un flujo magnético a través de él. Cuanto mayor sea esa capacidad, mejor eficiencia tendremos en la capitalización de los campos magnéticos irradiados por las líneas de transmisión.

El material del núcleo puede tener diferentes valores de permeabilidad magnética en función de las características del material, básicamente de las aleaciones que lo componen. En nuestro caso, a efecto de simplificar nuestro moderado análisis, como material ferromagnético se ha elegido un acero al carbono. Su valor de permeabilidad relativa

media, es decir, la permeabilidad magnética de este material, pero relativizada a la del vacío (adoptada como $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$), resulta ser:

$$\mu_r = 20.000$$

Luego, la permeabilidad magnética real del material empleado resulta ser el producto de ambas. Es decir:

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

Con lo cual, la permeabilidad magnética del núcleo del bobinado será:

$$\mu \approx 0.0251 \text{ H/m}$$

- **Área del núcleo**

Para el cálculo del área del núcleo de la bobina, se considera que la misma es de sección cuadrada redondeada en sus esquinas, con 0,08 m de lado. O sea, obtenemos un área $A=0,0064 \text{ m}^2$

Estos son valores adecuados para el diseño del capot visto en la Figura 16.

- **Cantidad de espiras**

A lo largo de un núcleo ferromagnético, que presuponemos debería instalarse en el perímetro del capot, según se observa en la Figura 13; es completamente factible devanar un arrollamiento de 50,000 espiras.

En la Figura 15 se puede observar cómo se puede ir realizando este bobinado, tarea que actualmente lo realizan empresas como Mundorf¹⁵:



Figura 15: Muestra de un tramo de bobinado. Fuente: Industria Mundorf

- **Espesor del conductor**

Para su construcción, se ha adoptado alambre de cobre esmaltado. Para determinar su calibre, presuponemos que en el mismo circulará una intensidad de corriente eléctrica de 1 A como máximo, por lo que, de acuerdo con las normas utilizadas en EE.UU., se ha elegido 24 AWG¹¹. Este calibre tiene un diámetro de aproximadamente 0.511 mm y es adecuado para manejar corrientes de hasta 1 A.

¹¹ AWG (American Wire Gauge), es un sistema de estandarización utilizado en Estados Unidos para medir el diámetro de los alambres eléctricos.

Los datos anteriores fueron volcados a la siguiente tabla:

Dimensiones del capot m	Perímetro del capot m	Dimensiones del núcleo m	Sección del núcleo m ²	Permeabilidad μ H/m	Número de Espiras	Diámetro del alambre mm	Inductancia calculada mH
1,38 x 0,67	2,15	0,08	0,0064	0,0251	50.000	0,511	186, 80

Tabla 4: Parámetros de la inductancia del capot. Fuente Propia

El valor de la Inductancia L (H) obtenida en la tabla anterior, surge de reemplazar estos datos en la fórmula indicada anteriormente.

6.1.6. Cálculo aproximado de la energía percibida

Para proceder a calcular la energía que proporcionaría esta bobina, deberemos considerar las variaciones del campo que aportan las líneas de transmisión a lo largo del camino, situación que fue observada en las mediciones de la Tabla 3.

Como se puede observar, los campos crecen en la medida que nos acercamos a los conductores. Los valores pueden ser diferentes en cada torre dependiendo de varios parámetros como la altura, concentración de redes, tensión de transmisión, etc. En nuestro análisis se ha de tomar sólo el valor máximo del campo que percibimos en las mediciones.

De acuerdo con la Ley de Faraday¹⁶, se sabe que cuando una bobina está inmersa en un campo eléctrico alterno, se inducirá en ella una fuerza electromotriz cuyo valor dependerá de los parámetros del inductor antes calculado.

6.1.7. Fuerza electromotriz inducida (FEM)

Se puede determinar entonces la FEM y de sus máximos valores inducidos:

$$E_{\text{máx}} = k \cdot f \cdot N^2 \cdot \Phi_{\text{máx}} \quad (6)$$

Donde:

E_{máx}: La FEM máxima inducida (V). También conocido como el valor pico **E_{pico}**, por tratarse del máximo valor que posee la senoide.

