

Diseño y construcción de un sistema de visualización para el monitoreo de parámetros del vehículo eléctrico (EVEO).

Diego Haro, Oswaldo Naranjo, Mayra Sarzosa, Nelson Sotomayor, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito - Ecuador

Resumen – En la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional, se cuenta con un prototipo de vehículo eléctrico denominado EVEO (Electrical Vehicle Ecuadorian Owl), en el presente proyecto se diseña y construye un sistema de visualización moderno para el monitoreo de parámetros del EVEO; mediante el uso de microprocesadores ATMEGA de arquitectura avanzada de 32 bits, indicadores digitales de última generación con tecnología OLED, pantalla gráfica LCD con panel táctil resistivo y la aplicación del estándar CAN para las comunicaciones en el vehículo, se crea un sistema más amigable y de fácil acceso para el conductor.

Índices – Vehículo eléctrico, Sistema de visualización, Sistema microprocesado, CAN.

I. INTRODUCCIÓN

Cualquier persona que haya conducido un vehículo puede notar la importancia de una visualización adecuada de los parámetros del automotor, cuya utilidad radica en alertar niveles críticos en baterías, aire, presión, combustible, etc., además de ayudar a confirmar el activado de elementos como: luces, puertas, cinturón de seguridad, entre otros. En el caso de un vehículo eléctrico el número de variables a ser monitoreadas es mayor que en un automotor de combustión, por lo que la implementación del sistema de visualización es indispensable para la detección de posibles anomalías y prevención de problemas durante la conducción.

El presente proyecto integra las señales de monitoreo de EVEO en un solo sistema de visualización haciendo uso de la tecnología del BUS CAN para la transmisión de información y de una HMI para mejorar la estética. Además, se mejora la funcionalidad del sistema de comunicación de acuerdo al estándar automotriz basándonos en la utilización del bus CAN, el cual por su estructura reduce sustancialmente el cableado y minimiza la posible contaminación de la información producida por causa de EMI/RFI o por los aspectos constructivos del sistema.

Si bien, la investigación y desarrollo de esta área se encuentra muy avanzada en la industria automotriz mundial sus resultados son reservados, en el país no se han encontrado trabajos similares, y considerando que tampoco se encuentran prototipos de características semejantes a EVEO este proyecto ha involucrado un alto tiempo y costo en su desarrollo e investigación.

II. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

Para el sistema de visualización y monitoreo de parámetros para el vehículo eléctrico se implementa un Bus CAN para el intercambio de información como indica la Fig. 1, se establece CAN como protocolo a utilizarse debido a que es abierto y de alta seguridad, además de que es utilizado como estándar en el área automotriz [1].

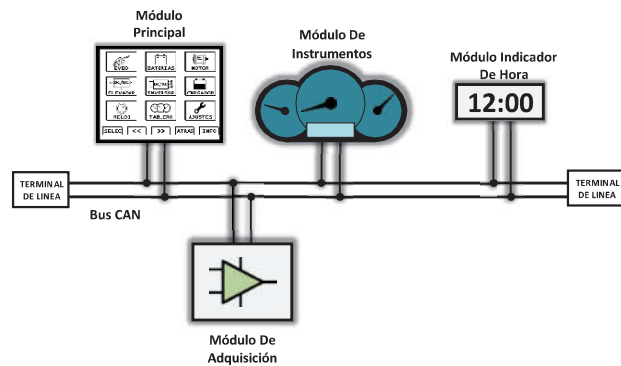


Fig.1 Estructura del sistema de visualización y monitoreo.

Se establecen cuatro nodos de comunicación mediante la implementación de cuatro módulos denominados:

- Módulo principal
- Módulo de instrumentos
- Módulo de adquisición
- Módulo indicador de hora

Cada módulo presenta diferente funcionalidad, como se puede apreciar a continuación.

A. Módulo Principal

Es la unidad principal, en él se manejan los periféricos que permiten al usuario interactuar con todo el sistema, ya sea para obtener la información del vehículo, personalizar el módulo de instrumentos, o simplemente para modificar algunos de los parámetros propios como la calibración del ingreso táctil, nivel de volumen de la alarma auditiva, brillo, contraste de la pantalla, etc. En la Fig. 2 se muestra el diagrama de bloques de este módulo.

