

Jornadas de Automática

Gestión inteligente de recarga del vehículo eléctrico con materiales económicos

Aramendia, I.^a, Ramos-Hernanz, J.A.^{a,*}, Teso-Fz-Betoño, D.^a, Erazuquin, M.^a, Irazabal, A.^b, Lopez-Guede, J.M.^c

^a Dpto. de Ingeniería Eléctrica, Universidad del País Vasco UPV/EHU, C/Nieves Cano, n° 12, 01006 Vitoria-Gasteiz, España.

^b Mercedes Benz España, S.A.U., C/ Areatza Kalea, 1, 01015, Vitoria-Gasteiz, España

^c Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad del País Vasco UPV/EHU, C/Nieves Cano, n° 12, 01006 Vitoria-Gasteiz, España.

To cite this article: Aramendia, I., Ramos-Hernanz, J.A., Teso-Fz-Betoño, D., Erazuquin, M., Irazabal, A., Lopez-Guede, J.M. 2024. Smart Management of EV Charging Using Low-Cost Materials. *Jornadas de Automática*, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10888>

Resumen

En los sistemas integrados, la computación de borde procesa datos localmente, mejorando la eficiencia y reduciendo la dependencia de los servidores en la nube. Arduino, conocido por su accesibilidad, ayuda en proyectos integrados. El auge de los vehículos eléctricos requiere el despliegue generalizado de estaciones de carga para una movilidad sostenible. Este artículo se centra en el control de los cargadores de automóviles para una carga eficiente, rápida y segura, haciendo hincapié en la modulación y el control preciso. Las limitaciones incluyen un límite de intensidad de carga de 3 A y el uso exclusivo de una batería de 12 V para cargar. La construcción del cargador interno también incluye, entre otros, un regulador de tensión y un medidor de corriente. El proceso de carga está formado por tres estados. Un estado inicial de conexión, un estado de stand-by y un estado de carga realizado mediante modulación y en el que se han definido seis etapas.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, punto de recarga, cargador interno, PWM, Arduino

Smart Management of EV Charging Using Low-Cost Materials

Abstract

In embedded systems, edge computing processes data locally, enhancing efficiency and reducing reliance on cloud servers. Arduino, renowned for its accessibility, aids in embedded projects. The rise of electric cars necessitates widespread charging station deployment for sustainable mobility. This paper focuses on controlling in-car chargers for efficient, fast and safe charging, emphasizing modulation and precise control. Limitations include a 3 A charging intensity limit and exclusive use of a 12 V battery for charging. The construction of the internal charger also includes, among others, a voltage regulator and a current meter. The charging process is made up of three states. An initial connection state, a stand-by state and a charging state carried out by modulation, with six stages defined.

Keywords: electric vehicle, charging point, internal charger, PWM, Arduino

1. Introducción

En los sistemas embebidos, la computación de borde (edge computing) se refiere al paradigma de procesar los datos de forma más local, en lugar de utilizar servidores centralizados en la nube. Siendo sistemas diseñados para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas, frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real (Quy, 2023).

El software de sistemas embebidos se caracteriza por su eficiencia y bajo consumo de recursos. Algunos ejemplos populares de sistemas embebidos incluyen Arduino, que es una plataforma de hardware de código abierto con hardware y software fácilmente accesibles e ideal para proyectos de electrónica. Arduino es ampliamente utilizada en proyectos de sistemas embebidos (Ashokkumar, 2021). Ofrece kits de desarrollo y una comunidad activa. El entorno de desarrollo Arduino acorta y facilita el proceso de compilación que

anteriormente era un proceso largo y tedioso, y de ahí la gran popularidad actual que tiene. Por ello se pensó en esta plataforma para la realización de este trabajo.

La implantación de los coches eléctricos está aumentando en todos los mercados. A modo de ejemplo, en 2022 en España se vendieron 37.000 coches eléctricos, más del 35% que en 2021. Para que este crecimiento sea sostenible, todos los países deberán escalar su instalación de estaciones de recarga.

Para ello, es imprescindible colocar puntos de recarga para la recuperación y consolidación del coche eléctrico. Además, su instalación deberá ser mayoritariamente pública, ya que no todos los usuarios de vehículos tienen la posibilidad de disponer de plaza de garaje propia.