K: Constante derivada de la forma de onda sinusoidal: $K = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} = 4,44$

N: Número de espiras en la bobina del toroide

f: Frecuencia de la señal en Hertz (Hz).

Φ_{máx}: Flujo magnético máximo en Webers (Wb).

Calculando paso a paso:

$$\frac{E_{\text{pico}}}{V} = 4,44 \cdot 50000V \cdot 50Hz \cdot 2.6368 \times 10^{-6} \text{ Wb} = 4,44 \cdot 50000 \cdot 50 \cdot 0.0000026368$$

$$E_{\text{pico}} = 4,44 \cdot 50000 \cdot 0.00013184 \text{ V} = 4,44 \cdot 6.592 \text{ V}$$

$E_{\text{pico}} \approx 29.27 \text{ V}$, valor aproximado.

La FEM inducida, obtenida en los extremos de la bobina es de aproximadamente 29,27 V.

Según nuestros cálculos, basados en leyes universales y en los parámetros constructivos según la Tabla 4, los valores de tensión obtenidos permitirán obtener un importante aporte energético al sistema de potencia de estos vehículos, lo cual impacta en una mayor autonomía.

6.1.8. Comprobación empírica del cálculo

Los datos anteriormente calculados, podrían presuponer que son solo teóricos. Por tal razón, se ha realizado un experimento práctico en los sitios descritos en la tabla 3.

Para tal fin, se construyó una bobina toroidal del tipo Rogowski¹⁷ con las siguientes características:

Diámetro:	Perímetro:	Área del núcleo:	Numero de espiras:	Permeabilidad:
0,46 m	1,470 m	105 mm ²	3650	0,0130 H/m

Figura 18: Datos de construcción de aro toroidal del experimento. Fuente Propia



Figura 16: Construcción del bobinado toroidal. Fuente Propia

Construido el aro toroidal, nos propusimos presentarlo en las mismas regiones donde se llevaron a cabo las mediciones, obteniendo los siguientes valores de tensión en los extremos del bobinado:

Zona de Cardales – Red 132 kV	Zona de Campana – Red 500 kV
Tensión inducida medida: 145 mV	Tensión Inducida medida: 455 mV

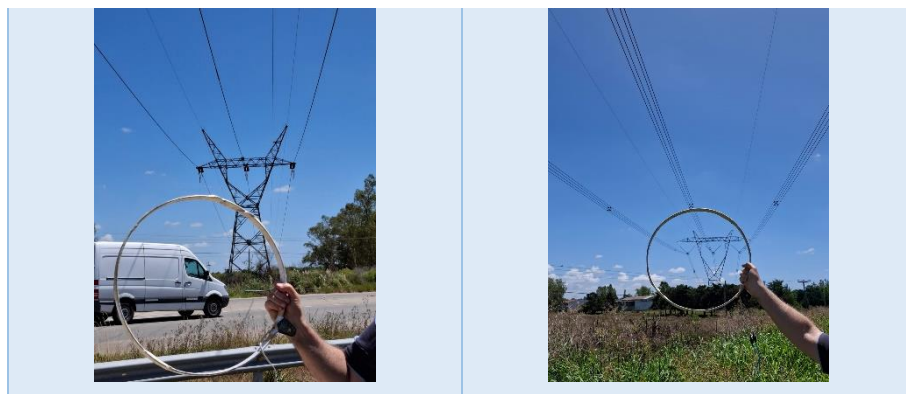


Figura 17: Mediciones realizadas en ambas zonas. Fuente Propia.

6.2. Análisis de los datos

Es muy interesante comprobar empíricamente los resultados que surgen del cálculo teórico, verificando así la existencia real de las energías provenientes de tales redes de distribución.

Surge del análisis de los datos que en todas las redes de transmisión de energía existen pérdidas, las que terminan impactando en forma negativa en el medio ambiente, como ocurre con inducciones por generación de corrientes parásitas, que producen mucho daño sobre el medio ambiente, animales y también en el ser humano, según lo explica J. Skvarca¹⁸ en su trabajo. Pocos países han tomado conciencia de tal daño y aún no han normalizado esas emisiones.

