



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS EMBEBIDOS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Firmware de comunicaciones para un tren motor

Autor:

Bioing. Marcos Raúl Domínguez Shocron

Director:

Mg. Lic. Roberto Compañy (COFAM)

Jurados:

Nombre del jurado 1 (pertenencia)

Nombre del jurado 2 (pertenencia)

Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la ciudad de Paraná,
entre junio de 2021 y agosto de 2022.*

Resumen

En la presente memoria se describe el diseño e implementación de un firmware para una placa de comunicaciones de un tren motor para vehículos eléctricos. El trabajo ha sido a pedido de la empresa Voltu Motors Inc. y se utiliza en la nueva unidad de control desarrollada por ellos.

Para cumplimentar los objetivos se realizó un firmware embebido en C modularizado utilizando un sistema operativo en tiempo real y máquinas de estado finitas. Adicionalmente se utilizaron distintos protocolos de comunicación para interactuar con los otros módulos del sistema y con el usuario.

Agradecimientos

Esta sección es para agradecimientos personales y es totalmente **OPCIONAL**.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Vehículos eléctricos	1
1.1.1. El tren motor	1
Batería	1
Cargador	1
Controlador	2
Motor	2
1.1.2. Ventajas de un vehículo eléctrico	2
1.2. Estado del arte	2
1.3. Motivación	3
1.4. Objetivos y alcance	3
2. Introducción específica	5
2.1. Estilo y convenciones	5
2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones	5
2.1.2. Este es el título de una subsección	5
2.1.3. Figuras	6
2.1.4. Tablas	7
2.1.5. Ecuaciones	8
3. Diseño e implementación	11
3.1. Análisis del software	11
4. Ensayos y resultados	13
4.1. Pruebas funcionales del hardware	13
5. Conclusiones	15
5.1. Conclusiones generales	15
5.2. Próximos pasos	15
Bibliografía	17

Índice de figuras

1.1. Componentes importates de un vehículo eléctrico	2
2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.	6
2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador ¹	7
2.3. ¿Por qué de pronto aparece esta figura?	7
2.4. Tres gráficos simples	7

Índice de tablas

2.1. caption corto	8
------------------------------	---

Dedicado a... [OPCIONAL]

Capítulo 1

Introducción general

En este apartado se introducen los conceptos básicos sobre vehículos eléctricos, las tecnologías existentes y los objetivos propuestos para resolver las necesidades planteadas por el cliente.

1.1. Vehículos eléctricos

Un vehículo eléctrico es un vehículo propulsado por uno o más motores eléctricos. Este puede alimentarse a través de una fuente externa, baterías o paneles solares [1]. Los vehículos eléctricos han sido identificados como una tecnología clave para reducir las emisiones futuras y el consumo de energía en el sector de la movilidad [2].

1.1.1. El tren motor

El tren motor es el componente que caracteriza y distingue al vehículo eléctrico respecto a los vehículos a combustión. Este puede dividirse en cuatro partes principales: la batería, su cargador, el controlador del motor y el motor eléctrico (figura 1.1). La batería se carga con electricidad cuando se conecta a la red eléctrica a través de un dispositivo de carga o durante el frenado a través de la recuperación. El controlador de motor suministra al motor eléctrico una potencia variable en función de la situación de la carga. El motor eléctrico convierte la energía eléctrica en energía mecánica que finalmente se traduce en el torque necesario para impulsar el vehículo [3].

Batería

La batería es un componente que almacena la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del vehículo. Actualmente se utilizan baterías de tipo Li-ion debido a la gran densidad de energía que estas pueden ofrecer. Hoy en día diferentes alternativas de baterías de Litio están disponibles y los precios decrecen continuamente [2].

Cargador

El cargador es el elemento que gestiona la inyección de corriente eléctrica desde la red a la batería. Además de inyectar corriente a la batería el cargador interactúa con la estación de carga para asegurar que el consumo del vehículo no supere el permitido por la instalación donde se conecta.

