

Instrumentación y Control de un Automóvil Eléctrico

Emanuel R. Espindola ^a, Jonathan G. Kraus ^a, Carlos G. Portillo ^a, Juan Stvass ^a, Roberto J. Cabral ^a,
^{b, c}, Martín P. Puertaz ^{a, c}

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Energía Eléctrica – LIDEE, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina

^c Departamento de Electromecánica Facultad de Ingeniería, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: espindolaemanuelr@gmail.com, jonathankraus95@gmail.com, gastonportillo04@gmail.com,
juanstvass@gmail.com, robert_rjc@hotmail.com, puertazmartin@gmail.com

Resumen

En este artículo se presenta el estado de avance del proyecto que estudia un sistema de control para un automóvil eléctrico. Dicho estado de avance está compuesto por una revisión del Estado del Arte de los métodos de control de mayor aplicación en la actualidad, la selección de uno de los métodos, el diseño y/o selección de la instrumentación. Además, se detallan los mandos necesarios conforme a las variables a comandar y monitorear con el sistema de control en general. Este trabajo se desarrolló dentro de la cátedra de Proyecto Electromecánico 2 de la carrera de Ingeniería Electromecánica, y representa una parte del diseño completo de un vehículo eléctrico realizado por otros equipos de trabajo.

Palabras Clave – Sistema de control, Móvil eléctrico, Automóvil, Sistema de transporte, Instrumentación, Señales electrónicas.

1. Introducción

En el ámbito de un sistema de transporte caracterizado por un elevado consumo de combustibles con un alto impacto ambiental, la ejecución del proyecto de un móvil eléctrico se visualiza como una de las oportunidades para avanzar hacia un modelo energético sostenible.

En virtud de los beneficios que se obtienen en cuanto al rendimiento energético del automóvil eléctrico en comparación con un MCI (Motor de Combustión Interna) tradicional, además de la nula emisión de gases de efecto invernadero por km recorrido, son el motivo principal por el cual actualmente países desarrollados incurren en la promoción de los vehículos eléctricos como una solución al impacto ambiental que producen los transportes convencionales. Además de permitir e incentivar la utilización de las energías renovables en un sector en el que todavía es reacio a hacerlo.

2. Estudio del Estado del Arte

2.1 Resumen de métodos y tecnologías de control

Durante la investigación del estado del arte para este proyecto se encontró información en *The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles* [1], del cual se extrae la imagen representada en la Figura 2

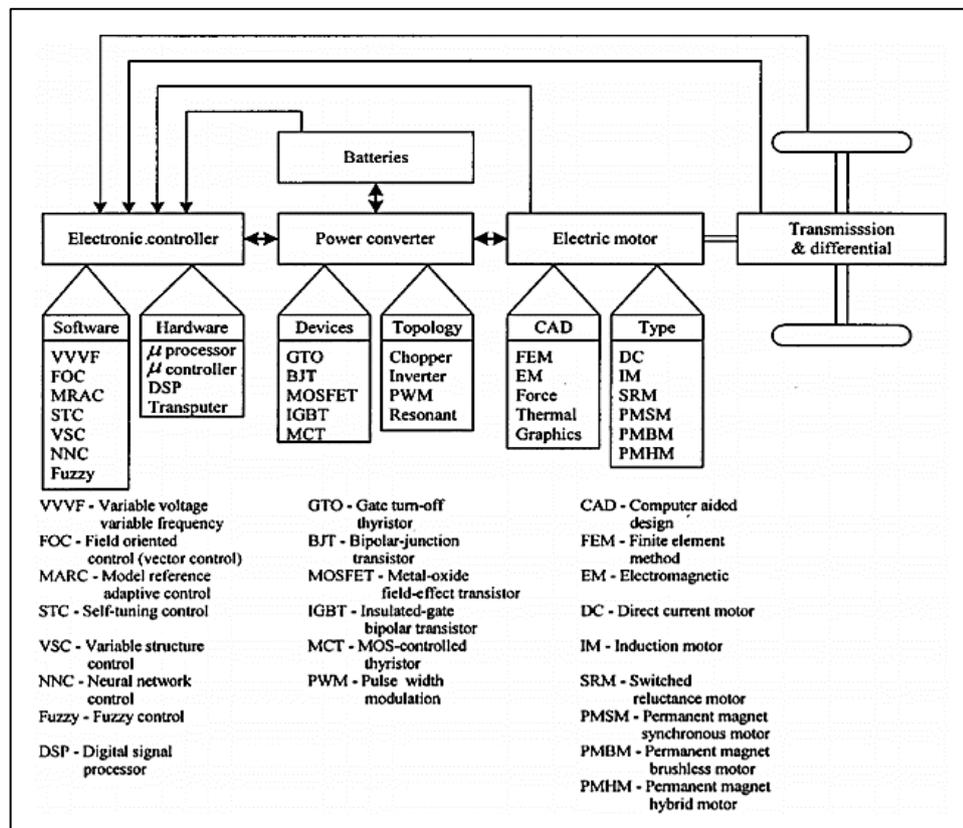


Figura 2 - Resumen de métodos y tecnologías para selección.
 Fuente: C. C.C, *The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles* [1].

El controlador electrónico del automóvil es un micro controlador que trabaja con control de campo orientado. El convertidor de potencia es de tipología invertida, cuenta con transistores IGBT para controlar el motor del vehículo que en este caso es un motor de inducción electromagnética.