Mientras tanto, es importante considerar que su uso, permitirá convertir en útil aquello que hoy se encuentra desaprovechado.

Los valores que se han obtenido de las mediciones y las tensiones calculadas, tanto generadas por los campos eléctricos como por los magnéticos, son una prueba clara y contundente de que no sólo hay energía disponible a nuestro alrededor, sino que ésta también podría ser aprovechada con dos fines sumamente útiles: Ayudar a mantener cargado el sistema de suministro de energía de los vehículos eléctricos, o, por lo menos, a ralentizar su descarga; y a disminuir el impacto ambiental que provocaría el hecho de tener que lograr el mismo flujo energético pero proveniente de una matriz como la matriz energética argentina, con más del 60% de su constitución basada en la quema de combustibles fósiles.

Por supuesto que no está contemplado en el alcance de este trabajo la cuantificación de la energía que estos fenómenos pueden aportar. El propósito fue simplemente demostrar que actualmente hay variadas fuentes al alcance de la mano que están sin ser explotadas. La cuantificación de los beneficios requerirá una mayor inversión en instrumental y equipamiento para realizar ensayos con diferentes bobinados, bajo distintas condiciones de inducción y bajo un análisis de zonas mucho más exhaustivo.

6.2.1. Compatibilidad Electromagnética (EMC) en Carga Inalámbrica

•Normativas y estándares

Explica cómo regulaciones como SAE J2954 establecen límites de emisiones electromagnéticas para garantizar la interoperabilidad y seguridad.

Diseño de blindaje electromagnético: Detalla cómo los materiales y estructuras de los sistemas de carga minimizan la interferencia con otros dispositivos electrónicos.

Pruebas de EMC: Menciona los procedimientos de evaluación para asegurar que los sistemas cumplen con los requisitos de compatibilidad.

6.2.2. Efectos de la Interferencia Electromagnética (EMI)

•Impacto en dispositivos cercanos

Describe cómo la EMI puede afectar teléfonos móviles, equipos médicos y otros sistemas electrónicos sensibles.

Generación de armónicos y ruido electromagnético: Explica cómo la conmutación de alta frecuencia en la carga inalámbrica puede producir emisiones no deseadas.

Métodos de mitigación: Incluye estrategias como el uso de filtros EMI, modulación de frecuencia y ajustes en el diseño de bobinas para reducir interferencias.

7. Otras alternativas de recarga de baterías de los EV

7.1. Recarga por Energía eólica

Vimos en el apartado anterior que una masa de aire en movimiento da lugar a un fenómeno de inducción electromagnética.

Pero también debemos tener en cuenta que toda partícula de masa “ m ” animada de una velocidad “ v ” porta una cierta cantidad de energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7)$$

Este es ni más ni menos que el principio de funcionamiento de los aerogeneradores, que por nuestros días están convirtiéndose en una de las estrellas de la generación sustentable en el mundo.

Mediante la incorporación de microturbinas eólicas ubicadas estratégicamente ocultas pero expuestas a la incidencia de las corrientes de aire que provoca el desplazamiento del

vehículo, se podría aprovechar dicha energía cinética y convertirla en energía eléctrica para ser aportada al sistema de potencia del automóvil.

7.2. Recarga de Energía en forma inalámbrica

La recarga inalámbrica de vehículos eléctricos en movimiento es un concepto avanzado que podría revolucionar la alimentación energética de estos vehículos durante su funcionamiento. Actualmente, la recarga inalámbrica se implementa en vehículos estacionarios mediante tecnologías como la inducción magnética. Sin embargo, la recarga en movimiento implica desafíos significativos tanto en el ámbito técnico como en el de infraestructura.

Esto incluye la necesidad de desarrollar sistemas de transferencia de energía de alta eficiencia que puedan operar en condiciones dinámicas.

La integración de dichos sistemas en las rutas y autopistas existentes, y la gestión de la seguridad y estabilidad de la transferencia de energía a altas velocidades se fundamentan principalmente en la tecnología de inducción magnética dinámica “*Dynamic Wireless Charging*”.