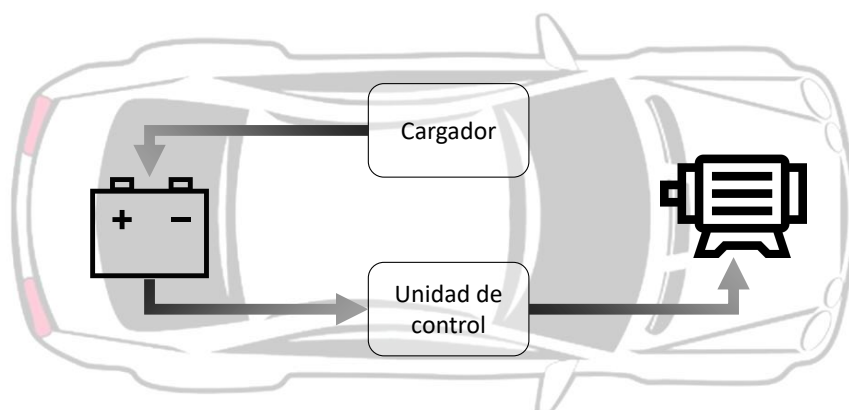


FIGURA 1.1. Componentes importantes de un vehículo eléctrico

Controlador

El controlador es el encargado de suministrar la corriente eléctrica necesaria al motor eléctrico según la velocidad y potencia deseada por el usuario. Estos son dispositivos microcontrolados que interpretan señales (como la del acelerador) y mediante un inversor DC-DC o DC-AC controlan la potencia del motor.

Motor

El motor es el componente encargado de convertir la energía eléctrica en energía mecánica. Los motores eléctricos más modernos y eficientes están basados en imanes permanentes, pero los materiales para la construcción de estos motores (como el neodimio) son escasos. Existen alternativas sin imanes permanentes que son más económicos y muy utilizados en vehículos eléctricos [2].

1.1.2. Ventajas de un vehículo eléctrico

El vehículo eléctrico puro tiene una ventaja incomparable sobre los vehículos de combustión interna convencionales en términos de conservación de energía, emisiones de gases y garantía de la seguridad del suministro de petróleo. El hecho de que el vehículo eléctrico produzca cero emisiones es de gran interés para fabricantes y gobiernos [4]. Un ejemplo para dimensionar el impacto de esta tecnología es que la Unión Europea ya definió la prohibición de coches con motor de combustión interna a partir del año 2035 [5].

1.2. Estado del arte

CONSULTA: En mi trabajo desarrollé el firmware de una placa que pertenece al power train. La solución de Voltu tiene dos placas microcontroladas. Antes también tenía dos placas microcontroladas, pero una realizaba todas las tareas y la segunda solo gestionaba la comunicación usb. Esto llevó a que la primera se encontrara saturada y esto limitaba el crecimiento del producto. El nuevo diseño es

un cambio interno en la configuración de la unidad de control. El que antes era el microcontrolador más chico se convierte en el microcontrolador más grande y se le asignan todas las tareas que no son exclusivas del control de potencia. En resumen el desarrollo realizado es un firmware que cumple con las funcionalidades que antes hacia la placa de comunicaciones existente más funcionalidades trasladadas de la placa de control a la nueva placa de comunicaciones. Hablar de características de los trenes motores como eficiencia, potencia, autonomía, tiempo de carga no me aporta información relevante para los cambios o aportes que tuvo mi desarrollo. Mi desarrollo permitió que se le retirara carga a la placa de control y como consecuencia mejorar significativamente la estabilidad del sistema. Además se sentaron las bases para que el producto pueda escalar en el futuro fácilmente desde el sistema actual.

¿Qué contenido se espera en el estado del arte que aporte al trabajo realizado?

En mente tenía mostrar una tabla comparando la distribución de responsabilidades de ambas placas en el sistema viejo para que se pueda entender más adelante como se redistribuyen las responsabilidades. ¿Es válido? ¿Es lo que se espera para esta sección? ¿Cómo puedo comparar esto con otros sistemas comerciales?

1.3. Motivación

Como se ha mencionado anteriormente existe una necesidad global emergente sobre el reemplazo de los vehículos de combustión interna por vehículos con cero emisiones. Los vehículos eléctricos aparecen como la alternativa más prometedora. Voltu Motors desarrolla trenes motores para vehículos eléctricos como principal producto de su compañía. Como una actualización a su producto ha reemplazado el hardware para mejorar la estabilidad del sistema y poder proyectar nuevas características en función a lo demandado por los clientes.