2.2 Estudio preliminar de variables

El estudio preliminar de las variables de programación se realizó por medio de la Tabla 1. Se aclara que las mismas son de programación, debido a que, a diferencias de las variables físicas, las de programación, vistas desde el controlador, pueden representar tanto entradas como salidas.

Este estudio se realiza con el objetivo de determinar qué variables conformarán el sistema de control principal y cuáles pertenecerán a subsistemas de control independiente.

El sistema principal será controlado por medio de un controlador Curtis 1234SE-5421, pudiéndose incorporar a este, módulos Curtis 1351 [2] que trabajarán como clientes o esclavos del Curtis 1234 (Servidor o Maestro). Como se explica en el catálogo de CURTIS INSTRUMENTS, INC (2020, p. 3) [3].

Para facilitar el trabajo y su comprensión se agruparon las variables en 5 grupos presentados en la primera columna de la tabla 1. En la quinta columna se encuentran los subgrupos a controlar, ubicándose a la izquierda las entradas y a la derecha las salidas de los mismo.

Cada fila de la Tabla 1, se corresponde a la ocupación de un pin del controlador o módulo extensor.

Cada variable está representada por su nombre que da idea de su función, por un número y por su tipo. En el estudio preliminar los tipos establecidos son:

A - Variable analógica: Los valores de tensión disponibles en cada pin pueden en este caso dividirse en 1024 escalones. La tensión máxima dependerá de cada pin del controlador.

D - Variable Digital: Representan aquellas cuyo valor de tensión puede tener dos estados: HIGH (El valor más alto) y LOW (0 V).

COM - Comunicación Digital: Estas son utilizadas para comunicación y generalmente trabajan en par, pudiendo ser: Serial Clock y Serial Data para la recepción de datos de sensores digitales o TX y RX para envío y recepción de datos (Al Display, por ejemplo [3]).

Un resumen del estudio preliminar se presenta en la Tabla 2. Se pueden observar un total de 44 variables a controlar por el sistema principal. Si bien en la Tabla 1, se presentan menos variables, se optó por el control de las variables correspondientes al grupo de seguridad (ver tabla 1) de forma independiente, lo que permite aliviar la carga del sistema principal (disminuir el nivel de procesamiento y control lógico del mismo) y aprovechar los sistemas de seguridad disponibles comercialmente.

Tabla 1 - Estudio de variables del sistema de control.

	Entradas	N°	Tipo	Controlador - Item	Salidas	N°	Tipo
Tracción	Acelerador 1	1	A	Motor	Alimentación trifásica	1	
	Acelerador 2	2	A		Freno electromagnético	2	
	Freno 1	3	A				
	Freno 2	4	A				
	Temperatura	5	A				
	Selector de plan	6	A				
	Tensión	7	A	Baterías	Bomba o ventilador	3	D
	Corriente	8	A				
	Temperatura	9	A				
	Sensor de pendiente	10	COM	Otros			
	Sensor de pendiente	11	COM				
	Sensor de velocidad	12	A				
General					Energía general	4	D
					Energía a contactor-motor	5	D
Seguridad	Reconocimiento, de llave	13	D	Estado			
	Contacto	14	D				
	Marcha	15	D				
	Lateral	16	D	Luces Exteriores	Lateral	6	D
	Luces bajas	17	D		Luces bajas	7	D
	Luces altas	18	D		Luces altas	8	D
	Luz de giro izq.	19	D		Luz de giro izq.	9	D
	Luz de giro der.	20	D		Luz de giro der.	10	D
	Balizas	21	D		Stock de freno	11	D
	Stock de freno	22	D				
	In-LP	23	A	Limpia parabrisas	Out-LP	12	A
	In-Cinturón	24	D	Cinturón			
	Sensor del-izq	25	A	Sist. Anticolisión			

	Sensor del-der	26	A				
	Sensor tra-izq	27	A				
	Sensor tra-der	28	A				
	In	29	D				
Indicadores y Comunicación				Display	COM 1	13	COM
					COM 2	14	COM
				Módulo de Comunicaciones	COM 1	15	COM
					COM 2	16	COM
				Parlantes	Out	17	A
Confort	In - Temperatura	30	A	A. Acondicionado	Out	18	A
	In - Velocidad	31	A		Out	19	A
	In - Zona	32	A		Out	20	A
	In	33	A	Cierre Centralizado	Out	21	D
	In - Pulsa-der	34	D	Levanta cristales	Out-Der	22	D
	In - Pulsa-izq	35	D		Out-Izq	23	D
	In - Presión-der	36	D				
	In - Presión-izq	37	D				
	In - Puerta der	38	D	Luz interior	Out	24	D
In - Puerta izq	39	D					

Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

Tabla 2 - Resumen de estudio preliminar.

Grupo de Variables	In	Out	Total
Tracción	12	1	13
General	0	2	2
Seguridad	17	7	24
Indicadores y Comunicación	0	5	5
Confort	0	0	0
Subtotal	29	15	44

Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

Se ha seleccionado el controlador Curtis 1234SE-5421 como controlador Maestro debido a las siguientes características que lo destacan frente a otras alternativas del mercado:

- Integración Controlador–Inversor [3].
- Recomendación por el fabricante del motor elegido. Como se presenta en la sección: “*Controller Options are as follows*” [4]:
- Facilidad de programación y extensión por medio de módulos.
- Amplia variedad de dispositivos del mismo fabricante con compatibilidad directa.
- Amplia presencia en el mercado internacional y regional.
- Fiabilidad, sencillez y robustez.
- Mejores relaciones de peso-costo/capacidad.