Este sistema emplea campos magnéticos generados por bobinas de inducción embebidas en la infraestructura vial y receptores instalados en el chasis del vehículo para efectuar la transferencia de energía de manera inalámbrica durante su desplazamiento.

La eficiencia de este sistema depende de la sincronización precisa entre las bobinas emisoras y los receptores, así como de la capacidad de gestionar la transferencia energética en condiciones dinámicas y variables. La viabilidad de la recarga inalámbrica en movimiento requiere la instalación de bobinas de inducción a lo largo de las carreteras o en carriles específicos de éstas.

Estas bobinas generan campos electromagnéticos de alta frecuencia captados por receptores en los vehículos, permitiendo la carga continua de las baterías mientras se desplazan.

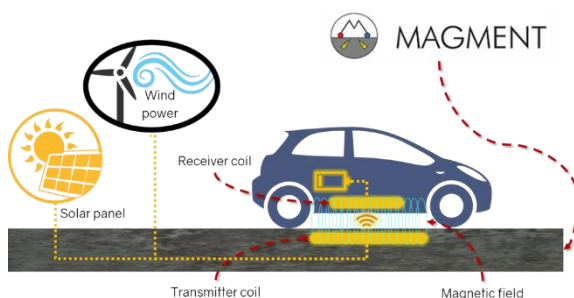


Figura 18. Sistema *Dynamic Wireless Charging*¹⁹. Fuente: automovileshibridosyelectricos.com.ar

7.2.1. Ventajas potenciales

- Los vehículos eléctricos podrían ir recuperando energía mientras circulan, lo que eliminaría la necesidad de paradas frecuentes para cargar baterías. En el caso más optimista, estos vehículos podrían haber transitado determinadas distancias según la extensión de la red, con un balance neto de 0 kWh. Mayor eficiencia energética: La recarga constante mientras el vehículo se desplaza podría hacer un uso más eficiente de la energía, optimizando los tiempos de carga.
- Impulso a la adopción de vehículos eléctricos: Esta tecnología podría hacer que los vehículos eléctricos sean más atractivos, eliminando dos de sus principales limitaciones, que son su magra autonomía y los tiempos de reaprovisionamiento energético.

7.2.2. Desafíos técnicos y económicos

- Costo y viabilidad económica: Instalar y mantener esta infraestructura es costoso y logísticamente complejo, especialmente a gran escala. La implementación de bobinas de inducción en carreteras es cara y requiere adaptación de infraestructuras urbanas.
- Alto costo de mantenimiento: Más allá de la inversión inicial, las bobinas pueden sufrir daños y su mantenimiento es complejo y costoso.
- Reducir costos de materiales y mejorar durabilidad. Integración en áreas de alto tránsito podría hacerlo más rentable. Se está trabajando en el uso de hormigones magnetizables y mejoras en la tecnología de transferencia de energía.
- Eficiencia y seguridad: La transferencia de energía a alta velocidad y sin contacto físico debe ser extremadamente eficiente para garantizar que los vehículos reciban suficiente energía sin pérdidas significativas. Los sistemas de recarga inalámbrica, especialmente los de inducción magnética, pueden perder energía en forma de calor, provocando esto una menor eficiencia y mayor consumo de electricidad. Otros aspectos a tener en cuenta, variables en estos casos, son la distancia, la alineación de las bobinas y la interferencia de objetos metálicos. Se están investigando mejoras para alcanzar eficiencias del 85-90%.
- Compatibilidad de vehículos: Los vehículos eléctricos necesitarían estar equipados con sistemas receptores estándar para interactuar con la infraestructura de recarga dinámica, lo que podría requerir cambios en las líneas de producción de los vehículos existentes.

7.2.3. Compatibilidad entre Vehículos y Estaciones de Carga

- Estándares no unificados: La falta de un estándar global podría causar incompatibilidades entre vehículos y estaciones de carga.
- Interoperabilidad: Es crucial para la adopción masiva que haya compatibilidad.
- Se propone el desarrollo de estándares globales para garantizar la compatibilidad en sistemas de carga inalámbrica de vehículos eléctricos. Un ejemplo de ello es el protocolo SAE J2954, el cual establece criterios precisos de interoperabilidad, compatibilidad electromagnética, requisitos mínimos de rendimiento, seguridad y procedimientos de prueba para la transferencia de energía inalámbrica (WPT) en vehículos enchufables de servicio ligero y mediano.

