

## **SISTEMA DE MONITORIZACIÓN PARA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO**

Ángel-Jesús Maldonado-Criado

José Fernández-Ramos

*Universidad de Málaga, Andalucía Tech, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial,  
C/ Doctor Ortiz Ramos, S/N Campus de Teatinos, 29071, Málaga, España*

### **Resumen**

La mejora de la eficiencia en la movilidad urbana es uno de los objetivos más importantes que se plantean en el modelo de “Smart Cities”, basado en el concepto de sostenibilidad y realizable mediante el soporte de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC). El medio de transporte particular vigente en la actualidad en las ciudades, basado en los vehículos con motor de combustión interna, es claramente no sostenible, por lo que el modelo de Smart City aboga por la paulatina sustitución de este tipo de vehículos por vehículos eléctricos (VEs). Pero la plena implantación de esta nueva tecnología de transporte urbano presenta aún problemas no resueltos, la mayoría de ellos derivados de la escasa autonomía de este tipo de vehículos.

La solución a este problema es abordable desde varios enfoques: aumentar la capacidad de las baterías, desarrollar sistemas dinámicos de recarga o reducir el consumo del VE mediante estrategias eficientes de conducción. Para abordar esta última alternativa es necesario conocer los valores de todas las magnitudes físicas que tienen incidencia en el consumo del vehículo, tanto internas (rendimiento del motor y del sistema de tracción, etc.) como externas (fuerzas de rodadura y aerodinámica, pendiente de la carretera, etc.).

En este artículo se presenta el diseño y realización de un sistema de monitorización que integra un conjunto sensores de muy bajo coste que se ha instalado en un vehículo eléctrico ultraligero experimental. Este sistema que permite medir una gran cantidad de magnitudes del vehículo, como la tensión, intensidad y potencia proporcionada por la batería, de las que se puede inferir su estado de carga, la velocidad con respecto a la carretera y con respecto al aire, la distancia recorrida, el porcentaje de la pendiente y la geolocalización mediante GPS. El sistema integra además un registrador de datos que almacena toda esta información en su memoria interna y un sistema de transmisión GPRS que permite que sean transmitidos en tiempo real a un centro de control.

Las pruebas de funcionamiento realizadas en un circuito real muestran el óptimo funcionamiento del sistema. Se muestran representaciones gráficas de todas las magnitudes importantes que influyen en el rendimiento del vehículo y se aportan ideas de cómo pueden interpretarse estos datos para establecer estrategias que minimicen el consumo energético del vehículo.

## **Abstract**

Improving efficiency in urban mobility is one of the most important objectives set in the model of "Smart Cities", based on the concept of sustainability and achievable through support of new Information and communications technology (ICT). Currently, the particular means of transport in force in cities, based on vehicles with internal combustion engine, is clearly not sustainable, so the Smart City model advocates the gradual replacement of these vehicles with electric vehicles (EVs). But full implementation of this new urban transport technology still has unresolved issues, most of them derived from the limited autonomy of these vehicles.

The solution to this problem is tackled from several approaches: increasing battery capacity, developing recharge dynamic systems and reduce EV consumption through efficient driving strategies. To address the latter alternative, it is necessary to know the values of all physical quantities that have an impact on the vehicle consumption, both internal (engine performance and traction system, etc.) and external (rolling and aerodynamic forces, slope of the road, etc).

This paper describes the design and implementation of a monitoring system, which has been installed in an experimental ultralight electric vehicle. The system includes a set of very low cost sensors which measure a large number of vehicle variables such as voltage, current and battery power, the speed relative to the road and over the air, the distance, the percentage of the slope and geolocation via GPS. The system also integrates a data logger that stores all this information in its internal memory and GPRS transmission system. It allows them to be transmitted in real time to a control center.

Operating tests carried out in a real circuit show the optimal performance of the system. It is shown the graphical representation of the main variables that affect the vehicle performance. Moreover, some ideas about how these data can be interpreted to establish strategies that minimize vehicle energy consumption are suggested.

**Palabras clave:** *movilidad urbana; vehículo eléctrico; sensores electrónicos; sistema de monitorización*

**Área temática:** *Actuaciones sostenibles del espacio urbano.*

## **1. Introducción**

En la actualidad, las ciudades demandan más del 75% de la producción de energía en el mundo y generan el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Cristian Lazaroiu & Roscia, 2012). Para evitar que estos valores sigan en aumento se ha desarrollado el concepto de ciudad inteligente o "Smart City", que propone un modelo urbano basado en la sostenibilidad y la optimización de los recursos disponibles mediante la aplicación de las nuevas tecnologías de la información y las telecomunicaciones. Entre otras cosas, el modelo de Smart Cities pretende una mejora de la eficiencia tanto en la generación y el uso de los recursos energéticos, mediante la potenciación de las energías renovables y la mejora de la eficiencia energética de los edificios, como en la movilidad urbana (European Smart Cities, 2012).

La mejora de la eficiencia de la movilidad urbana supone uno de los principales retos que se plantea en el modelo de Smart Cities. Los siguientes datos muestran el panorama actual del transporte urbano en España (IDAE)- (Ministerio de Agricultura)- (Sanz Alduán, Vega Pindado, & Mateos Arribas, 2014):

- En el conjunto de las ciudades españolas se realizan aproximadamente un número igual de viajes en coche privado y en transporte público.