En contraste, su competidor principal: Alltrax [5], ofrece controladores con un máximo de 23 pines de conexión para el control de variables independientes fuera del motor, frente a los 35

disponibles en el modelo Curtis, como se muestra en la sección: “CUSTOMER CONNECTIONS” del fabricante Altrax (2020) [6].

Si bien, los parámetros de control del motor son configurables por medio de un cable USB y una interfase por ordenador, no brindan más que la alteración de parámetros de una lógica ya establecida. Como se deduce del catálogo de Altrax Inc. (2020, p. 2) [7].

Otro posible competidor es Kolektor, pero únicamente produce controladores para motores Brushless, y su presencia en el mercado nacional es muy reducida. Como se presenta en la página web de Kolektor (2020), en la sección: “subsystems” [8], esto limitaría el mercado a incursionar para la selección del motor, así como también traería implicaciones en la obtención de subsistemas compatibles.

3. Estudio técnico

Como se explicó anteriormente, para el control del VE se selecciona el Curtis 1234SE. El mismo tiene un peso de 3,12 kg y dimensiones detalladas en la Figura 3:

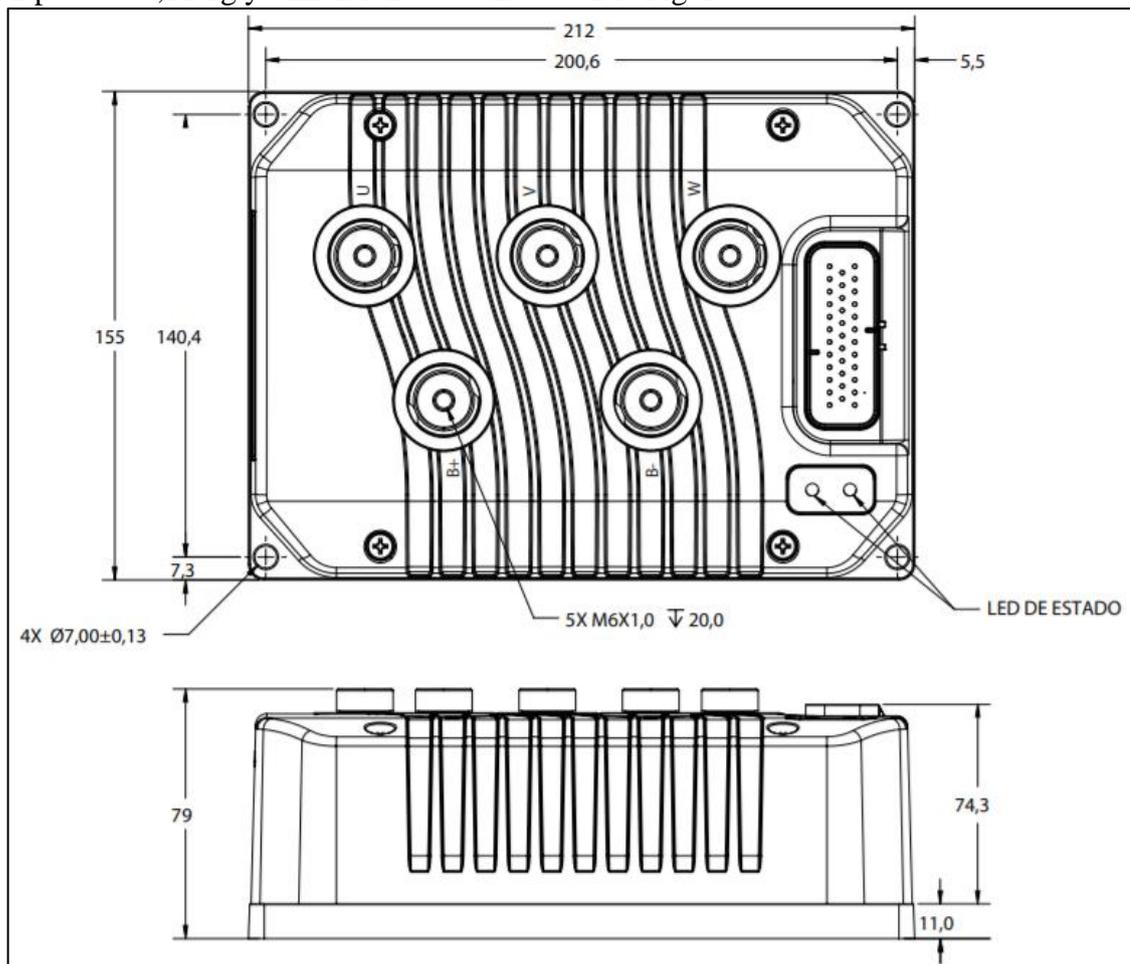
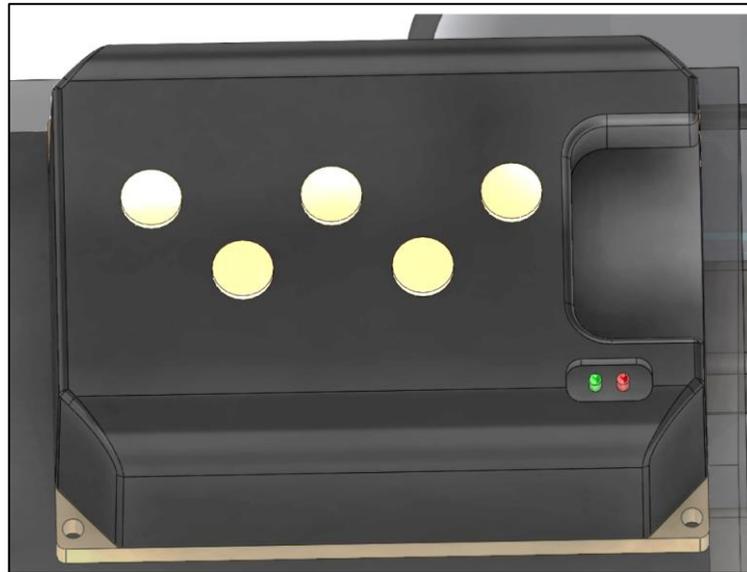
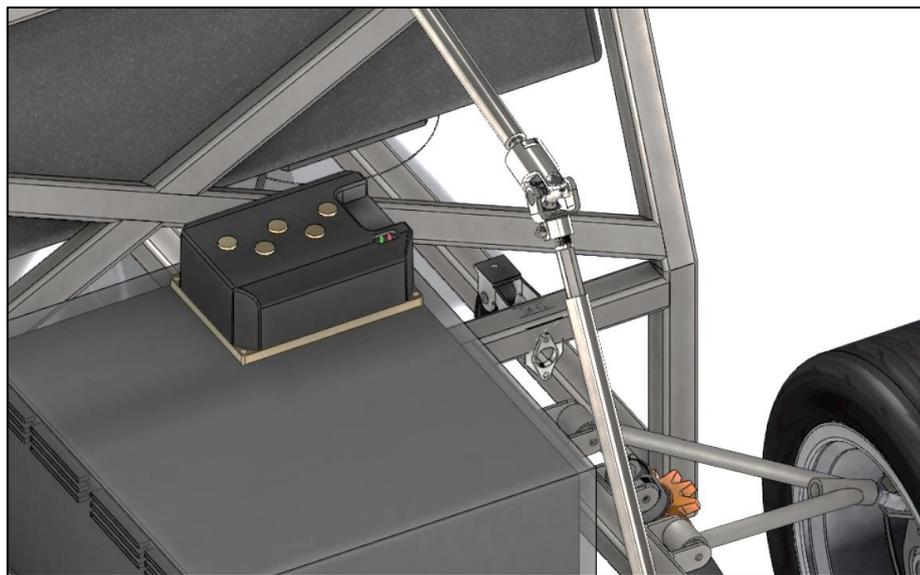