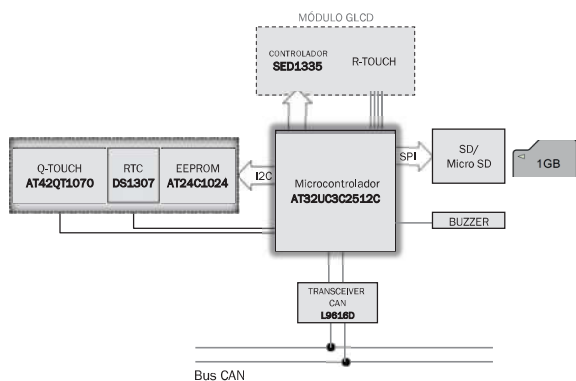


Fig.2 Diagrama de bloques del módulo principal.

Los elementos empleados para la operación del módulo principal son:

- 1) Microcontrolador AT32UC3C2512C, para aplicaciones automotrices [2], controlador del módulo.
- 2) Controlador de SED1335 para pantalla LCD gráfica.
- 3) Panel táctil resistivo de 4 hilos.
- 4) Dispositivos I2C:
 - a) Memoria EEPROM AT24C1024.
 - b) RTC DS1307.
 - c) Controlador Q-Touch AT42QT1070.
- 5) Tarjeta de memoria SD.
- 6) Transceiver CAN L9616D.

B. Módulo de Instrumentos

Este módulo al igual que en un vehículo comercial, está encargado de mostrar al usuario los parámetros de velocidad, revoluciones del motor, carga de las baterías, la cuenta de kilómetros recorridos, contador de distancia (Odómetro) y señales de alarma a través de la pantalla OLED según los datos enviados por el módulo principal. Adicionalmente el módulo de instrumentos consta de un sistema de iluminación que puede ser personalizado por el usuario. En la Fig. 3. se muestra el diagrama de bloques correspondiente a este módulo.

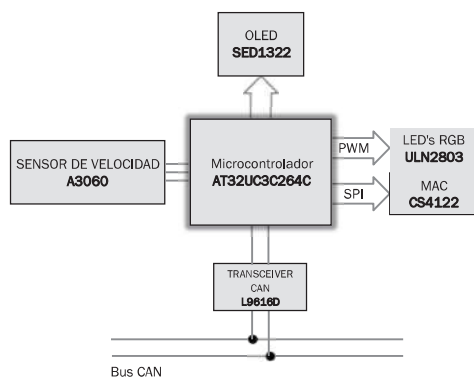


Fig.3 Diagrama de bloques del módulo de instrumentos.

Como se puede observar el diagrama de bloques de la Fig. 3, este módulo se encuentra formado por los siguientes componentes principales:

- 1) Microcontrolador AT32UC3C264C.
- 2) Controlador SSD1322 para la pantalla OLED.
- 3) Controlador CS4122 para el manejo de los Micro-Air Core [4].
- 4) LEDs RGB y Driver ULN2803.
- 5) Sensor de efecto hall A3060, para medición de velocidad [3].
- 6) Transceiver CAN L9616D, comunicación.

C. Módulo de Adquisición

El módulo de adquisición está encargado de realizar la medición de parámetros de los distintos sistemas que conforman el vehículo, como se muestra en la Tabla I, y luego transmitirlos al módulo principal a través del bus CAN. En la Fig. 4 se muestra el diagrama de bloques, donde el microcontrolador ATmega16M1 comanda el circuito de procesamiento.

TABLA I
PARÁMETROS ADQUIRIDOS POR CADA SISTEMA DEL EVEO

MÓDULO	PARÁMETROS
BANCO DE BATERÍAS	Voltaje de cada batería
	Voltaje Total
	Corriente Total
	Temperatura
	Estado de carga
CONVERSION DC/DC ELEVADOR	Estado del fusible de entrada
	Voltaje de salida
	Corriente de salida
INVERSION SPWM	Estado del fusible de entrada
	Frecuencia de salida
	Estado del freno
MOTOR	Temperatura
	Revoluciones

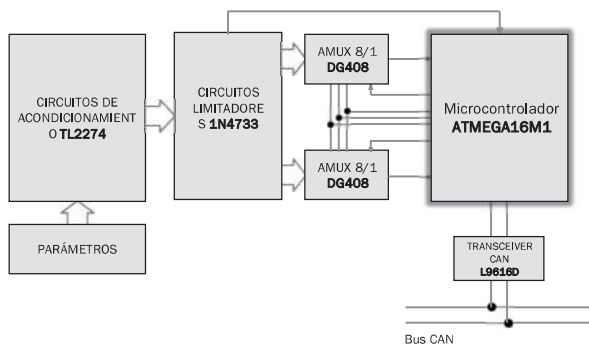


Fig.4 Diagrama de bloques del módulo de adquisición.