Este cambio implica un firmware completamente nuevo que debe estar funcional dentro de los plazos comerciales de la empresa. El desafío de definir desde el inicio un firmware que determinará la escalabilidad y estabilidad del nuevo sistema, y la oportunidad de ser parte de esta revolución tecnológica es la principal motivación para encarar este proyecto.

1.4. Objetivos y alcance

El propósito de este proyecto es desarrollar el firmware de la nueva placa de comunicaciones. Este firmware debe cubrir las características de la versión anterior y además contemplar el manejo del sistema de administración de baterías, la interacción con la estación de carga y los periféricos. La nueva versión también será la encargada de realizar el control de temperatura del sistema.

En el presente proyecto se diseñará, desarrollará e implementará el firmware de la placa de comunicaciones hasta que sea funcional para un vehículo que utilice una sola unidad de tren motor. Esto incluye la implementación de las siguientes características:

- Manejo de entradas y salidas digitales.
- Comunicación USB para la comunicación con el tablero.

- Comunicación con placa de control, transmisión de datos y recepción de datos.
- Gestión del estado del vehículo.
- Administración de la batería (definir cuando cargar y balancear las celdas).
- Control de temperatura del sistema.

Capítulo 2

Introducción específica

Todos los capítulos deben comenzar con un breve párrafo introductorio que indique cuál es el contenido que se encontrará al leerlo. La redacción sobre el contenido de la memoria debe hacerse en presente y todo lo referido al proyecto en pasado, siempre de modo impersonal.

2.1. Estilo y convenciones

2.1.1. Uso de mayúscula inicial para los título de secciones

Si en el texto se hace alusión a diferentes partes del trabajo referirse a ellas como capítulo, sección o subsección según corresponda. Por ejemplo: “En el capítulo 1 se explica tal cosa”, o “En la sección 2.1 se presenta lo que sea”, o “En la subsección 2.1.2 se discute otra cosa”.

Cuando se quiere poner una lista tabulada, se hace así:

- Este es el primer elemento de la lista.
- Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

Si se desea poner una lista numerada el formato es este:

1. Este es el primer elemento de la lista.
2. Este es el segundo elemento de la lista.

Notar el uso de las mayúsculas y el punto al final de cada elemento.

2.1.2. Este es el título de una subsección

Se recomienda no utilizar **texto en negritas** en ningún párrafo, ni tampoco texto subrayado. En cambio sí se debe utilizar *texto en itálicas* para palabras en un idioma extranjero, al menos la primera vez que aparecen en el texto. En el caso de palabras que estamos inventando se deben utilizar “comillas”, así como también para citas textuales. Por ejemplo, un *digital filter* es una especie de “selector” que permite separar ciertos componentes armónicos en particular.

La escritura debe ser impersonal. Por ejemplo, no utilizar “el diseño del firmware lo hice de acuerdo con tal principio”, sino “el firmware fue diseñado utilizando tal principio”.

El trabajo es algo que al momento de escribir la memoria se supone que ya está concluido, entonces todo lo que se refiera a hacer el trabajo se narra en tiempo pasado, porque es algo que ya ocurrió. Por ejemplo, "se diseñó el firmware empleando la técnica de test driven development".

En cambio, la memoria es algo que está vivo cada vez que el lector la lee. Por eso transcurre siempre en tiempo presente, como por ejemplo:

"En el presente capítulo se da una visión global sobre las distintas pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Se explica el modo en que fueron llevados a cabo los test unitarios y las pruebas del sistema".

Se recomienda no utilizar una sección de glosario sino colocar la descripción de las abreviaturas como parte del mismo cuerpo del texto. Por ejemplo, RTOS (*Real Time Operating System*, Sistema Operativo de Tiempo Real) o en caso de considerarlo apropiado mediante notas a pie de página.

Si se desea indicar alguna página web utilizar el siguiente formato de referencias bibliográficas, dónde las referencias se detallan en la sección de bibliografía de la memoria, utilizado el formato establecido por IEEE en [6]. Por ejemplo, "el presente trabajo se basa en la plataforma EDU-CIAA-NXP [7], la cual...".