Los datos referidos al transporte en vehículo privado son los siguientes:

- El 50% de los viajes son trayectos de menos de 3 km
- El 10% son trayectos de menos de 500 m
- Más del 75% de los viajes se hacen con un solo ocupante
- El índice medio de ocupación es de 1,2 personas por vehículo
- Por cada litro de gasolina consumido, un coche emite en promedio 2,3 kg de CO<sub>2</sub> y por cada litro de gasóleo, unos 2,6 kg de CO<sub>2</sub>.
- Además del CO<sub>2</sub>, los motores de combustión interna liberan en la atmósfera partículas en suspensión y otros gases contaminantes, entre los que hay que destacar los óxidos nitrosos por ser muy reactivos al inhalarse.

Ante esta situación, una de las principales líneas de actuación para mejorar la eficiencia en la movilidad y la calidad del aire en las ciudades se basa en la progresiva reducción del uso de combustibles fósiles en los medios de transporte. En este contexto, el vehículo eléctrico (VE) se presenta como la principal alternativa para resolver este problema en lo referente al transporte privado. No obstante, y a pesar del rápido desarrollo que han experimentado en los últimos años las tecnologías relacionadas con los sistemas de tracción eléctrica, la implantación masiva de los VEs como medio principal de transporte en el entorno urbano presenta una serie de dificultades, cuya solución definitiva aún no ha sido encontrada. Uno de los principales problemas a resolver es la reducida autonomía que presentan los VEs en comparación con los vehículos convencionales. Para compensar este problema, la solución más inmediata consistiría en la implantación de una red de puntos de recarga rápida con una capacidad suficiente para atender a una demanda creciente, de forma que cualquier vehículo pudiese completar una recarga en un intervalo de tiempo admisible. Pero esa solución genera nuevos problemas, como es el impacto que tendría en la red eléctrica la instalación de estos sistemas de recarga. Diversos estudios, como por ejemplo el presentado en (Liu, Wen, & Ledwich, 2013) aportan posibles soluciones al problema, aunque aún está lejos de ser resuelto.

Una forma más práctica de afrontar el problema lo representa la iniciativa Zem2All en la ciudad de Málaga (zem2all), en la que se ha puesto en circulación una flota de 200 VEs alquilados a particulares y se han instalado una serie de puntos de recarga rápida en lugares estratégicos de la ciudad. Lo novedoso de esta experiencia es que los vehículos disponen de un sistema que registra sus datos principales de funcionamiento, como el consumo, velocidad, lugares y horario de recargas, etc. Estos datos son recogidos en tiempo real en un centro de control, donde se va acumulando una base de datos que permitirá en el futuro planificar estrategias que mejoren la eficiencia en la movilidad.

En este artículo planteamos una estrategia similar pero mucho más económica, de forma que pueda ser implantada prácticamente en cualquier ciudad sin que presente un impacto económico importante en las arcas municipales.

La solución parte de la utilización de un tipo de Vehículo Eléctrico Ultraligero o ELBEV “Ecologic Low Budget Electric Vehicle” (Van den Bossche, 2010), que presenta características muy interesantes para ser utilizado en la movilidad urbana. Las características de este tipo de vehículos son:

- Un único ocupante
- Peso menor que 100 Kg

- Triciclo, dos ruedas delanteras direccionales y una trasera.
- Velocidad limitada a 70 u 80 Km/h
- Tensión de alimentación: 48 V

Un prototipo similar en prestaciones al descrito anteriormente, aunque con velocidad limitada a 45 Km/h, el VEIR14, ha sido diseñado y desarrollado por los alumnos del equipo AERO EV Racing Team de la ETSI Industrial de la Universidad de Málaga. Este vehículo ha sido la base para la realización de un dispositivo de monitorización de bajo coste formado por sensores distribuidos que permiten medir variables tanto internas como externas del mismo: consumo instantáneo, velocidad, inclinación, localización GPS, estado de carga de la batería, velocidad del aire, etc. Los datos pueden ser guardados en el propio vehículo o transmitidos en tiempo Real, lo cual permite un integración dentro de plataformas IoT (Internet de las Cosas). El sistema de monitorización puede ser fácilmente adaptado a cualquier otro tipo de VE y su coste total ha sido de 115 euros.



**Figura 1: Imagen el vehículo ultraligero VEIR14.**

Las pruebas realizadas han permitido obtener una gran cantidad de información sobre el comportamiento del vehículo que se ha empleado en la realización de este estudio. Estos resultados serán la base para diseñar estrategias de reducción del consumo del vehículo, que podrán ser aplicadas por el propio conductor o por sistemas inteligentes de ayuda a la conducción que serán desarrollados en estudios posteriores.

## **2. Objetivos**

Cuando se habla de la eficiencia de un vehículo normalmente solo se piensa en el rendimiento del motor, sin embargo, existen otros factores como las resistencias de rodadura, aerodinámicas, pendiente, fricciones internas que también contribuyen en mayor o menor medida al consumo energético del vehículo. A cada una de estas variables se le asocian unos parámetros en función de los cuales se puede optimizar la eficiencia del vehículo. Por ejemplo:

- Pendiente: Peso del vehículo.
- Rodadura: Tipo de neumáticos.
- Rozamiento con el aire: Coeficiente aerodinámico, velocidad del vehículo, velocidad del viento.

- Pérdidas de energía en la transformación electromotriz: eficiencia del motor.
- Rendimiento del motor Fricciones internas: Elementos mecánicos de transmisión.