Donde se puede observar que el circuito de este módulo se encuentra formado por los siguientes componentes principales:

- 1) Microcontrolador ATmega16M1, controlador del módulo.
- 2) Amplificador Operacional TL2274.
- 3) Diodo Zener 1N4733.
- 4) Multiplexor Analógico DG408.
- 5) Transceiver CAN L9616D, comunicación.

D. Módulo Indicador de Hora

Este módulo funciona únicamente como un indicador fijo donde se muestra la hora en todo momento, su funcionamiento depende del módulo principal puesto que es allí donde se encuentra el reloj DS1307. El diagrama de bloques del módulo se muestra en la Fig. 5.

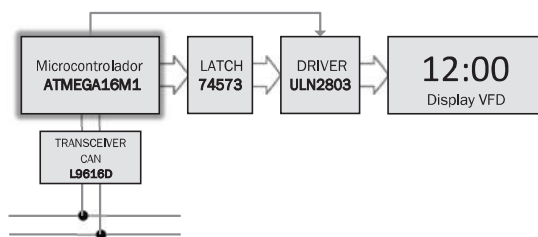


Fig. 5 Diagrama de bloques del módulo indicador de hora.

Los componentes principales de este módulo son:

- 1) Microcontrolador ATmega16M1, controlador del módulo.
- 2) Latch 74HC573.
- 3) Driver ULN2803.
- 4) Display de 7 segmentos tipo VFD.
- 5) Transceiver CAN L9616D.

III. DESARROLLO DE LOS PROGRAMAS DE CONTROL

Los programas de control fueron desarrollados utilizando el paquete informático gratuito Atmel Studio 6 perteneciente a la empresa ATMEL que sirve para el desarrollo y depurado de software para los microcontroladores de arquitecturas AVR y ARM propios de la empresa [8], [9].

A. Programa del Módulo Principal

Como cerebro de este módulo se tiene un microcontrolador AT32UC3C2512C, encargado de manejar una pantalla GLCD [6] con panel táctil resistivo en la cual se ha implementado una HMI para la visualización y monitoreo de los parámetros según las tramas que recibe mediante el Bus CAN, además del control de un Bus I2C con memoria EEPROM, reloj en tiempo real y controlador QTOUCH, el módulo también brinda la posibilidad de almacenar los parámetros en una tarjeta de memoria SD controlada mediante comunicación SPI y el sistema de archivos FAT. El diagrama de flujo del programa principal (función "main") se muestra en la Fig. 6.

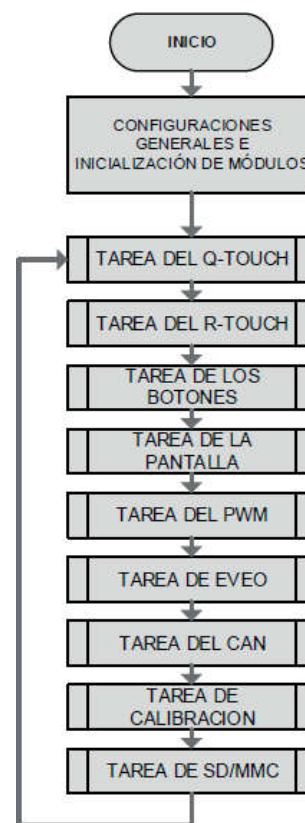


Fig. 6 Diagrama de flujo del programa del módulo principal.

La función "main" se ejecuta al momento de encender el microcontrolador y contiene el lazo principal de trabajo, y como indica la Fig. 6, el microcontrolador ejecuta una tarea netamente secuencial. El programa se inicia mediante la realización de configuraciones generales de periféricos, y posteriormente se ejecutan las subrutinas de control que son denominadas tareas por tratarse de librerías específicas para cada sección y por ejecutar un proceso detallado y exclusivo. Para las subrutinas de interrupción existen vectores propios dentro del microcontrolador que hacen que se ejecuten en secciones de memoria diferentes y exclusivas para cada una. Las funciones generales de cada tarea se muestran en la Tabla II.