Una de las acciones más importante de los coches eléctricos es la recarga de la batería. Si esto es rápido y sencillo se asegurará que el usuario tenga una buena experiencia y así será posible una rápida transición hacia la movilidad sostenible. Para que este proceso de recarga sea adecuado es necesario una correcta programación del coche y del punto de recarga. En este caso se trabajará en los tipos de recarga 2 y 3, donde los puestos de recarga podrán trabajar en forma monofásica o trifásica.

A diferencia de las gasolineras convencionales, en un punto de recarga es necesaria la comunicación entre el coche y el cargador para realizar una recarga segura, fluida y de calidad. Siendo esto algo imprescindible, en la actualidad existen todavía algunos puntos de recarga que no se pueden utilizar en España por problemas de comunicación.



Figura 1: Electrolinería.

En este artículo se analizará la instalación del punto de recarga y su control. Además de asegurar su funcionamiento, su código ha sido objeto de pequeñas innovaciones para garantizar los márgenes de funcionamiento.



Figura 2: Cargador interno de un coche eléctrico.

Se tiene como objetivo el diseño del control del cargador en el interior del coche. La gestión de este sistema es fundamental para conseguir una carga rápida y segura con

poca afección a la vida útil de la batería. Para conseguirlo se integrará la modulación de carga, así como un control meticuloso y preciso de la carga.

Existirán una serie de limitaciones como consecuencia de las soluciones que se van a utilizar inicialmente como, por ejemplo, una intensidad máxima de recarga de 3 A. Por otro lado, la batería de 12 V sólo servirá para cargar debido al transformador utilizado. Teniendo esto en cuenta se explicará cuáles serán los materiales a utilizar para la construcción de este cargador interno.

En general, es necesario optimizar la ubicación y el tamaño de las estaciones de carga de vehículos eléctricos (EVCS) y las fuentes de energía renovable (RES) en una microrred de CC, considerando múltiples objetivos que incluyen estabilidad de voltaje, confiabilidad, índice de pérdida de energía y costo. Se aplica la técnica modificada de optimización basada en la enseñanza y el aprendizaje (TLBO) para determinar configuraciones óptimas, resultando en perfiles de voltaje mejorados y reducción de la pérdida de energía (Krishnamurthy, 2023). También hay proyectos cuyo objetivo es desarrollar dispositivos de medición de energía eléctrica para vehículos eléctricos (VE) alimentados por batería, abordando la necesidad de un monitoreo preciso de voltaje, corriente, potencia y temperatura de la batería. Utilizando sistemas de medición basados en Arduino con sensores, el dispositivo proporciona visualización de datos en tiempo real en una pantalla LCD para una mayor seguridad y eficiencia en la operación de vehículos eléctricos, como nuestro proyecto (Peeyush, 2023). Sería muy interesante contar con una infraestructura de carga inteligente para VE basada en Internet of Things (IoT) para optimizar las tecnologías bajas en carbono y mejorar la gestión de las baterías. La integración de capacidades de IoT en los sistemas de baterías y su rendimiento se habilita de manera inalámbrica, mejorando la seguridad y la confiabilidad (Garg, 2022).

En este contexto, hay autores que exploran los desafíos de la escasez de combustible y la contaminación ambiental, abogando por los vehículos eléctricos (EV) como una solución. Se revisa la investigación sobre estaciones de carga habilitadas por IoT, comparando diferentes tipos de carga y fuentes de energía, enfatizando la conveniencia del IoT para localizar estaciones a través de aplicaciones móviles, lo que potencialmente facilita una adopción más amplia de los VE (Qahtan, 2022).

Además, hay estudios que proporcionan un análisis exhaustivo de los vehículos eléctricos, incluyendo la tecnología de baterías y la infraestructura de carga, comparando los VE comerciales y los prototipos en términos de autonomía, tamaño de batería y tiempo de carga. Se describen varios tipos de estaciones de carga y su impacto en los sistemas de red, ofreciendo una metodología escalable y rentable para implementaciones futuras, con el objetivo de abordar la creciente popularidad de los VE y la necesidad de expandir la infraestructura de carga (Rutuja, 2023).