El objetivo de desarrollar el sistema de monitorización para VE ha sido el de poder conocer la evolución de las variables relacionadas con el consumo en condiciones reales. Se han evaluado diferentes estrategias de conducción y a partir de los resultados se han seleccionado aquellas que son más eficientes y que por tanto aumentan la autonomía del VE. Las características del sistema desarrollado son las siguientes:

- Incorpora sensores para medir las variables físicas que afecten al rendimiento del vehículo eléctrico.
- El dispositivo es integrable en la arquitectura del VE: dimensiones físicas reducidas, facilidad de uso, visualización de los datos y posibilidad de almacenamiento en memoria interna y transmisión a un centro de control.
- El dispositivo es escalable y modular, facilitando la actualización e integración de nuevos sensores.
- Sistema de bajo coste, en su desarrollo se han empleado herramientas de software y hardware libre.

### 3. Metodología

Con el fin de detallar y justificar las elecciones que se han tomado durante este proyecto es necesario especificar de una manera concreta cuáles son las exigencias que hay que satisfacer para lograr cumplir los objetivos del proyecto. Se ha comenzado con un enfoque teórico que ha permitido identificar las variables objeto de medida. A partir de ello, se han planteado las posibles soluciones técnicas.

El objetivo de este apartado es el de enunciar y describir aquellas variables de utilidad que permitan estudiar el comportamiento del vehículo.

Prácticamente la totalidad de la energía que requiere el VE se destina a moverlo, por lo que una forma de reducir el consumo es tratar de minimizar las fuerzas que se oponen a su movimiento. La fuerza de tracción que proporciona el motor eléctrico debe superar a estas fuerzas, que son: gravedad, viento, resistencia de rodadura y los efectos inerciales propios del sistema, (Schaltz, 2011).

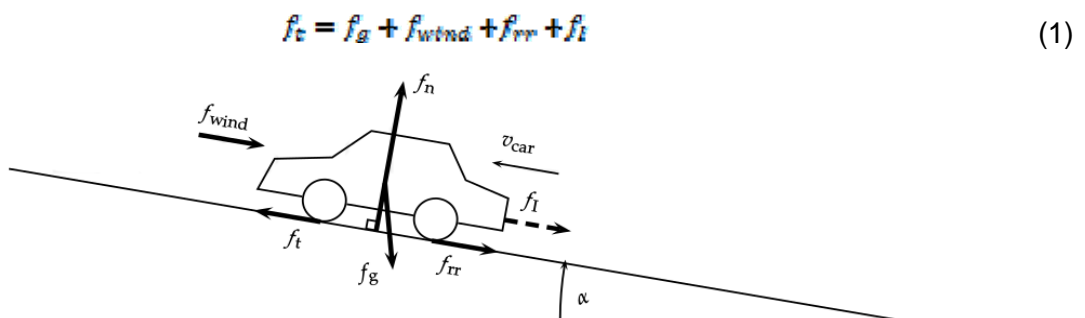


Figura 2: Diagrama de fuerzas sobre el VE.

De las fuerzas enumeradas, las que más inciden en la dinámica del vehículo son la fuerza de la gravedad y la fuerza de resistencia del viento. Para obtener la magnitud de estas fuerzas se deben medir tres variables, tanto internas como externas del vehículo: la velocidad del viento, la velocidad del vehículo y la inclinación.

Otra variable de interés es el estado de carga de la batería. Es importante conocer su evolución durante el desarrollo de un recorrido de prueba con el fin de optimizar su uso y tener una realimentación hacia el sistema. Para realizar la estimación de este estado de carga es necesario conocer la potencia instantánea que proporciona e integrarla en el tiempo. Esto obliga a introducir sensores que proporcionen la medida instantánea de la intensidad y la tensión de la batería.

Por último y con el fin de poder caracterizar los desplazamientos del vehículo se ha incluido un localizador de posición basado en GPS (Global Positioning System), que permitirá situar cada medida en el espacio.

Una vez definidas las variables de interés que son parte de las especificaciones de diseño, el siguiente paso es buscar cómo se van a medir dichas variables. Para ello se hará una descripción de los sensores que se han integrado en el dispositivo, justificando el uso de cada uno de ellos.

### **3.1. Velocidad y distancia recorrida**

Para medir la velocidad del vehículo se ha optado por un sistema muy extendido en este tipo de aplicaciones, un sensor de rotación montado sobre la rueda del vehículo y que produce un serie de pulsos eléctricos cuya frecuencia está relacionada con la velocidad angular de la rueda.

Para generar los pulsos eléctricos se emplea un interruptor magnético o relé reed, de esta forma sobre los radios de la rueda se localiza un imán que en cada giro produce el cierre de dicho contacto. La unidad de adquisición y procesamiento se encarga de contabilizar el número de pulsos en un tiempo determinado para inferir la velocidad.

La distancia recorrida se obtiene mediante la integración de la medida de la velocidad.

### **3.2. Consumo energético**

La energía consumida por el vehículo es la variable de mayor interés ya que está directamente relacionada con la eficiencia del mismo. El consumo energético se calcula integrando la potencia instantánea en el tiempo durante el cual se ha medido dicha potencia. En ese caso las variables objeto de medida son dos: la tensión y la corriente de la batería; multiplicando estas dos medidas se calcula la potencia instantánea. La ecuación para obtener la energía consumida es la siguiente:

La corriente que se le proporciona al vehículo es continua por lo que la potencia eléctrica desarrollada en un cierto instante, es el producto de la diferencia de potencial y la intensidad de corriente que circula por el vehículo. El consumo viene determinado por la ecuación (2).

$$E(t) = \int V(t) \cdot I(t) dt \quad (2)$$

Como el sistema de adquisición de datos toma muestras discretas de las variables de interés en cada periodo de muestreo  $T_s$ , la ecuación (2) se transforma en (3):

$$E = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{V_i \cdot I_i + V_{i+1} \cdot I_{i+1}}{2} T_s \quad (3)$$

Para monitorizar la corriente se ha optado por la introducción de un sensor analógico de bajo coste, basado en efecto Hall, cuyo nivel de tensión de salida es proporcional a la corriente que circula entre los terminales.