TABLA II
ACTIVIDADES GENERALES DESARROLLADAS POR CADA SUBROUTINA DEL MÓDULO PRINCIPAL

SUBROUTINA	ACTIVIDAD DESARROLLADA
TAREA DEL Q-TOUCH	La subrutina se emplea para saber si hubo o no cambio del estado de alguna tecla del Q-Touch.
TAREA DEL R-TOUCH	Realiza una tarea de interrupción con el dato de las coordenadas presionadas o soltadas. Si la interfaz se encuentra en Q-Touch, queda inhibida la acción de interrupción del R-Touch y viceversa.
TAREA DE LOS BOTONES	Dibuja aplastados o levantados los botones en la pantalla, lo realiza después que el usuario ha interactuado mediante el panel táctil resistivo o las teclas Q-Touch.
TAREA DE LA PANTALLA	Mantiene actualizados los datos en el GLCD de manera periódica, para que la

	lectura pueda ser claramente legible, de lo contrario datos no muy estables no se podrían observar.
TAREA DEL PWM	Refresca el ancho del PWM según las modificaciones que realice el usuario para controlar el brillo.
TAREA DE EVEO	Chequea algunas variables propias del automotor como son el kilometraje, el odómetro, las alarmas, y también si el cargador de baterías está conectado se determina el estado de la carga.
TAREA DEL CAN	Gestiona la transmisión y recepción de las tramas.
TAREA DE CALIBRACION	Chequea la necesidad del usuario de cambiar la calibración del panel táctil resistivo, existen dos posibilidades de calibración, una es por defecto y otra es por el usuario mediante una subrutina de calibración.
TAREA DE SD/MMC	Realiza las tareas concernientes a la tarjeta SD/MMC, empieza por un chequeo físico para asegurarse que la tarjeta ingresó y después un chequeo mediante comunicación SPI para verificar el correcto funcionamiento de la misma, si el usuario desea almacenar los datos de voltaje, corriente y temperatura del banco debe iniciar el modo de grabación.

B. Programa del Módulo de Instrumentos

Este módulo incluye un microcontrolador AT32UC3C264C para el control de los indicadores analógicos Micro-Air Core [4], [5] mediante el controlador CS4122 con comunicación SPI, la pantalla OLED [7] mediante una interfaz paralela, la determinación de la velocidad mediante el sensor A3060 utilizando contadores/temporizadores, el control de iluminación del tablero mediante LEDs RGB controlados con técnica PWM y la interacción con los otros módulos mediante el Bus CAN. El diagrama de flujo del programa del módulo de instrumentos se muestra en la Fig. 7 y las funciones realizadas por cada subrutina se muestran en la Tabla III.

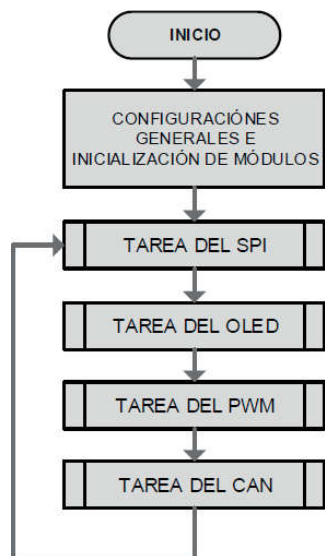


Fig. 7 Diagrama de flujo del programa del módulo de instrumentos.

TABLA III
ACTIVIDADES GENERALES DESARROLLADAS POR CADA SUBROUTINA DEL MÓDULO DE INSTRUMENTOS

SUBROUTINA	ACTIVIDAD DESARROLLADA
TAREA DEL SPI	Calcula el ángulo que debe girar cada medidor de precisión de movimiento rotativo, según los datos que setengan de nivel de voltaje del banco, velocidad y revoluciones del motor.
TAREA DEL OLED	Mantiene actualizada la información que se muestra en la pantalla OLED. Se despliegan valores de kilometraje, odómetro y existen tres señales de alarma para niveles de voltaje bajo, sobre temperatura y una para el resto de alarmas, para conocer el problema específico el usuario debe ingresar al submenú EVEO en la pantalla GLCD.
TAREA DEL PWM	Mantiene el color actual del tablero con los valores seleccionados por el usuario dentro de parámetros límite y existe la discriminación de encender los LEDs cargando los anchos de pulso de los colores Rojo, Verde y Azul que se conocen mediante la comunicación en protocolo CAN desde el módulo principal o apagar las luces.
TAREA DEL CAN	Se encarga de la transmisión y recepción de las tramas de datos de velocidad y metros recorridos.