Otra opción es proponer una estación de carga para VE alimentada por fuentes de energía renovable como la energía solar fotovoltaica y las turbinas eólicas para abordar la creciente demanda de soluciones de transporte sostenibles. Al utilizar el excedente de energía de estas fuentes e implementar una estrategia de gestión de energía, se busca mitigar el

impacto en la red eléctrica mientras se reducen las emisiones de carbono (Vinoth, 2021).

El documento está estructurado de la siguiente manera: la segunda sección presenta los elementos requeridos para el proyecto, mientras que el proceso de carga de la batería se describe en la sección 3. Finalmente, nuestras principales conclusiones se presentan en la sección 4.

2. Materiales y métodos

Para realizar el cargador interno del coche se ha tenido que programar su propio código. Para ello es necesario un elemento de hardware de fácil uso y alta capacidad. La opción elegida es la placa integrada Arduino MEGA 2560 (Figura 3). Será la utilizada para controlar todos los procesos, encargándose de realizar todas las órdenes de control, lectura de las tensiones de la batería y del cargador, así como, correcciones del cargador.



Figura 3: Arduino MEGA 2560.

Por otro lado, se encuentra el regulador LM2596 (Figura 4) que puede suministrar una tensión ajustable entre 1,25 V y 30 V DC a partir de una tensión de entrada superior comprendida entre 4,5 V y 35 V DC, soportando intensidades de hasta 3A. Mediante este elemento, la electricidad que previamente ha sido transformada en corriente continua, es transformada mediante un control PWM, proporcionando un valor específico para cada zona de recarga.

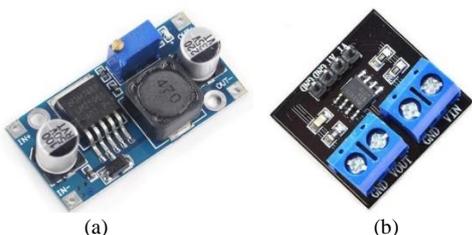


Figura 4: (a) Transformador LM2596 y (b) Medidor MAX471.

También, se ha utilizado un medidor de corriente MAX471. Este elemento es un sensor de voltaje y corriente de alta precisión con el que podemos monitorear estos parámetros en cualquier tipo de circuito. Es ideal para el control preciso de carga de baterías. Tiene un rango de medición de 3 a 36 V y de -3 a 3 A. Es el encargado de medir la intensidad de carga que llega a la batería.

Para finalizar con los módulos utilizados en el control, se ha instalado un transformador DC para alimentar la placa Arduino desde la batería directamente, lo que le permite funcionar de forma independiente.

Por otro lado, se encuentran la batería y el transformador AC/DC, ya que la recarga se realiza en los modos 2 y 3.

Finalmente, se encuentran el divisor de tensión y el transformador de tensión LM2596 que proporcionará potencia al Arduino, así como otra pequeña placa de pruebas para la colocación de las resistencias y los transistores necesarios. En la siguiente tabla se muestran todos los componentes usados.

Tabla 1: Elementos utilizados

Componente	Función
Arduino MEGA	Control de procesos
LM2596	Cambia el voltaje proveniente de AC/DC de acuerdo con el voltaje de la batería.
MAX471	Medidor de intensidad
Transformador CC/CA	Transforma a corriente alterna la corriente obtenida del punto de recarga en corriente continua
Batería	Batería de coche
Transformador CC/Arduino	Placa de potencia Arduino
Fusible	Sistema de protección contra sobrecorriente de 3 A.
Placa de estado CP y PP	Se utiliza para leer y cambiar los estados de la estación de recarga
Placa control PWM	La placa utilizada para controlar el voltaje de la recarga
Placa divisora de voltaje	Para medir los voltajes de la batería y del LM2596

En las Figuras 5-7 se ilustran el esquema de todas las conexiones realizadas en el montaje experimental y su montaje.