El estado de carga de la batería se obtiene calculando la carga proporcionada por la misma mediante la integración de la intensidad y restándosela a la carga inicial de la misma cuyo valor se actualiza cada vez que se recarga el vehículo.

Tanto el sensor de corriente como el de tensión devuelven una salida analógica por lo que el diseño incorpora un etapa de acondicionamiento electrónico para adaptar medida a los sensores a los rangos de funcionamiento en esta aplicación.

### **3.3. Inclinación del vehículo**

Con el objetivo de medir la inclinación del vehículo con respecto de la horizontal (superficie terrestre) se ha empleado el dispositivo MPU-6050, un sensor de movimiento que integra dos instrumentos: un acelerómetro que permite medir la aceleración lineal y un giroscopio para medir velocidad angular en los 3 ejes (x,y,z) con una alta precisión. El sensor propiamente no devuelve el ángulo de inclinación pero se puede inferir mediante cálculos trigonométricos, (Shaeffer, 2013).

### **3.4. Velocidad de viento**

Como se ha comentado en la introducción, la velocidad del viento es un dato importante para conocer la fuerza de arrastre aerodinámica a la que se ve sometido el vehículo cuando se mueve. Para medir dicha variable se emplea un instrumento conocido como anemómetro. Se ha optado por integrar un anemómetro cuyo funcionamiento está basado en la comparación de la presión de impacto del aire (presión dinámica) y la presión estática. Este dispositivo se conoce como Tubo de Pitot-Prandtl y su uso está ampliamente extendido en aplicaciones aeronáuticas y en competiciones de vehículos como la F1, (Klopfenstein Jr, 1998).

### **3.5. Posición GPS**

La integración de un módulo GPS en el sistema se ha realizado con el objetivo de poder geolocalizar todos los datos recogidos. Este hecho es importante ya que permite caracterizar cualquier recorrido que realice el vehículo y de esa forma determinar los puntos de mayor consumo, velocidad, etc; y sobre todo poder comparar diferentes estrategias de conducción sobre el mismo trazado para conocer cuál es la más eficiente.

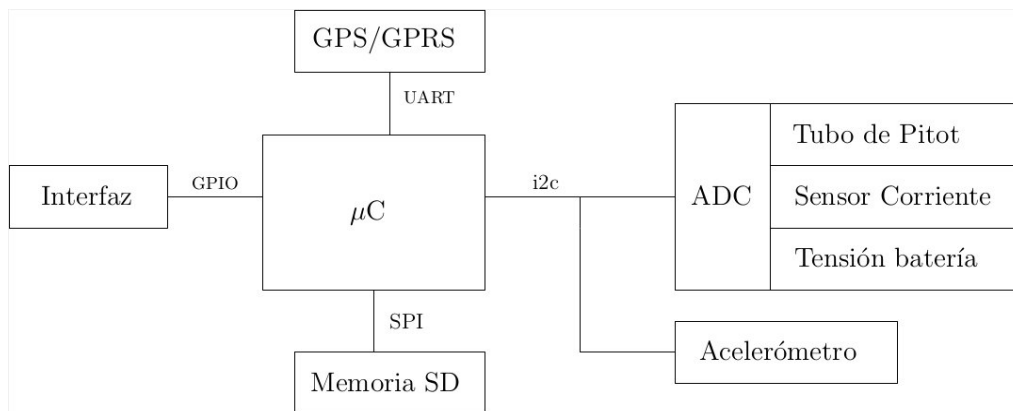
Este dispositivo está pensando para integrar en aplicaciones móviles, por lo que además de GPS incorpora otras las funcionalidades cómo el módulo de conectividad GPRS o puertos para conectar a periféricos como un micrófono o teclado. Se ha aprovechado que este módulo incorpora también un reloj a tiempo real para incluir esta magnitud junto con el resto de los datos que se registran.

### **3.6. Arquitectura del Hardware**

En el diseño de la arquitectura se ha optado por un sistema de sensores distribuidos en varios puntos del vehículo y conectados todos ellos a una tarjeta de control tipo Arduino Mega. Además de los sensores, el microcontrolador maneja el sistema de almacenamiento en la memoria local y/o el control del módulo de comunicación GPRS que permite la transferencia de los datos en tiempo real.

Los dispositivos digitales que se han integrado disponen de una interfaz digital o bus de comunicación (SPI, I2C, UART, GPIO) lo que permite la conectividad directa con el microcontrolador (Catsoulis, 2005). En el caso de los sensores analógicos, en la etapa de acondicionamiento se han incluido ADCs para digitalizar la tensión de salida del sensor y transmitir mediante una interfaz I2C el valor correspondiente al microcontrolador. Es una solución más robusta que emplear los ADCs del microcontrolador ya que la información se transmite digitalizada, evitando la degradación por ruido y atenuación de la señal analógica del sensor.

A partir de las consideraciones tomadas, la conectividad entre los diferentes módulos que componen el diseño se realizará de forma digital tal y como se muestra en el esquema de la Figura 3.



**Figura 3: Arquitectura Hardware del sistema de monitorización.**

### 3.7. Diseño del Software

El desarrollo del software ha tenido dos partes bien diferenciadas: programación del microcontrolador y programación del código de procesamiento y análisis de los datos.