Figura 3 - Vistas del Controlador seleccionado
Fuente: Curtis 1234 SE Datasheet [9].

A continuación, se presenta un modelo en 3D del controlador en el ensamblaje del vehículo.



*Figura 3 - Modelo en 3D del Curtis 1234SE.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.*



*Figura 4- Modelo en 3D del Curtis en la estructura.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.*

3.1 Esquema eléctrico general del sistema de control principal

En el esquema de la Figura , se presentan todas las conexiones que tengan vinculación con el controlador Curtis.

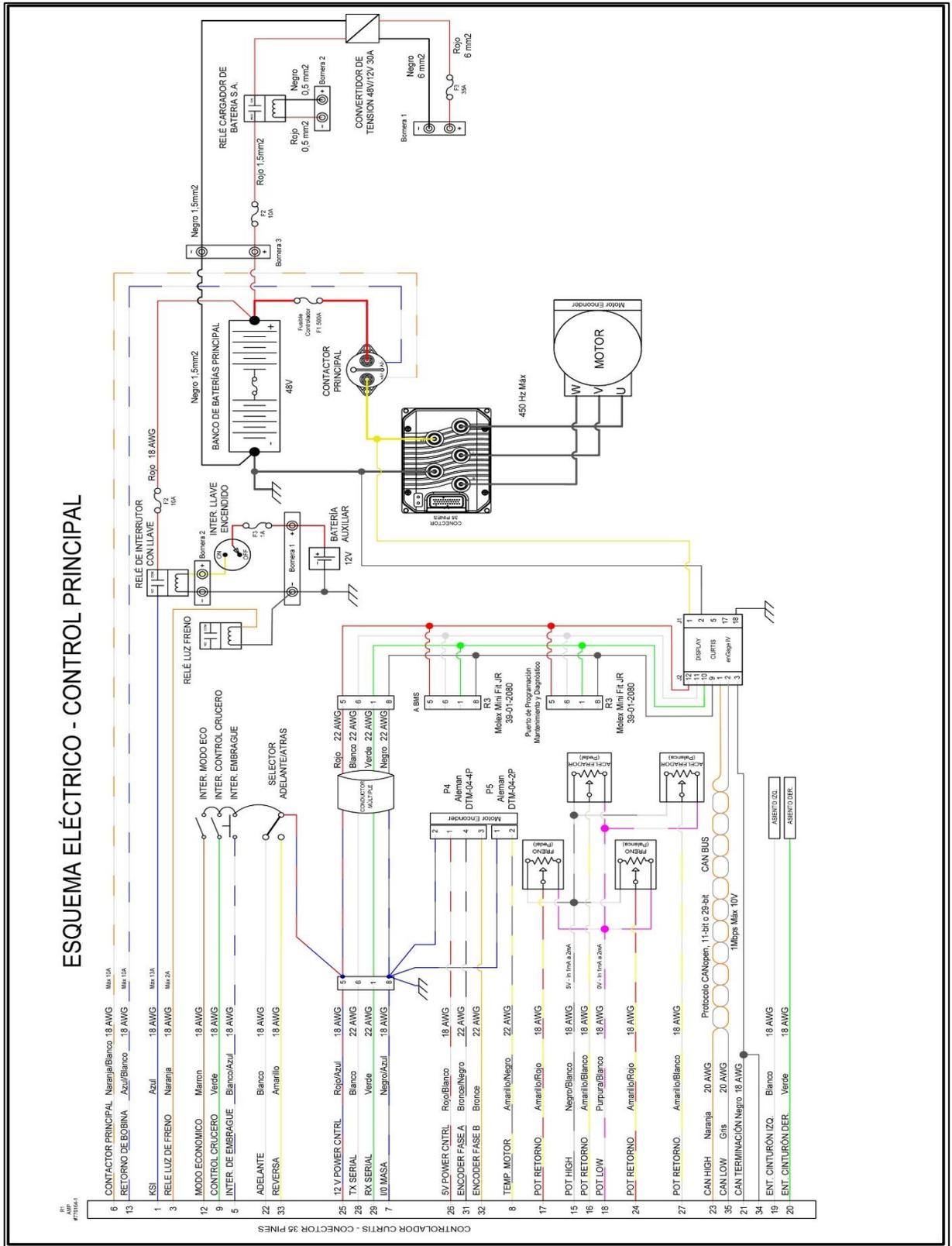


Figura 5 - Esquema eléctrico del Control Principal.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

3.2 Mandos del control principal

Esta subsección, tiene como objetivo presentar hardware para el ingreso de parámetros por parte del usuario hacia la unidad de control, es decir, es el medio por el cual los usuarios indican al móvil cómo quieren que este se comporte.

En la Tabla 3 se muestran los elementos que componen este bloque.

Tabla 3 - Mandos del Sistema Principal.

Nombre	Tipo	Ubicación
Selector de sentido (Adelante - Atrás)	Conmutador	Panel central
Interruptor de Modo Económico	On-Off	Panel central
Interruptor de Control Crucero	On-Off	Panel central
Interruptor de Embrague Electrónico	On-Off	Panel central
Freno	Potenciométrico	Pedalera
Acelerador	Potenciométrico	Pedalera
Freno 2 - Aplicación a usuario con Cap. Dif.	Potenciométrico	Leva en volante, lado izquierdo
Acelerador 2 - Aplicación a usuario con Cap. Dif.	Potenciométrico	Leva en volante, lado derecho

Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

El sistema de selector de sentido (Adelante - Atrás) es un interruptor de un ingreso (COM) y dos salidas, conectando una u otra en función de la posición establecida. Tiene el objetivo de comunicar al controlador el sentido de avance del móvil. Mediante esta señal, el controlador hará girar el motor en una dirección u otra.