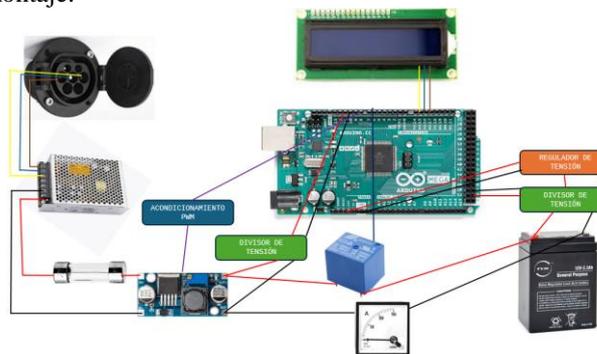
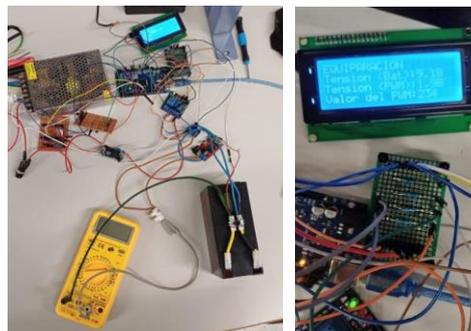


Figura 5: Esquema de las conexiones.



(a) Conexiones en el cargador interno (b) Pantalla del cargador

Figure 6. Apariencia real.

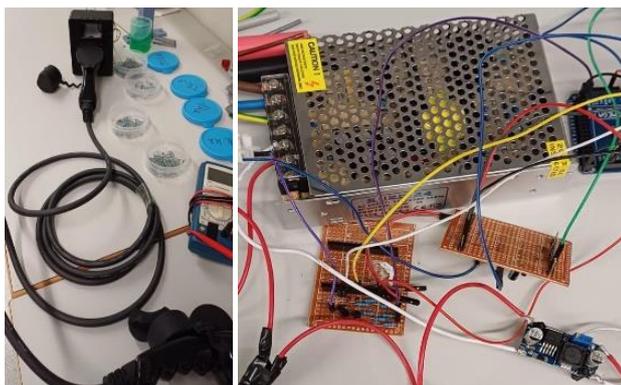


Figura 7: Instalación experimental.

Una vez definidos el esquema de montaje y los componentes utilizados, se procede a explicar el proceso de carga.

3. Proceso de carga

A continuación, se explicará el control con Arduino Mega 2560. Una vez designadas todas las variables, se decidió que hubiera tres estados en el puesto de recarga. Estos serán el de conexión, el de stand-by y el de carga: A continuación, se detalla cada uno de los tres estados.

3.1. Conexión

El estado de conexión comienza con el coche en espera para conectarse al punto de recarga. Para ello utiliza el puerto PP del conector Mennekes (Figura 8).

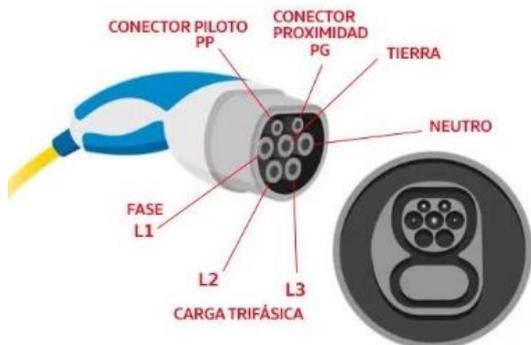


Figura 8: Esquema del conector Mennekes.

El puerto PP se utiliza para comprobar que el coche no está conectado al punto de recarga. Si la señal del PP es inferior a 4,25 V, el coche se encontrará conectado. En este caso, el vehículo enviará un alto pulso al puesto de recarga A, lo que repercutirá en el valor del CP.

Si esta situación se mantiene en este momento, el coche enviará una orden al puesto de recarga para que cierre los dos contactores, en este caso enviando un pulso de alto nivel a los estados A y B y reduciendo el valor del CP.

3.2. Ajuste del pulso PWM

Cuando el punto de recarga prevea transportar electricidad, al entrar en el vehículo la corriente pasará por el

transformador AC/DC porque la carga de la batería requiere corriente continua. De aquí pasa al transformador LM 2596, donde comienza el proceso de ajuste de la tensión de carga de la batería, que es controlada por una tensión PWM.