La programación del microcontrolador se ha realizado en el lenguaje de alto nivel de Arduino y las bibliotecas de software se han programado en c/c++. La utilización de este lenguaje permite realizar una programación rápida sin necesidad de entrar a bajo nivel del microcontrolador. En la programación se ha tenido en cuenta las siguientes pautas:

**Programación modular:** se ha primado que el software sea modular de forma que resulte sencillo realizar modificaciones, por ejemplo, para añadir un nuevo sensor. Siguiendo el mismo principio que para el diseño Hardware, la inclusión de un nuevo módulo sensor debe ser algo simple para alguien con unos conocimientos de programación básicos.

**Facilidad de depuración:** se han programado un modo de depuración en el software que puede ser habilitado o deshabilitado en el momento de programar el microcontrolador. Cuando este modo está habilitado, se puede conectar el Arduino a un PC y leer el estado de los sensores directamente a través de la UART.

Los datos que se guardan en la memoria del sistema son en su mayoría datos RAW, es decir, no procesados ni convertidos a una magnitud física real. La conversión de los datos se realiza offline para no sobrecargar el microcontrolador con procesos innecesarios de cálculo. Otro aspecto a favor de no implementar las fórmulas de calibración en el microcontrolador es la posibilidad de calibrar el instrumento sin necesidad de modificar o reprogramar el microcontrolador.



Se ha creado una biblioteca de funciones en MATLAB para automatizar el tratamiento offline de los datos. Las funcionalidades más importantes implementadas son:

- Carga automática de los datos guardados en un fichero con formato de datos separados por coma (CSV).
- Funciones de calibración para cada sensor.
- Presentación automática de los datos convertidos en forma de gráficas, lo que permite una interpretación rápida de los resultados.

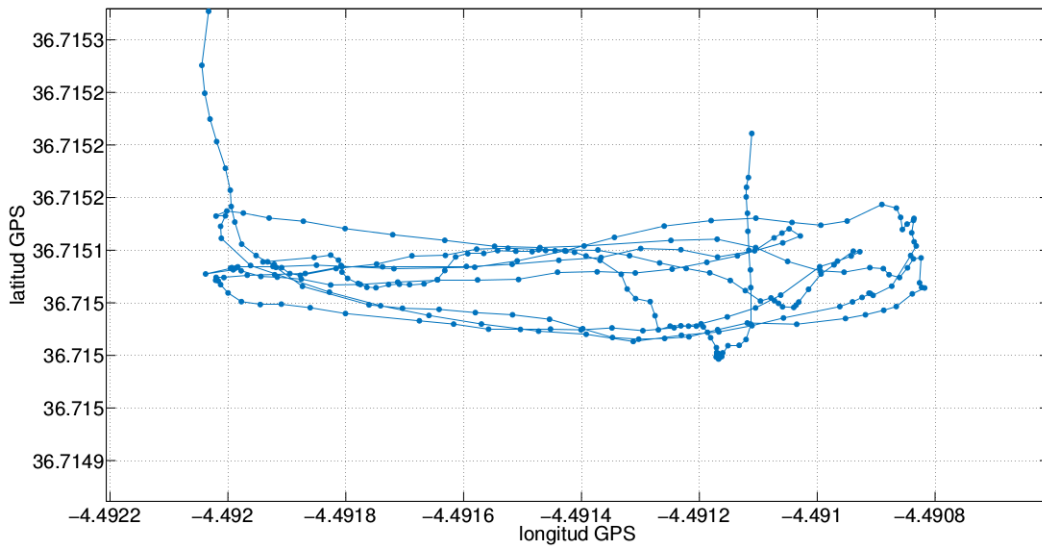
#### **4. Resultados**

Para validar la funcionalidad del sistema de monitorización se ha realizado una prueba real instalándolo en el vehículo eléctrico ultraligero VEIR14.



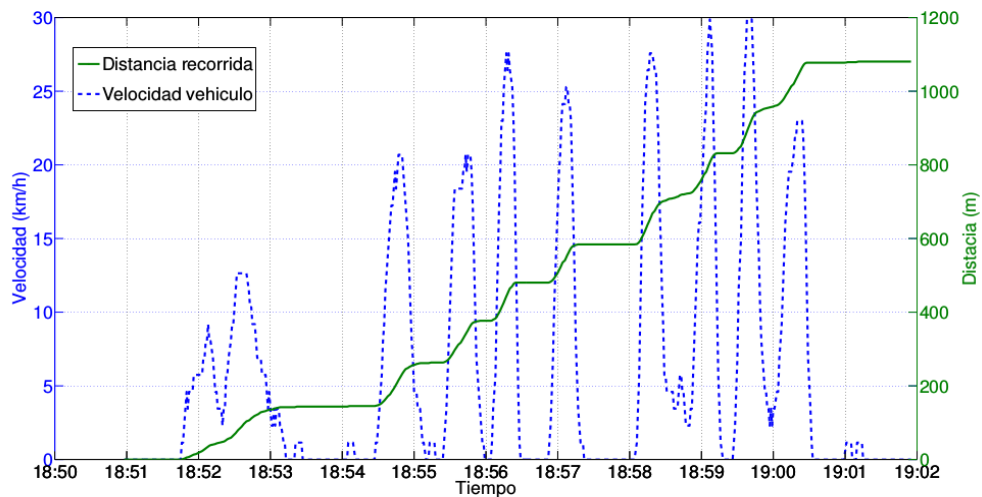
**Figura 4: Detalles del sistema instalado en el VE.**

La prueba se ha realizado en un tramo 105 metros, el cual ha sido recorrido 10 veces, acumulando un total de 1050 metros. Las coordenadas GPS que se han obtenido durante la prueba se han representado en la Figura 5.