En la Figura , se puede observar el modelo 3D del actuador que estará ubicado en el lado izquierdo del volante.



Figura 6 - Interruptor de sentido.

Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

Los Interruptores de modo económico, control crucero, balizas y embrague electrónico estarán disponibles para que el usuario pueda modificar los parámetros de marcha del vehículo como también la señalización de emergencia o desperfecto del mismo.

En la siguiente figura se puede observar el modelo 3D de los interruptores que estarán ubicados en el panel central del tablero.



Figura 7 - Interruptores Modo Eco, CC, EE y Balizas.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

El sistema acelerador está compuesto por un circuito potenciométrico de $5k\Omega$, dentro de la caja del pedal. Incorpora además una resistencia fija de $5k\Omega$ de comparación (Conectada a la alimentación Alta del potenciómetro). Esta resistencia permite la verificación del correcto funcionamiento del potenciómetro, pudiéndose así detectar posibles fallas en el cableado o en el pedal, por medio de comprobaciones iniciales realizadas por el controlador como se observa en el informe de HPEVS: *Electrical Schematics and Documentation*, sección: *3 WIRE WIG WAG TYPE 4 THROTTLE* (2019, p. 20) [10].

El esquema eléctrico correspondiente al circuito potenciométrico se presenta en la Figura 8 - Circuito potenciométrico utilizado para aceleradores y frenos.

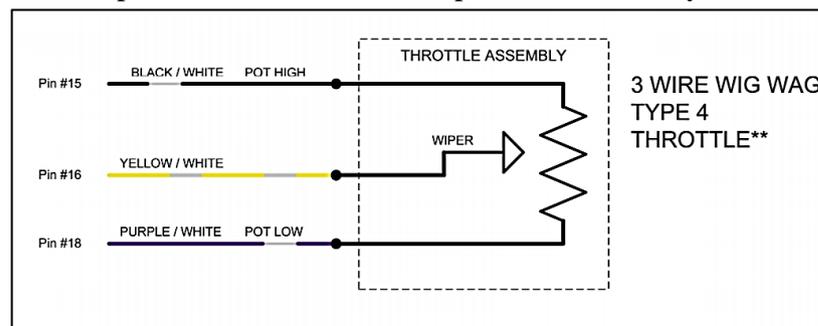


Figura 8 - Circuito potenciométrico utilizado para aceleradores y frenos.
Fuente: HPEVS *Electrical Schematics and Documentation* [10].

En la siguiente figura se puede observar el modelo 3D del pedal acelerador que estará ubicado en la parte inferior del tablero del vehículo.