Esta norma define diversos niveles de carga, que van desde WPT 1 hasta WPT 5, con capacidades que varían entre 3,7 kW y 50 kW. Su alcance abarca tanto la infraestructura de carga doméstica como la pública. Además, contempla la posibilidad de carga unidireccional y bidireccional, así como aplicaciones en sistemas estacionarios.

Para los vehículos de servicio pesado y los sistemas de carga dinámica, las especificaciones se encuentran en los estándares SAE J2954/2 y SAE J2954/3, que abordan las necesidades de alta potencia y movilidad avanzada.

El proceso de desarrollo de esta norma se fundamentó en evaluaciones de rendimiento y en la definición de dispositivos de referencia, asegurando su eficiencia y confiabilidad en diversas condiciones operativas. Distancia y Alineación entre Bobinas

- Desajuste de alineación: La alineación precisa es crucial para la eficiencia. La distancia debe ser menor a 10 cm.
- Solución: Sistemas de alineación automática y técnicas de resonancia magnética para mejorar el rango de transferencia.

7.2.4. Interferencias y Efectos sobre la Salud

- Campos electromagnéticos: Preocupaciones sobre efectos a largo plazo y regulaciones necesarias.
- Interferencias: Los campos magnéticos podrían interferir con otros dispositivos electrónicos y de comunicación.
- Solución: Minimizar interferencia electromagnética y asegurar niveles bajos de exposición.

7.2.5. Velocidad de Recarga

- Recarga más lenta: Generalmente, los sistemas inalámbricos son más lentos que los de recarga rápida por cable.
- Solución: Avances en bobinas de alta frecuencia, materiales superconductores y mejores sistemas de alineación.

7.2.6. Costos de Vehículos Compatibles

- Precio: Los vehículos deben estar equipados con sistemas de recepción de energía inalámbrica, lo que aumenta el costo.
- Modificación de vehículos existentes: Proceso costoso y técnicamente desafiante.
- Solución: Producción a gran escala y estandarización para reducir costos.

7.2.7. Impacto Ambiental

- Consumo de recursos: La instalación de infraestructura requiere materiales que pueden tener un impacto ambiental negativo.
- Desecho de equipos: Considerar los impactos de la basura electrónica.
- Solución: Desarrollar tecnologías más sostenibles y reciclables.

7.3. Proyectos en Curso

7.3.1. Proyecto Electreon

Desarrollado en Suecia e Israel, prueba la recarga inalámbrica de vehículos eléctricos en movimiento. Utiliza inductores de alta frecuencia integrados en la carretera.

Características Técnicas:

- Frecuencia de operación: 85 kHz.
- Tipos de vehículos: Autobuses eléctricos y camiones, con exploración para vehículos ligeros.
- Eficiencia de transferencia de energía: 80% a 90%.
- Potencia suministrada: Hasta 200 kW.
- Instalación de bobinas: Debajo de la carretera en carriles específicos.
- Distancia de carga: Eficaz hasta 90 km/h y con una separación menor a 30 cm.

Resultados Obtenidos:

- Pruebas exitosas. Autobuses eléctricos operaron varias horas recibiendo carga en forma continua.
- Cobertura de carretera: Tramos de 500 metros en Israel, con planes de expansión.
- Impacto en la autonomía: El reaprovisionamiento continuo durante la circulación aumenta significativamente la autonomía.

7.3.2. Proyecto de Carga Inalámbrica de Vehículos en Movimiento

Diversos estudios globales evalúan la carga inalámbrica de vehículos eléctricos en movimiento, destacando:

- Potencia: Hasta 200 kW para camiones y vehículos comerciales.
- Eficiencia: Hasta 90% en la transferencia de energía.
- Infraestructura: Instalación de carriles de carga en vías de alta velocidad, especialmente en áreas urbanas.