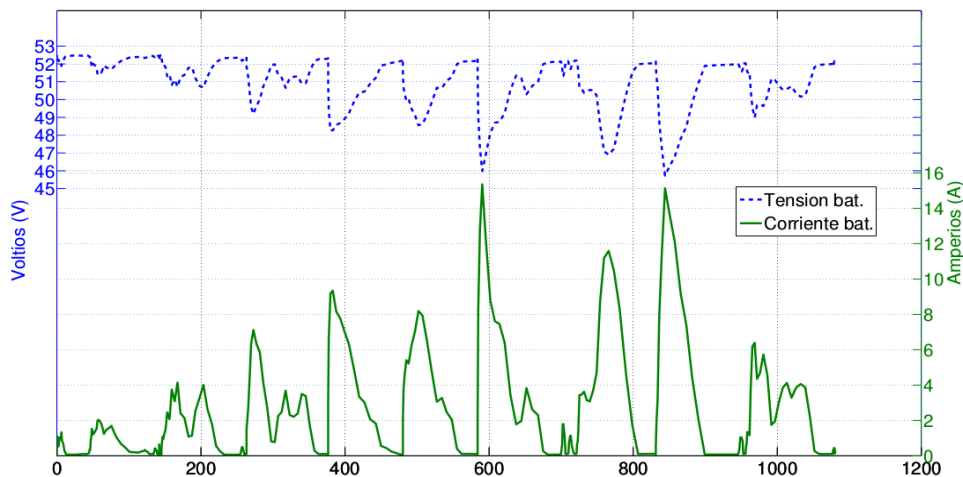
**Figura 5: Coordenadas GPS**

En la Figura 6 se ha representado la velocidad del vehículo y la distancia total recorrida. En esta gráfica es fácil analizar el avance del vehículo en cada uno de los 10 tramos que se han recorrido.



**Figura 6: Velocidad del vehículo (Km/h) y distancia total recorrida (m).**

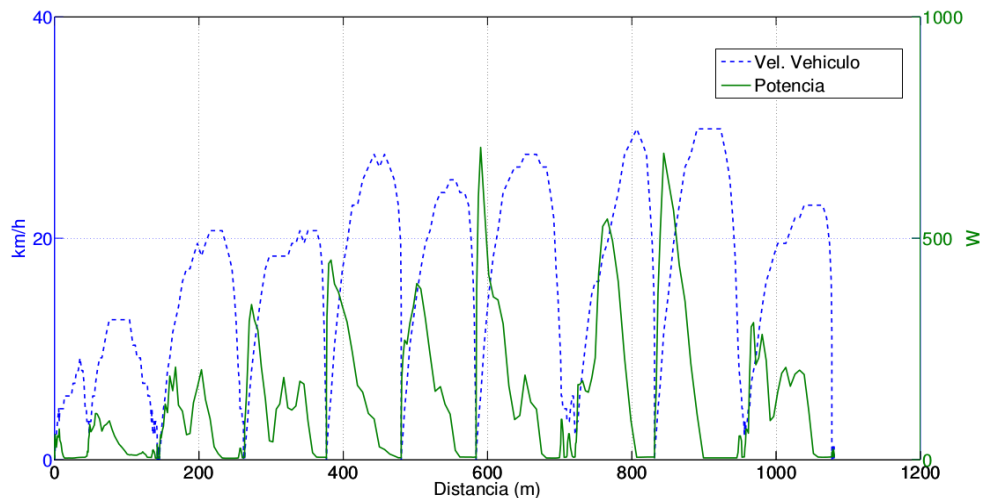
En la Figura 7 se ha representado la tensión de la batería y la corriente que circula por el vehículo. Se puede observar cómo debido a la resistencia interna de la batería, cuando el vehículo demanda más corriente, la tensión en bornes de la batería disminuye en la misma proporción.



**Figura 7: Evolución de la tensión (V) y corriente (A) de la batería**

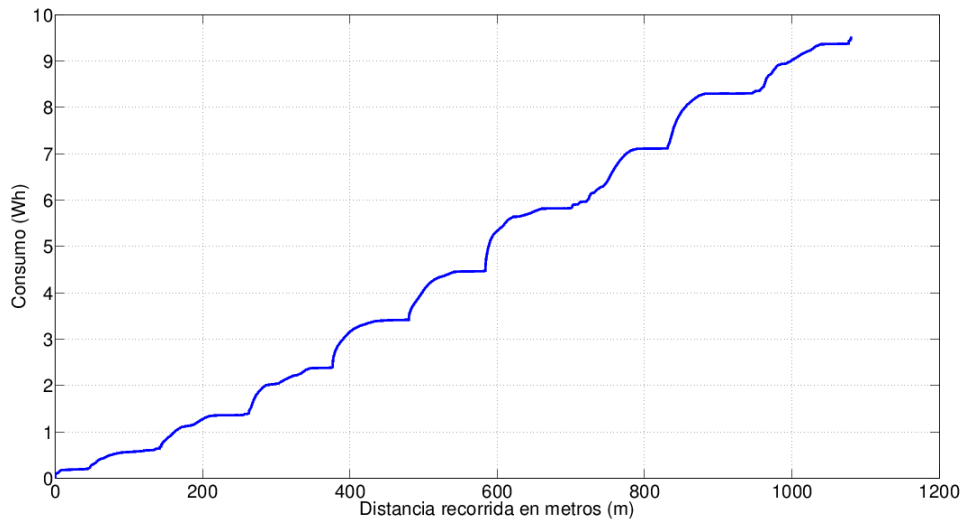
A partir de los datos representados en la Figura 7 se ha calculado la potencia instantánea del vehículo obteniendo como resultado la gráfica de potencia de la Figura 8. Adicionalmente, en esta figura, se ha representado también la velocidad del vehículo.