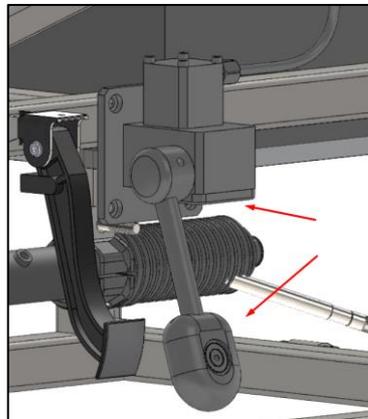


Figura 9 - Modelo 3D de los pedales acelerador y freno en la estructura.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

Se presenta además un mecanismo destinado a brindar la posibilidad de conducción del móvil eléctrico por parte de personas con movilidad reducida de los miembros inferiores.

E. R. Espindola et al.: *Jornadas de Investigación Desarrollo Tecnológico Extensión y Vinculación - Voll-Año 2020-ISSN 2591-42*

En la siguiente figura se puede observar el modelo 3D de las palancas de acelerador y de freno que estarán ubicadas en la parte trasera izquierda del volante.



Figura 10 - Palanca de acelerador y freno en el volante.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

En la siguiente figura se puede observar el modelo 3D del display que estará ubicado dentro del tablero.



Figura 11 - Display para el vehículo.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

Se utilizará un programador portátil modelo 1313 de Curtis como herramienta de diagnóstico y programación, este modelo permite crear archivos de parámetros y editarlos. Cuenta con acceso directo a los controladores de velocidad del motor a través de la red *CANopen* del controlador Curtis.



Figura 12 - Manual Handheld programmer 1313 [2].
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

El mismo se conecta a los puertos seriales del controlador Curtis con un cable Molex de 4 pines. Cuenta con un menú con diversas opciones, entre ellas la información completa del sistema controlador Curtis, parámetros, monitoreo, diagnóstico de fallas, programación y gráficos de variables. Lo necesario para realizar el Set-Up del controlador Curtis 1234SE.

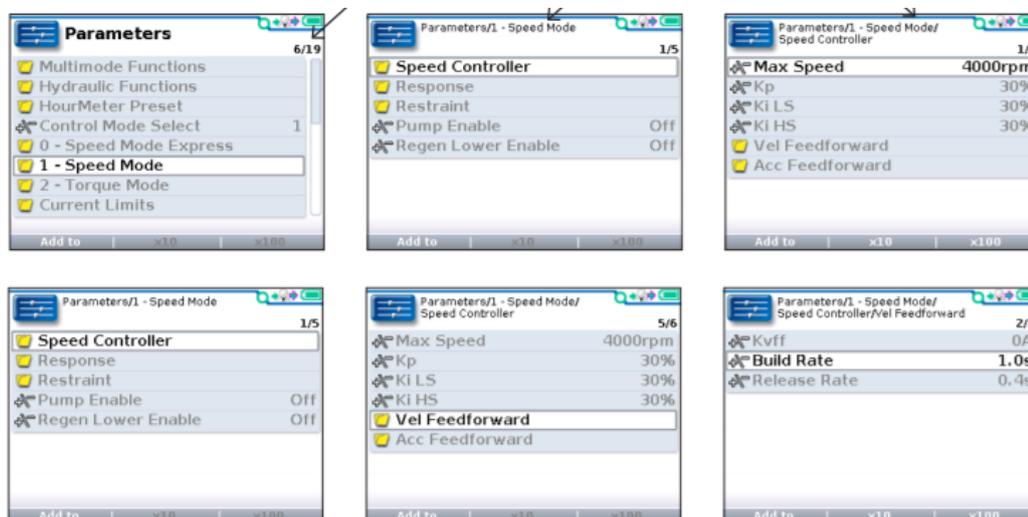


Figura 13 - Menú de parámetros.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020

3.3 Subsistemas

En virtud de que el controlador principal tiene la capacidad de maniobrar 35 variables a través de sus pines, se ha optado por trabajar con subsistemas, ya que con el controlador Curtis 1234SE no se puede lograr un manejo adecuado del número total de variables requeridas, pero si el óptimo control del motor eléctrico. Además, se incrementa la fiabilidad de los subsistemas al hacerlos independientes entre sí.

3.3.1 Iluminación

Se observa en la Figura , un circuito eléctrico correspondiente al sistema de iluminación con sus respectivas luces reglamentarias como lo estipula la ley nacional de tránsito.

3.3.2 Iluminación del habitáculo

También llamada luz de cortesía, donde los vehículos más modernos traen de serie. Dicha luz siempre está montada en el techo, pudiendo encenderse en forma manual por el conductor o automáticamente al abrirse una puerta. El circuito de funcionamiento se observa en la Figura .

3.3.3 Sistema de bocina

Conforme a lo que establece la ley de tránsito, el automóvil debe contar con elementos de seguridad como lo es la bocina de sonoridad reglamentada. A continuación, se presenta un circuito básico para el accionamiento de la bocina.

3.3.4 Sistema de limpiaparabrisas

Para la diseño y selección de los mecanismos de este sistema, se tomó como ejemplo el sistema de limpiaparabrisas de un automóvil comercial, el mismo estará conformado por un motor de corriente continua de 12 V, de doble velocidad con anillos rozantes, encargado del accionamiento del mecanismo (un conjunto de bieletas y manivelas) que permiten el mover de los brazos con escobillas (rasquetas) de forma pivotante. Además de ello, el sistema cuenta con una pequeña bomba cuya función es rociar agua sobre el parabrisas para facilitar su limpieza.