C. Programa del Módulo de Adquisición

Se tiene un microcontrolador ATmega16M1 encargado de digitalizar los parámetros mediante su convertor A/D e introducirlos al Bus CAN. Se hace uso de dos multiplexores analógicos DG408 para expandir el número de canales A/D y utilizar una sola tarjeta para la adquisición. En la Fig. 8 se indica el diagrama de flujo del programa del módulo de adquisición y en la Tabla IV se muestra un resumen de las funciones que cumplen las subrutinas involucradas.

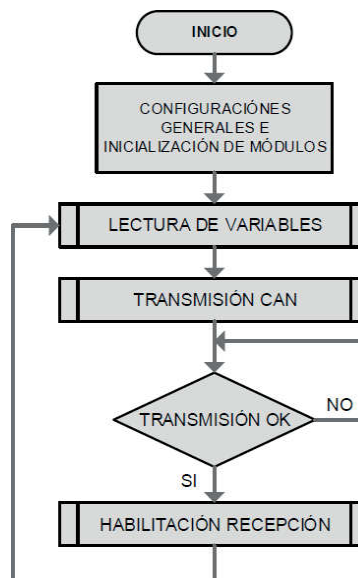


Fig. 8 Diagrama de flujo del programa del módulo de adquisición.

TABLA IV
ACTIVIDADES GENERALES DESARROLLADAS POR CADA SUBROUTINA DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN

SUBROUTINA	ACTIVIDAD DESARROLLADA
LECTURA DE VARIABLES	Realiza una digitalización de las señales acondicionadas de los parámetros del vehículo eléctrico.
TRANSMISIÓN CAN	Se encarga de transmitir los datos de la mayoría de parámetros del vehículo
HABILITACIÓN RECEPCIÓN	Lee los avisos del sistema y habilita el módulo para permitir la recepción de las tramas.

D. Programa del Módulo Indicador de Hora

El programa lee mediante el Bus CAN los datos correspondientes a la hora provenientes del módulo principal y la muestra en un display de siete segmentos, de igual manera utiliza un microcontrolador Atmega16M1 para el manejo de sus periféricos. La Fig. 9 muestra el diagrama de flujo del programa del módulo indicador de hora.

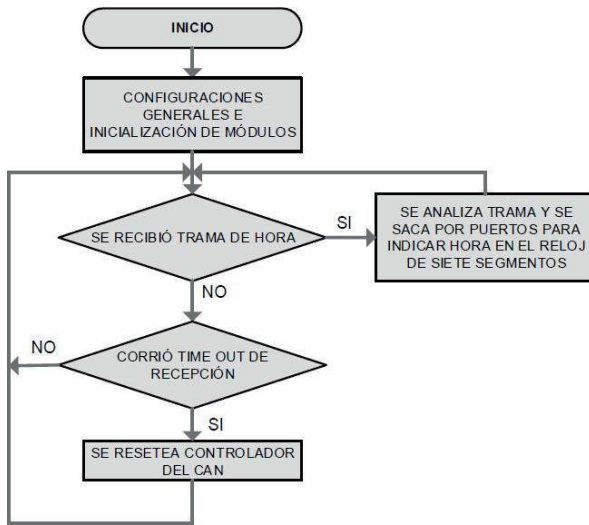


Fig. 9 Diagrama de flujo del programa del módulo indicador de hora.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

En la Fig. 10 se observa el sistema instalado en el vehículo donde claramente puede notarse la estética del tablero terminado.



Fig. 10 Tablero del vehículo eléctrico EVEO.

A. Mediciones de voltajes

En la HMI se puede observar el voltaje individual de cada batería perteneciente al banco de baterías y el voltaje total del mismo y se compara con la medida obtenida mediante un multímetro digital, como se muestra en la Fig.11.

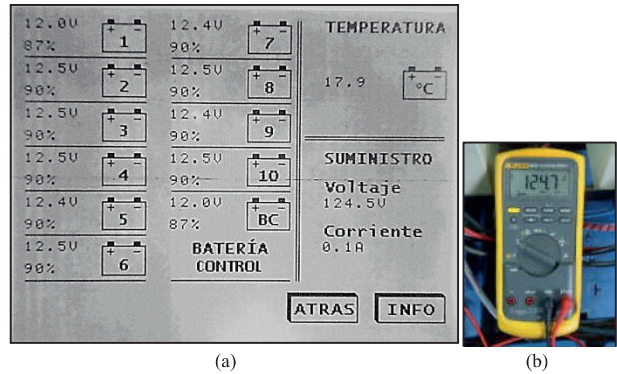


Fig. 11 Medición del voltaje del banco de baterías. (a) Panel EVEO, (b) Medida real.