Los picos de potencia se producen al acelerar el vehículo para ponerlo en movimiento, como se puede comprobar en la Figura 9 en estos puntos se produce el mayor aumento del consumo. Dado que se tiene como objetivo aumentar la autonomía del VE, una forma de optimización pasa por reducir las aceleraciones bruscas.



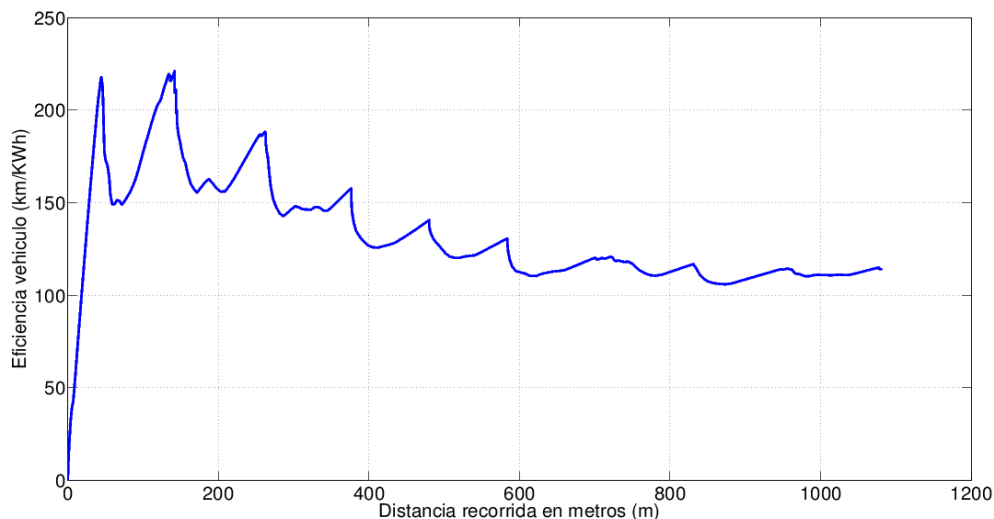
**Figura 8: Velocidad del vehículo (Km/h) y potencia instantánea (W).**

Otro aspecto con el que se intenta reducir el consumo es aprovechando la inercia del vehículo cuando está en movimiento. Este efecto se puede observar en la Figura 8 cuando el vehículo ha alcanzado la máxima velocidad y la potencia se reduce prácticamente a cero.



**Figura 9: Consumo del vehículo (Wh)**

De todos los datos que se pueden obtener a partir de las variables medidas, el de mayor interés es el que representa la eficiencia. Una de las formas más comunes de estimar la eficiencia de los VEs consiste en expresar a través del cociente distancia entre consumo, (Km/KWh). El resultado de este cociente se ha representado en la Figura 10.



**Figura 10: Evolución de eficiencia del vehículo (Km/KWh).**

En la Figura 11 se ha representado tanto la velocidad del vehículo como la velocidad del viento que se encuentra el vehículo en cara.

Cuando el viento es en cola, el valor resultante que mide el tubo de Pitot es menor que la velocidad del VE, mientras que si el viento es en cara, se suma la velocidad absoluta del viento a la velocidad del vehículo. A partir de los resultados de la Figura 11 se puede comprobar claramente este efecto, cuando el vehículo se mueve en un sentido del trayecto lleva el viento en cola mientras que el otro sentido lleva el viento en cara.

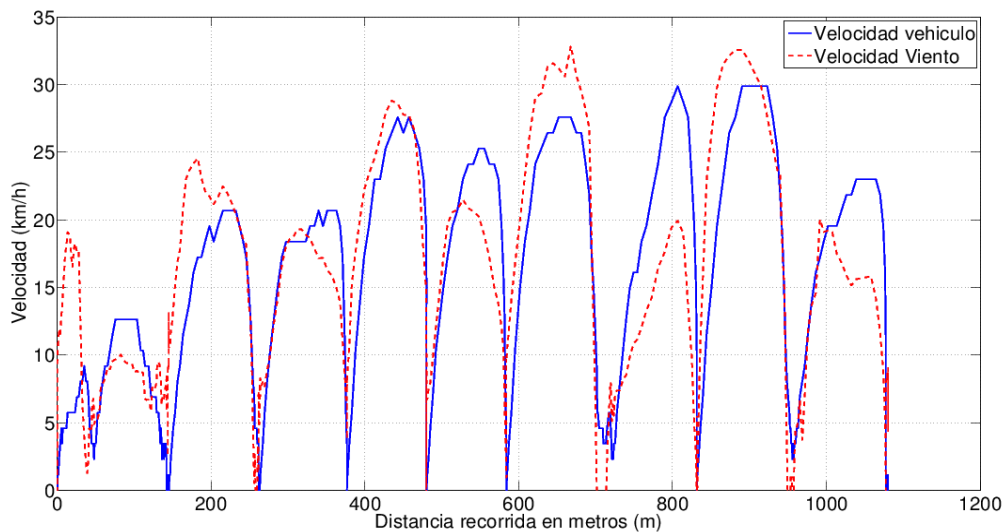


Figura 11: Velocidad del vehículo (Km/h) y Velocidad del viento (Km/h)

El coste material de todos los elementos integrados en el sistema alcanza un total de 115€. Es un coste muy reducido en comparación con otros sistemas de monitorización que incluso miden menos variables. En la Figura 12 se muestra el coste de los diferentes elementos que componen el sistema de monitorización.