3.3.4 Sistema de alarma por no uso del cinturón de seguridad.

Este sistema tiene como objetivo la utilización del cinturón de seguridad por parte de los usuarios. Para ello, una vez que se detecte la presencia de un usuario sobre el asiento (estando habilitada la

energía al motor), el sistema emitirá una alarma por medio de los parlantes y la indicación de que se utilice el cinturón aparecerá en el display.

El sistema está conformado por un dispositivo de tipo On/Off colocado en el anclaje del cinturón de seguridad y otro colocado en la parte inferior del asiento, ambos están conectados en serie como se indica en la Figura .

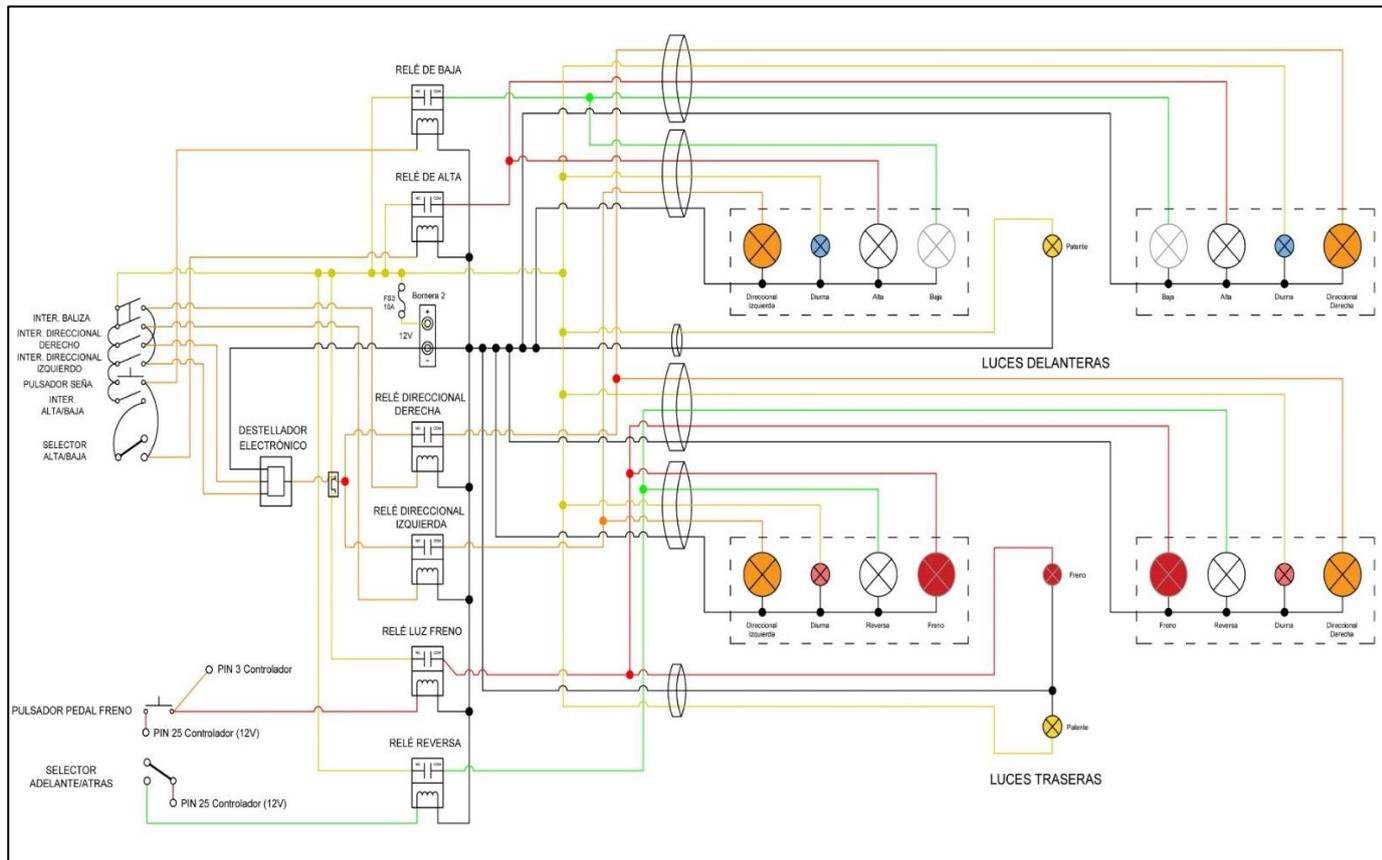


Figura 14 - Circuito de iluminación.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