En Corea del Sur, un proyecto en colaboración con la Universidad de Pohang investiga la viabilidad de sistemas de carga inalámbrica dinámica en carreteras.

Características Técnicas:

- Frecuencia de operación: 85 kHz a 100 kHz.
- Potencia de carga: 50 kW a 100 kW.
- Vehículos de prueba: Vehículos eléctricos de pasajeros y autobuses.
- Tecnología de recarga: Inductores enterrados en el pavimento y receptores de carga en los vehículos.

Resultados Obtenidos:

- Pruebas de eficiencia: Transferencia de energía efectiva a velocidades de hasta 80 km/h con más del 85% de eficiencia.
- Implementación parcial: Tramos de 200 metros de carretera con carga inductiva, con planes de expansión.

- Autonomía mejorada: Mayor tiempo de operación y distancias más largas sin necesidad de paradas para recargar.

7.3.3. Concreto magnético Magment

Magment²⁰ produce cemento magnetizable que adquiere propiedades magnéticas con corrientes eléctricas de alta frecuencia. Este nuevo pavimento, hecho de cemento y partículas de ferrita recicladas, mejora la transferencia de energía y es económico, resistente y fácil de integrar en la construcción. La tecnología de carga utiliza transmisores en la vía y bobinas de inducción incrustadas en losas de cemento magnetizado, aplicable a monopatines eléctricos y electrodomésticos.

Estudio del Comportamiento Termomecánico del Pavimento con Inductores

Se han realizado ensayos y simulaciones para estudiar el comportamiento mecánico y térmico de una carretera eléctrica con pavimento bituminoso.

Ensayos y Modelado:

- Ensayos de laboratorio: Evaluación del comportamiento mecánico y térmico a escala reducida, incluyendo pruebas de seguimiento de ruedas y flexión de cuatro puntos.
- Modelado de elementos finitos: Simulaciones térmicas y mecánicas para evaluar el rendimiento del pavimento bajo cargas pesadas y variaciones de temperatura.

Recomendaciones:

- Caracterización de propiedades mecánicas y térmicas de los materiales.
- Caracterización de la resistencia de las interfaces entre el sistema de carga y los materiales del pavimento.
- Ensayos de seguimiento de ruedas para estudiar deterioros como surcos, grietas o desprendimiento de la interfaz.
- Ensayos de rendimiento de carga y variaciones de temperatura inducidas.
- Simulaciones térmicas y mecánicas para evaluar tensiones y deformaciones en la estructura y riesgos de fallo.

8. Conclusión

La recarga inalámbrica de vehículos eléctricos tiene el potencial de transformar la forma en que utilizamos la energía para la movilidad eléctrica, pero aún enfrenta varios desafíos técnicos, económicos y ambientales que deben ser superados para hacerla viable a gran escala.

A medida que se desarrollen nuevas soluciones tecnológicas y se resuelvan estos problemas, la recarga inalámbrica podría convertirse en una de las opciones más convenientes y eficaces para el futuro de la movilidad eléctrica.



Figura 19: Rutas con alta probabilidad de captura de energía. Fuente: propia

Hemos demostrado la segunda hipótesis planteada, donde las redes de transmisión y distribución eléctricas están presentes en la mayoría de las regiones y en muchos casos ordenadas en entorno de las mismas rutas donde transitamos. Nos han permitido detectar importantes acciones electromagnéticas, las que se han podido valorizar con dispositivos adecuadamente diseñados.

Conseguimos evaluar esas inducciones perdidas de las redes, que para nosotros resultaron ser recursos energéticos. Los valorizamos con nuestro equipamiento, el que demuestra el objetivo de poder con esa energía recargar baterías de los “EV”, sin que este, detenga la marcha, aumentando la autonomía y logrando así un adecuado uso de nuestro tiempo y un mayor aprovechamiento de las energías.

Otras líneas de investigación abiertas, mencionadas en nuestro objetivo, como la variedad de métodos muy útiles para aumentar la autonomía de los vehículos, o su reducción en la cantidad de tiempo detenido para suministrar carga a sus baterías, el desafío de poder lograr mejores avances en cuanto a cada una de las observaciones que obtuvimos en el presente trabajo.