B. Mediciones de corrientes

Se han realizado varias mediciones de corriente del banco de baterías en diferentes estados del vehículo, como son: en neutro y sin carga, en neutro con carga y en marcha con carga.

En la Fig. 12 se observa en rojo la forma de onda de la corriente del banco de baterías en neutro con carga con los datos grabados en la memoria SD cada segundo, mientras que en la Fig. 13 se observa la misma forma de onda capturada con un osciloscopio digital. Dichos datos fueron obtenidos acelerando el motor de inducción pero sin acoplarlo a la caja de cambios, es decir en neutro.

Se puede apreciar tanto en la Fig. 12 como en la Fig. 13, un pico de corriente bastante elevado en el momento de acelerar y una corriente estable cuando se llega a la velocidad deseada. El valor instantáneo de dicha corriente se puede observar en la HMI.

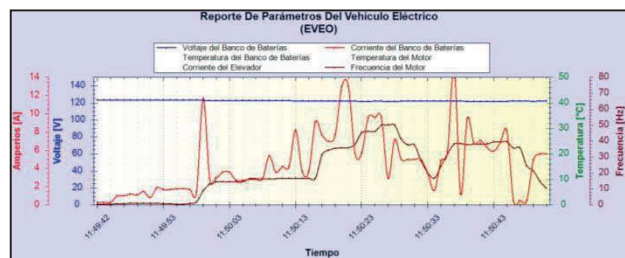


Fig. 12 Medición de corriente del banco de baterías mediante el sistema de visualización construido.

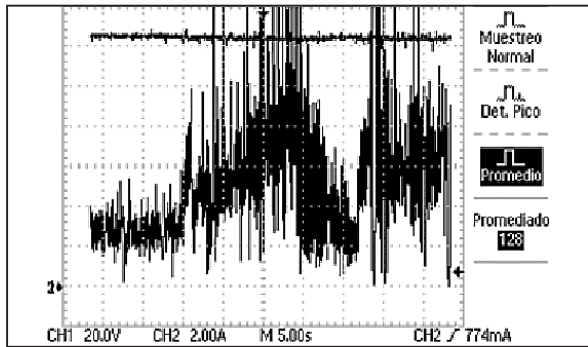


Fig. 13 Medición de corriente del banco de baterías mediante osciloscopio digital.

C. Mediciones de temperaturas

Para este fin se utilizó sensores de temperatura LM35DZ que con la ayuda de filtros digitales se obtiene la temperatura del banco de baterías y del motor, en la Fig. 14 se puede observar los resultados para el motor.

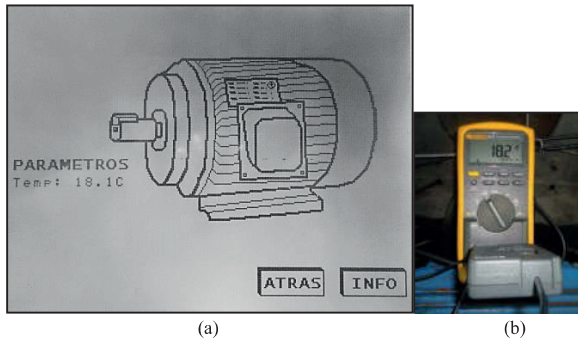


Fig. 14 Medición de la temperatura del motor. (a) Panel EVEO, (b) Medida real.

D. Señales de alarma

Existen 6 señales de alarma:

- Voltaje del banco de baterías bajo
- Voltaje de la batería de control bajo
- Sobretemperatura en las baterías
- Sobretemperatura en el motor
- Problema en los fusibles
- Problema en la batería del reloj en tiempo real

En la Fig. 15 se muestra una señal de alarma en los fusibles detecta por el sistema, tanto en la pantalla GLCD como en la pantalla OLED.