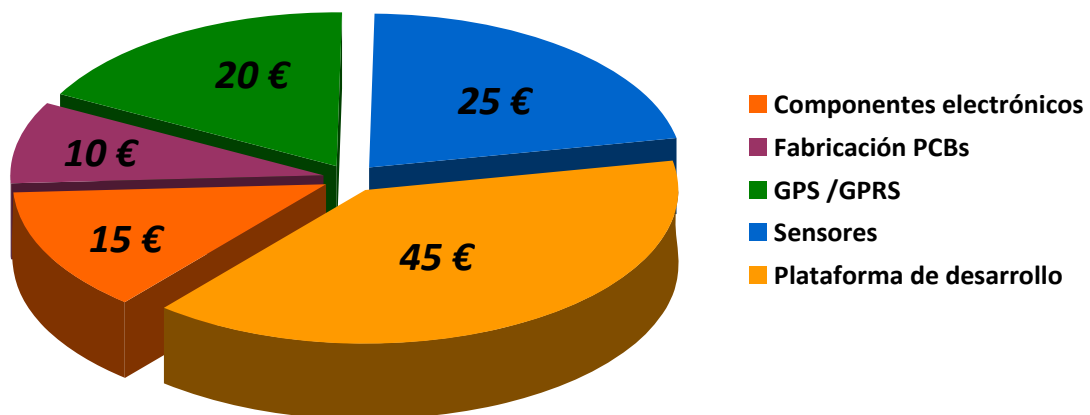


Figura 12: Resumen del coste económico.

## 5. Conclusiones y líneas futuras de investigación

En este artículo se ha mostrado que es posible desarrollar e integrar un sistema de monitorización de las principales magnitudes físicas que inciden en el rendimiento energético de un VE con un coste muy reducido y unas prestaciones suficientes para permitir mejorar la eficiencia y por tanto a aumentar la autonomía de este tipo de vehículos. Este sistema se integra en el paradigma de las Smart Cities, aportando una mejora en el área de la movilidad urbana. En este contexto, se abre un campo de aplicaciones extenso que muy posiblemente se desarrollará en los próximos años, algunas posibles aplicaciones podrán ser:

- Desarrollo de algoritmos de control para VE basados en los datos obtenidos por el sistema de monitorización. Proporcionando al conductor un cierto nivel de asistencia para un modo de funcionamiento de bajo consumo.
- En un entorno de Smart Cities, el VE puede llegar a conocer el estado del tráfico rodado, el estado de los semáforos, orografía de la ciudad, etc y junto con los datos del sistema de monitorización realizar la planificación de rutas más eficientes.
- Monitorización de los VE desde centros de control. La recolección de los datos y el tratamiento mediante técnicas de BigData se puede obtener información sobre el uso de los VE. Explotar estos datos para mejorar la movilidad dentro de las ciudades

## **Referencias**

- Catsoulis, J. (2005). *Designing embedded hardware*. O'Reilly Media, Inc.
- Cristian Lazaroiu, G., & Roscia, M. (2012). *Definition methodology for the smart cities model* (Vol. 47). Energy.
- European Smart Cities*. (2012). (Centre of Regional Science Vienna University of Technology) Obtenido de <http://www.smart-cities.eu/model.html>
- IDAE. (s.f.). *Consumo de carburante y emisiones de CO2*. Obtenido de <http://coches.idae.es/portal/Consumo.aspx>
- Klopfenstein Jr, R. (1998). Air velocity and flow measurement using a Pitot tube. *ISA transactions*, 37(4), 257-263.
- Liu, Z., Wen, F., & Ledwich, G. (2013). Optimal Planning of Electric-Vehicle Charging Stations in Distribution Systems. *Power Deliver, IEEE Transactions on*, 28(1), 102-110.
- Ministerio de Agricultura, A. y. (s.f.). *Movilidad Sostenible desde el hogar*. Obtenido de [http://www.magrama.gob.es/es/ceneam/programas-de-educacion-ambiental/hogares-verdes/movilidad-sostenible-2014\\_tcm7-13500.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/ceneam/programas-de-educacion-ambiental/hogares-verdes/movilidad-sostenible-2014_tcm7-13500.pdf)
- Sanz Alduán, A., Vega Pindado, P., & Mateos Arribas, M. (2014). *Las cuentas ecológicas del transporte en España*. Madrid: Libros en Acción.
- Schaltz, E. (2011). Electrical vehicle design and modeling. *INTECH Open Access Publisher*.
- Shaeffer, D. K. (2013). MEMS inertial sensors: A tutorial overview. *Communications Magazine, IEEE*, 51(4), 100-109.
- Van den Bossche, A. (2010). Light and Ultralight electric vehicles. *4ième Conférence internationale sur le Génie Electrique (CIGE 2010)*(2), 3-9.
- zem2all*. (s.f.). Obtenido de <http://www.zem2all.com>

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido realizado en parte bajo el amparo del Campus Internacional de Excelencia Andalucía TECH y en el marco del proyecto denominado “Desarrollo de Vehículos Eléctricos de Competición: Una experiencia de Educación interdisciplinaria basada en proyectos en el ámbito de la Ingeniería”, con código PIE13\_012, perteneciente a la convocatoria 2013-2015 de Proyectos de Innovación Educativa de la Universidad de Málaga

## **Correspondencia**

Nombre y Apellido: Ángel Jesús Maldonado Criado

Teléfono: +34 634247574

E-mail: [angelmc@uma.es](mailto:angelmc@uma.es)

### **Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.