2.1.3. Figuras

Al insertar figuras en la memoria se deben considerar determinadas pautas. Para empezar, usar siempre tipografía claramente legible. Luego, tener claro que **es incorrecto** escribir por ejemplo esto: "El diseño elegido es un cuadrado, como se ve en la siguiente figura:"



La forma correcta de utilizar una figura es con referencias cruzadas, por ejemplo: "Se eligió utilizar un cuadrado azul para el logo, como puede observarse en la figura 2.1".



FIGURA 2.1. Ilustración del cuadrado azul que se eligió para el diseño del logo.

El texto de las figuras debe estar siempre en español, excepto que se decida reproducir una figura original tomada de alguna referencia. En ese caso la referencia de la cual se tomó la figura debe ser indicada en el epígrafe de la figura e incluida como una nota al pie, como se ilustra en la figura 2.2.

FIGURA 2.2. Imagen tomada de la página oficial del procesador¹.

La figura y el epígrafe deben conformar una unidad cuyo significado principal pueda ser comprendido por el lector sin necesidad de leer el cuerpo central de la memoria. Para eso es necesario que el epígrafe sea todo lo detallado que corresponda y si en la figura se utilizan abreviaturas entonces aclarar su significado en el epígrafe o en la misma figura.



FIGURA 2.3. ¿Por qué de pronto aparece esta figura?

Nunca colocar una figura en el documento antes de hacer la primera referencia a ella, como se ilustra con la figura 2.3, porque sino el lector no comprenderá por qué de pronto aparece la figura en el documento, lo que distraerá su atención.

Otra posibilidad es utilizar el entorno *subfigure* para incluir más de una figura, como se puede ver en la figura 2.4. Notar que se pueden referenciar también las figuras internas individualmente de esta manera: 2.4a, 2.4b y 2.4c.



(A) Un caption.



(B) Otro.



(C) Y otro más.

FIGURA 2.4. Tres gráficos simples

El código para generar las imágenes se encuentra disponible para su reutilización en el archivo **Chapter2.tex**.

2.1.4. Tablas

Para las tablas utilizar el mismo formato que para las figuras, sólo que el epígrafe se debe colocar arriba de la tabla, como se ilustra en la tabla 2.1. Observar que sólo algunas filas van con líneas visibles y notar el uso de las negritas para los encabezados. La referencia se logra utilizando el comando `\ref{<label>}` donde label debe estar definida dentro del entorno de la tabla.

¹Imagen tomada de <https://goo.gl/images/i7C70w>

```

\begin{table}[h]
\centering
\caption[caption corto]{caption largo más descriptivo}
\begin{tabular}{l c c}
\toprule
\textbf{Especie} & \textbf{Tamaño} & \textbf{Valor}\\
\midrule
Amphiprion Ocellaris & 10 cm & \$ 6.000 \\
Hepatus Blue Tang & 15 cm & \$ 7.000 \\
Zebrasoma Xanthurus & 12 cm & \$ 6.800 \\
\bottomrule
\hline
\end{tabular}
\label{tab:peces}
\end{table}

```

TABLA 2.1. caption largo más descriptivo

Especie	Tamaño	Valor
Amphiprion Ocellaris	10 cm	\$ 6.000
Hepatus Blue Tang	15 cm	\$ 7.000
Zebrasoma Xanthurus	12 cm	\$ 6.800

En cada capítulo se debe reiniciar el número de conteo de las figuras y las tablas, por ejemplo, figura 2.1 o tabla 2.1, pero no se debe reiniciar el conteo en cada sección. Por suerte la plantilla se encarga de esto por nosotros.

2.1.5. Ecuaciones

Al insertar ecuaciones en la memoria dentro de un entorno *equation*, éstas se numeran en forma automática y se pueden referir al igual que como se hace con las figuras y tablas, por ejemplo ver la ecuación 2.1.

$$ds^2 = c^2 dt^2 \left(\frac{d\sigma^2}{1 - k\sigma^2} + \sigma^2 [d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2] \right) \quad (2.1)$$

Es importante tener presente que si bien las ecuaciones pueden ser referidas por su número, también es correcto utilizar los dos puntos, como por ejemplo “la expresión matemática que describe este comportamiento es la siguiente:”

$$\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + V(\mathbf{r})\Psi = -i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \quad (2.2)$$

Para generar la ecuación 2.1 se utilizó el siguiente código:

```

\begin{equation}
\label{eq:metric}
ds^2 = c^2 dt^2 \left( \frac{d\sigma^2}{1-k\sigma^2} + \right.
\sigma^2 \left[ d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2 \right] \left. \right)
\end{equation}

```

Y para la ecuación 2.2:

```
\begin{equation}
\label{eq:schrodinger}
\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\Psi + V(\mathbf{r})\Psi =
-i\hbar \frac{\partial\Psi}{\partial t}
\end{equation}
```


Capítulo 3

Diseño e implementación

3.1. Análisis del software

La idea de esta sección es resaltar los problemas encontrados, los criterios utilizados y la justificación de las decisiones que se hayan tomado.