En la parte del control PWM consiste en un circuito impreso en el cual mediante el uso de dos resistencias y un condensador. Estos componentes regulan la señal PWM que sale del controlador, Arduino MEGA y van al transformador LM2596.

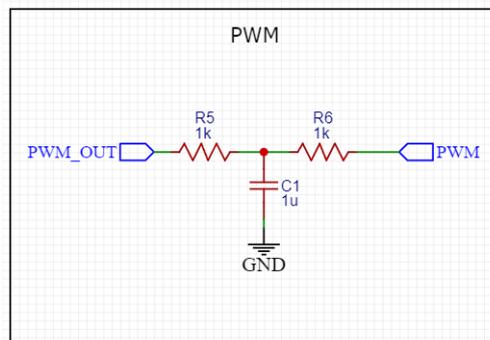


Figura 9: Placa de acondicionamiento de la señal PWM.

De esta manera se consigue un pulso limpio y sin ruido, que a su vez se encuentra con unos niveles de tensión adecuados al tipo de señal.

El valor del pulso se regula internamente en el Arduino, en este caso según la tensión de la batería el valor del PWM es calculado. Este tiene un rango de 0-255 lo que vendría a ser un rango de 0 a 5 V.

Entre el transformador y la batería habrá un contactor para el polo positivo, ya que los polos negativos son comunes. Para cerrar se debe dar una condición. Para evitar el deterioro de la batería y del transformador, para evitar sobrecargas, se medirá la tensión de ambos mediante el divisor de tensión y se cambiará el PWM en función de la tensión de la batería mediante la expresión (1).

$$PWM = \frac{-36,232 \cdot U_{bat}}{566,56} \quad (1)$$

Una vez que la tensión es la misma, se cerrará el contactor y se iniciará el proceso de carga.

3.3. Carga

El proceso de carga se realiza mediante modulación. En este caso, una vez cerrados los contactores, la tensión es la misma en ambas zonas, la intensidad de carga en el LM 2596 y en la batería serán cero. Por ello, sabiendo que una batería puede tener diferentes puntos de carga en función de su tensión, se han definido seis etapas. Si la batería se carga con altas intensidades en sus niveles alto y bajo, la vida útil de la batería se reduce.

Por este motivo es tan importante la modulación de recarga. A través de ella, la batería se carga al límite de su capacidad, de forma que la velocidad de recarga sea lo más alta posible en todos los casos y pensando en la vida útil de la batería. La Figura 9 muestra la intensidad aplicada elegida respecto a la tensión de la batería o, dicho de otro modo, la curva de recarga del vehículo.



Figura 10: Curva de recarga del vehículo.

Una vez que la tensión alcanza la tensión máxima de la batería, en este caso de 14,8 V, se termina el proceso de carga. Se abrirá el contactor y se indicará al usuario que el coche está listo para desconectarse del puesto de recarga.

3.4. Medidas de seguridad

Finalmente, se han aplicado varias medidas de seguridad en el código para que el proceso de carga sea seguro. En primer lugar, si el vehículo se desconecta del punto de recarga el proceso de recarga se interrumpe automáticamente.

Por otra parte, si la diferencia de tensión entre el DC/DC y la batería es demasiado elevada, se interrumpirá el proceso de carga por tener una intensidad superior a 3 A.

Además, se ubica un fusible a la entrada del convertidor LM2596 para proteger el sistema contra picos de intensidad.

3.5. Resumen del proceso de carga

Para finalizar, mediante el siguiente diagrama se explica el funcionamiento del control del cargador en su conjunto.