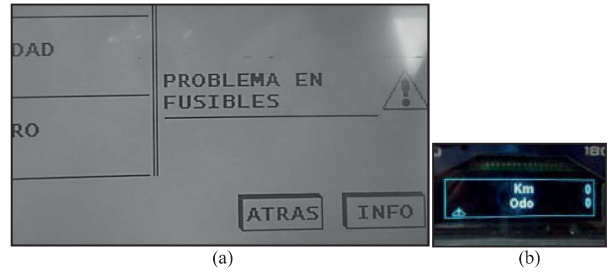


Fig. 15 Señales de alarma por un problema en los fusibles. (a) Pantalla EVEO GLCD, (b) Pantalla EVEO OLED.

En la Fig. 16 se muestra la visualización de banco de baterías bajo.

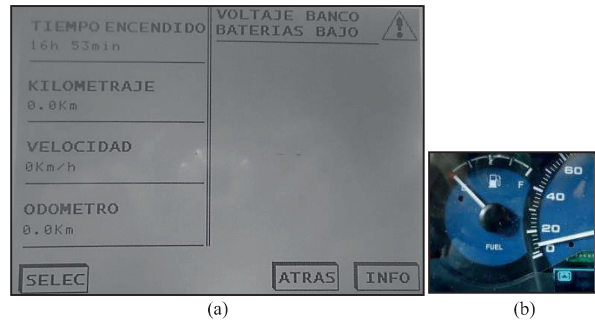


Fig. 16 Señales de alarma por voltaje bajo en baterías. (a) Pantalla EVEO GLCD, (b) Panel EVEO.

E. Medición de velocidad

Para la medición de la velocidad fue necesario la construcción de un sistema mecánico que trabaje en conjunto con el sensor de efecto hall A3060, el esquema general del acoplamiento mencionado se aprecia en la Fig. 17 y en la Fig. 18 se muestra el sistema implementado.

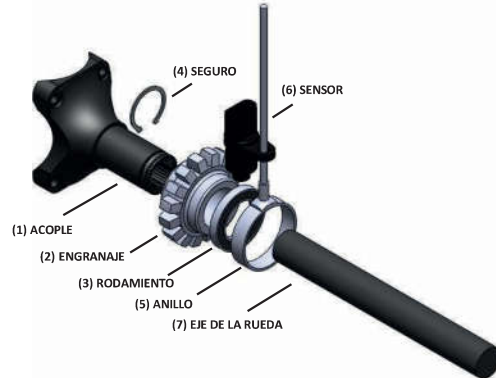


Fig. 17 Estructura del sistema para la ubicación del sensor de velocidad.



Fig. 18 Sensor de velocidad implementado.

F. Medición del estado de carga de las baterías

Las mediciones visualizadas en el cargador de batería existente fueron captadas y reproducidas por el actual sistema de monitoreo para incluirlas en el HMI mediante una pantalla dedicada con actualización real del avance de carga, como indica la Fig. 19.

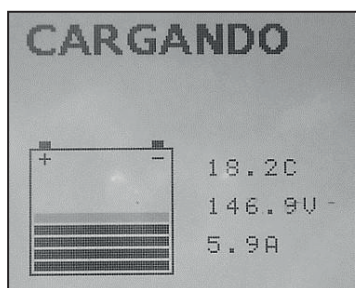


Fig. 19 Pantalla del cargador con medición de voltaje, temperatura y corriente de carga.

A continuación, en la Fig. 20 se muestra la pantalla principal del Q-Touch, con sus dos botones, en la Fig. 21 se despliega la pantalla correspondiente al botón "INFO" y en la Fig. 22 se pueden observar las diferentes opciones de "MENU" y los elementos de navegación en dicha interfaz.



Fig. 20 Pantalla principal Q-Touch.



Fig. 21 Pantalla Botón "INFO".



Fig. 22 Pantalla Botón "MENU".

V. CONCLUSIONES

Como ya se ha mencionado, el mercado automotriz desarrolla ampliamente el concepto de visualización de parámetros en un vehículo, sin embargo, el desarrollo de este trabajo deja como conclusión que en el país se puede desarrollar esta área adaptándose a las necesidades y requerimientos puntuales de cada cliente, la investigación permite seleccionar los elementos de hardware más adecuados (microcontroladores, sensores, elementos de visualización, elementos de adquisición y acoplamiento) para actividades automotrices y establece como idónea la utilización del protocolo CAN debido a que ofrece fiabilidad en la transmisión de los datos y permite un ahorro considerable de cableado, además, la topología física tipo Bus, permite que se puedan añadir otros dispositivos a la red sin interferir en los ya conectados, lo que significa que se puede expandir el sistema y realizar el monitoreo de las comunicaciones mediante módulos externos.