Se puede agregar código o pseudocódigo dentro de un entorno `lstlisting` con el siguiente código:

```
\begin{lstlisting}[caption= "un epígrafe descriptivo"]
las líneas de código irían aquí...
\end{lstlisting}
```

A modo de ejemplo:

```
1 #define MAX_SENSOR_NUMBER 3
2 #define MAX_ALARM_NUMBER 6
3 #define MAX_ACTUATOR_NUMBER 6
4
5 uint32_t sensorValue[MAX_SENSOR_NUMBER];
6 FunctionalState alarmControl[MAX_ALARM_NUMBER]; //ENABLE or DISABLE
7 state_t alarmState[MAX_ALARM_NUMBER]; //ON or OFF
8 state_t actuatorState[MAX_ACTUATOR_NUMBER]; //ON or OFF
9
10 void vControl() {
11
12     initGlobalVariables();
13
14     period = 500 ms;
15
16     while(1) {
17
18         ticks = xTaskGetTickCount();
19
20         updateSensors();
21
22         updateAlarms();
23
24         controlActuators();
25
26         vTaskDelayUntil(&ticks, period);
27     }
28 }
```

CÓDIGO 3.1. Pseudocódigo del lazo principal de control.

Capítulo 4

Ensayos y resultados

4.1. Pruebas funcionales del hardware

La idea de esta sección es explicar cómo se hicieron los ensayos, qué resultados se obtuvieron y analizarlos.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Conclusiones generales

La idea de esta sección es resaltar cuáles son los principales aportes del trabajo realizado y cómo se podría continuar. Debe ser especialmente breve y concisa. Es buena idea usar un listado para enumerar los logros obtenidos.

Algunas preguntas que pueden servir para completar este capítulo:

- ¿Cuál es el grado de cumplimiento de los requerimientos?
- ¿Cuán fielmente se pudo seguir la planificación original (cronograma incluido)?
- ¿Se manifestó algunos de los riesgos identificados en la planificación? ¿Fue efectivo el plan de mitigación? ¿Se debió aplicar alguna otra acción no contemplada previamente?
- Si se debieron hacer modificaciones a lo planificado ¿Cuáles fueron las causas y los efectos?
- ¿Qué técnicas resultaron útiles para el desarrollo del proyecto y cuáles no tanto?

5.2. Próximos pasos

Acá se indica cómo se podría continuar el trabajo más adelante.

Bibliografía

- [1] Asif Faiz, Christopher S Weaver y Michael P Walsh. *Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions*. World Bank Publications, 1996.
- [2] Eckard Helmers y Patrick Marx. «Electric cars: technical characteristics and environmental impacts». En: *Environmental Sciences Europe* 24.1 (2012), págs. 1-15.
- [3] James Larminie y John Lowry. *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons, 2012.
- [4] Abhisek Karki y col. «Status of pure electric vehicle power train technology and future prospects». En: *Applied System Innovation* 3.3 (2020), pág. 35.
- [5] Euronews. *El Parlamento Europeo vota la prohibición de la venta de coches con motor de combustión desde 2035*. <https://es.euronews.com/my-europe/2022/06/08/el-parlamento-europeo-vota-la-prohibicion-de-la-venta-de-coches-con-motor-de-combustion-de>. Jun. de 2022. (Visitado 26-06-2022).
- [6] IEEE. *IEEE Citation Reference*. 1.^a ed. IEEE Publications, 2016. URL: <http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf> (visitado 26-09-2016).
- [7] Proyecto CIAA. *Computadora Industrial Abierta Argentina*. Visitado el 2016-06-25. 2014. URL: <http://proyecto-ciaa.com.ar/devwiki/doku.php?id=start>.