9. Bibliografía

1. Díaz-Rodríguez, J., Pabón-Fernández, L., & Pardo-García, A. (2012). Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica. *Lámpsakos*, (7), 69-77.
2. Mendoza Chicaiza, J. L. (2019). Sistema electrónico portátil para la recarga eléctrica de dispositivos móviles mediante la captación de energía electromagnética (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones).
3. Castellanos Domínguez, C. G. Puesta a tierra y perturbaciones electromagnéticas en equipos de carga sensible. Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación.
4. Braun, E. (2003). Electromagnetismo: de la ciencia a la tecnología (No. Sirsi) 19789681668488). Fondo de cultura económica.
5. Daura, F. Electromagnética en la automoción.
6. Ciaurri, I. E. (2016). Caracterización electromagnética de un vehículo 4x4 eléctrico (Doctoral dissertation, Universidad de Zaragoza).

7. Varela-Chávez, C. (2020). Aplicaciones de energía cinética en electromovilidad autónoma y sostenible. *Revista UIS Ingenierías*, 19(4), 167-180.
8. <https://electreon.com/>
9. <https://www.magment.co/>
10. Pavement integration of an inductive charging system for electric vehicles. Results of the INCIT-EV Project
11. SAE J2954
12. https://www.tut.ac.jp/english/newsletter/archive/no9/research_highlights/research01.html

10. Referencias

-
- ¹ https://www.tesla.com/es_cl/manufacturing
 - ² https://afdc.energy.gov/stations#/find/nearest?ev_levels=all&country=US&fuel=ELEC
 - ³ <https://ruralclimate.org/es/project/cultura/>
 - ⁴ <https://www.xmap.ai/blog/gas-stations-in-united-states-of-america-everything-you-need-to-know#how-many-gas-stations-in-usa>
 - ⁵ <https://www.elespanol.com/>
 - ⁶ https://www.hibridosyelectricos.com/coches/primeras-imagenes-lightyear-2-coche-electrico-solar-barato_66741_102.html
 - ⁷ <http://p3.usal.edu.ar/index.php/anuarioinvestigacion/article/view/5692>
 - ⁸ Montiel, S. A. C., Padilla, R. D. C. L., & Parada, A. G. (2009). Bobina Rogowski como sensor de corriente para monitoreo de transformadores de distribución. no, 1, 1-7.
 - ⁹ <https://materias.df.uba.ar/ft1a2020c2/efecto-triboelectrico/>
 - ¹⁰ <https://cammesaweb.cammesa.com/>
 - ¹¹ Medidor de radiación profesional BENETECH GM3120
 - ¹² Mujal Rosas, R. M. (2013). *Cálculo de líneas y redes eléctricas*. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica.
 - ¹³ <https://www.electricity-magnetism.org/es/bobina-toroidal/>
 - ¹⁴ Moyer, A. E. (2018). *Joseph Henry*. Smithsonian Books.
 - ¹⁵ <https://www.mundorf.com/>
 - ¹⁶ Murguía, A., Kuperstein, G., Trespalacios, R., Barakat, G., & Marymount, C. (2010). Péndulo para ilustrar la ley de Faraday: variación de la fuerza electromotriz y mecánica al cambiar el número de espiras en una bobina. *Metodología de la Investigación*, 16, 05.
 - ¹⁷ Seuret Jiménez, D., & Oseguera, S. (2014). Diseño y construcción de bobinas de Rogowski modificadas de bajo costo y alto desempeño. *Nova scientia*, 6(12), 219-233.
 - ¹⁸ Skvarca, J., & Aguirre, A. (2006). Normas y estándares aplicables a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias en América Latina: guía para los límites de exposición y los protocolos de medición. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 20, 205-212.
 - ¹⁹ <https://www.evoltsoft.com/>
 - ²⁰ https://www.researchgate.net/publication/342465431_Concreto_Magnetico_Concreto_Magnetico

Fecha de recepción: 11/02/2025

Fecha de aceptación: 24/4/2025