REFERENCIAS

- [1] LOPEZ, José, "Nodo de Comunicación Basado en el Bus CAN", España, 2004.
- [2] Atmel. (2013). 32-bit AVR UC3. [Online]. Disponible: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/32-BitAVRuc3.aspx>.
- [3] ALLEGRO MicroSystems. (2013). Thermally Enhanced, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 100 $\mu\Omega$ Current Conductor. [Online]. Disponible: <http://www.allegromicro.com/>
- [4] SIMCO. Micro Air-Core (MAC) Movement. [Online]. Disponible: http://www.simcoaftermarket.com/assets/pdf/simco_2022-7XX-G.pdf
- [5] Powell John M. (2013). The Air-Core Approach. [Online]. Disponible: http://www.mikesflightdeck.com/instruments/diy_aircore_instruments.html
- [6] SENA. (2009). Arquitectura de la Pantalla LCD. [Online]. Disponible: <http://es.scribd.com/doc/35859895/112-Arquitectura-pantalla-LCD#download>
- [7] HowstuffWorks. (2005). How OLEDs Work. [Online]. Disponible: <http://www.howstuffworks.com/oled1.htm>
- [8] ATMEL. (2013). AVR-based CAN MCUs. [Online]. Disponible: http://www.atmel.com/products/automotive/canvan/avr-based_can_mcus.aspx
- [9] ATMEL. (2013). Atmel Studio. [Online]. Disponible: <http://www.atmel.com/tools/atmelstudio.aspx>

VI. BIOGRAFÍA



El ingeniero **Diego Haro Sandoval**, nació en Ambato el 13 de Enero de 1989. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Técnico “Atahualpa” en la ciudad de Ambato, para el año 2006 se graduó de Bachiller Técnico Industrial en la especialidad de Electrónica, y fue designado abanderado del Pabellón Nacional y mejor egresado. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional donde obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Control. Tiene una suficiencia en inglés obtenida en el Centro de Educación Continua de la Escuela Politécnica Nacional.

Sus áreas de interés son los Sistemas Embebidos, Sistemas de Control, Robótica. (diegoharo4@hotmail.com)



El Ingeniero **Oswaldo Naranjo Estrada**, nació en Quito-Ecuador el 31 de diciembre de 1988, sus estudios secundarios los realizó en el Instituto Tecnológico Superior “Central Técnico”, donde obtuvo el título de Bachiller Técnico Industrial en la especialidad de Electrónica y fue designado Abanderado del Pabellón Nacional en el año 2006, en 2007 obtuvo la mención de Mejor Egresado de su promoción. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional donde obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Control en 2013. Tiene una suficiencia en el idioma inglés obtenida en el Centro de Educación Continua de la Escuela Politécnica Nacional.

Sus áreas de interés son la Automatización y Control Industrial, Sistemas Microprocesados, Robótica y Electrónica de Potencia. (investigacion@ide.com.ec)



Nelson Sotomayor, nació en Quito-Ecuador el 9 de Septiembre de 1971. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería industrial en junio del 2006 en la Escuela Politécnica Nacional. En septiembre del 2008 como becario del Gobierno de México y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), participó en el IV Curso Internacional de Robótica Aplicada, en el Centro Nacional de Actualización Docente CNAD ubicado en México DF. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Principal T/C en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional.

Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial. (nelson.sotomayor@epn.edu.ec)



Alejandra Sarzosa, nació en Latacunga-Ecuador el 18 de enero de 1988. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Victoria Vásquez Cuví. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniera en Electrónica y Control en abril del 2014 y actualmente se encuentra egresada de la Maestría en Automatización y Control Electrónico Industrial en la misma Universidad. En agosto del 2014 fue Jefe del Subcentro de Electricidad y Electrónica del SECAP - CMQN. Ha trabajado como Analista Zonal de Infraestructura, en el área Eléctrica y Electrónica en la Subsecretaría de Educación DMQ, y como docente en el Instituto de Artes Visuales de Quito, Escuela Politécnica Nacional, Escuela Politécnica del Ejército y actualmente en el Instituto Tecnológico Superior Sucre. Entre sus intereses se encuentran: energías renovables, control moderno, automatización, pedagogía y andragogía.