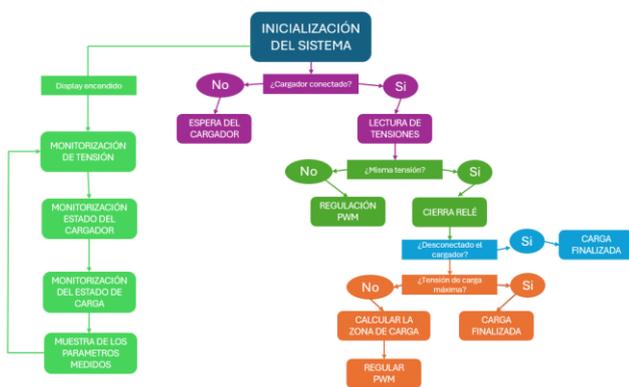


Figura 11: Diagrama de funcionamiento

4. Conclusión

La implantación de vehículos eléctricos y la red de recarga está adquiriendo cada vez más importancia. En

particular, los puntos de recarga de baja potencia han adquirido gran importancia. Estos se colocarán en las calles o en los estacionamientos de los grandes comercios. Este es el tipo de puntos de recarga se ha simulado en el presente trabajo. Como consecuencia, se ha demostrado cómo es posible realizar una instalación comercial con pocos recursos.

Todavía hay muchos fabricantes de automóviles que tienen graves problemas para introducir este tipo de sistemas en sus vehículos eléctricos y tienen muchos problemas con la carga. Un buen ejemplo de ello es que el grupo Volkswagen se ha aliado con la franquicia china Geely para utilizar su tecnología.

Por ello, es muy interesante el realizar un proyecto de estas características, así como poder ver y trabajar sobre diferentes temas relacionados con la programación, electrónica y electricidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Fundación Mobility Lab Vitoria-Gasteiz, una organización gubernamental de la Diputación Provincial de Araba y el Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz bajo la siguiente subvención del proyecto: "Optimización dinámica de semáforos mediante técnicas de Inteligencia Computacional".

Referencias

Ashokkumar, R., Suresh, M., Sharmila, B., Panchal, H., Gokul, C., Udhayanatchi, K. V., Sadasivuni, K. K., Israr, M. (2021). A novel method for Arduino based electric vehicle emulator. *International Journal of Ambient Energy*, 43(1), 4299–4304. DOI: 10.1080/01430750.2020.1860129

Garg, P., Bansal, D., Khan, S., and Bhattacharya, S. (2023). "Development of Energy Measurement System for Electrical Vehicle Battery Using Arduino". In: Dwivedi, S., Singh, S., Tiwari, M., Shrivastava, A. (eds) *Flexible Electronics for Electric Vehicles. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 863. pp 457–464. DOI: 10.1007/978-981-19-0588-9_45

Krishnamurthy, N. K.; Sabhahit, J. N.; Jadoun, V. K.; Gaonkar, D. N.; Shrivastava, A.; Rao, V. S. & Kudva, G. "Optimal Placement and Sizing of Electric Vehicle Charging Infrastructure in a Grid-Tied DC Microgrid Using Modified TLBO Method". *Energies*, 2023, 16(4), 1781. DOI: 10.3390/en16041781

Prasad, PPM., Kanagasabai, N., Surendra Kumar, P. "Design and implementation of IOT based innovative charging method for E-vehicles". *Mathematical Statistician and Engineering Applications*. Vol. 71 No. 4 (2022), pp. 622-632. DOI: 10.17762/msea.v71i4.541

Qahtan, M.H., Mohammed, E.A. and Ali, A.J. (2022). "Charging Station of Electric Vehicle Based on IoT: A Review". *Open Access Library Journal*, Volume 9, pp.1-22. DOI: 10.4236/oalib.1108791

Quy, N.M., Ngoc, L.A., Ban, N.T. et al. *Edge Computing for Real-Time Internet of Things Applications: Future Internet Revolution*. *Wireless Pers Commun* 132, 1423–1452 (2023). DOI: 10.1007/s11277-023-10669-w

Rutuja Rajole, Geetanjali Khot, Gajanan Udas. "IoT Based Electric Vehicle Charging System". *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* e-ISSN: 2395-0056. Volume: 10 Issue: 03 | Mar 2023. pp. 680-685.

Vinoth Kumar, K., Radhakrishnan, P., Kalaivani, R., Devadoss, V., Vijay Anand, L. D. and Vinodha, K., "Implementation of Smart Electric Vehicle Charging Station Driven Using Experimental Investigation", 2021 2nd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT), Bangalore, India, 2021, pp. 1-5. DOI: 10.1109/GCAT52182.2021.9587