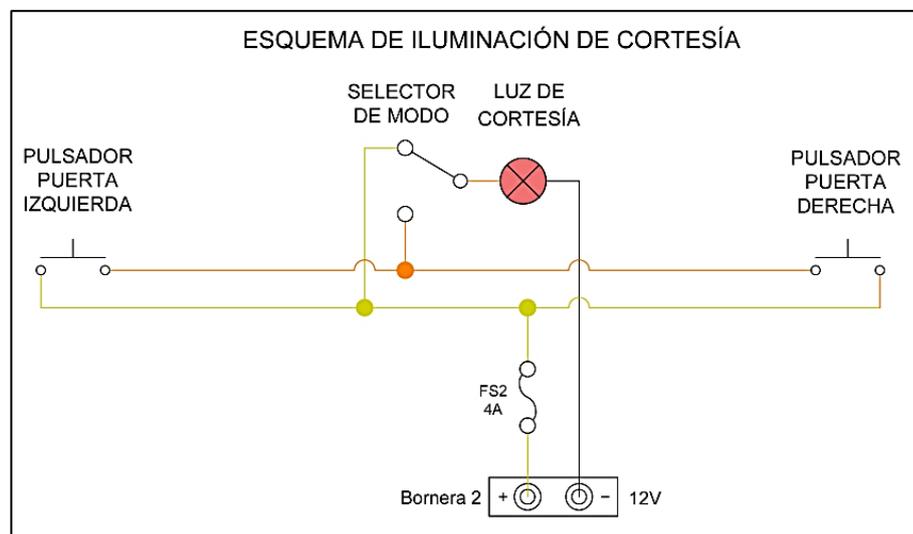
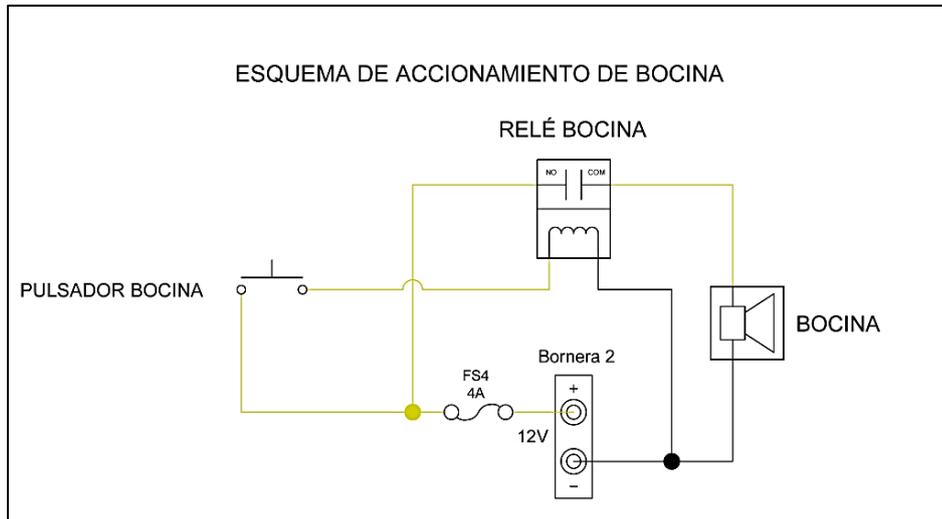
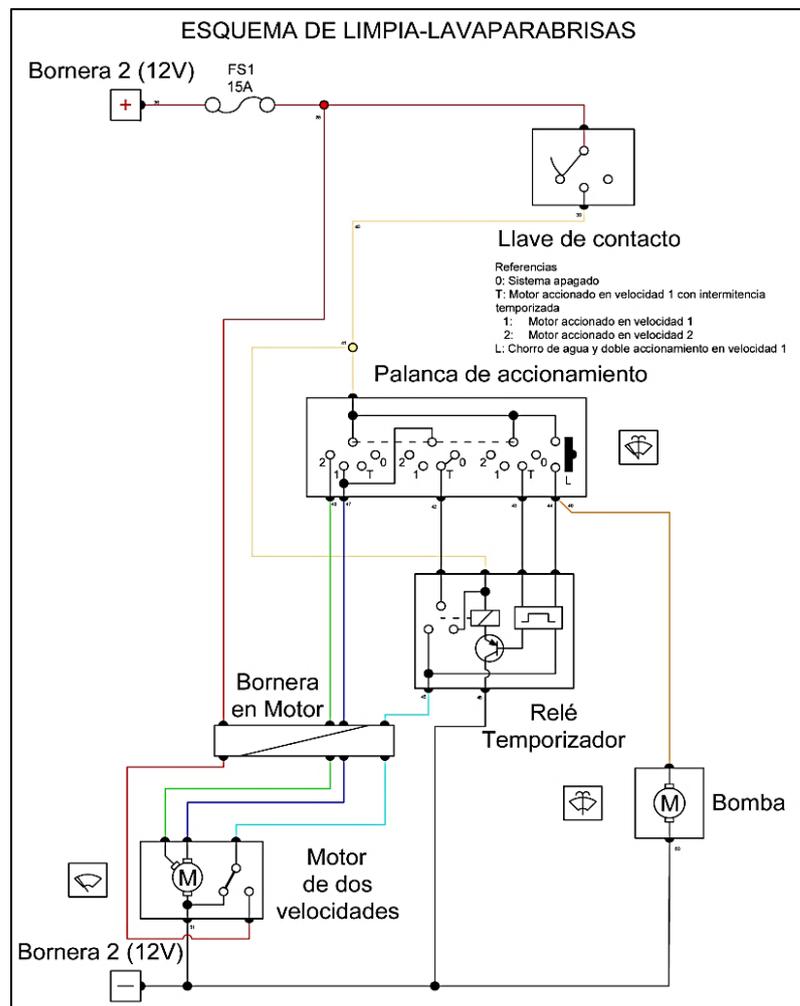


Figura 15 - Iluminación de habitáculo.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.



*Figura 16 - Circuito eléctrico de la bocina.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.*



*Figuras 17 - Circuito eléctrico limpia-lavaparabrisas.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.*

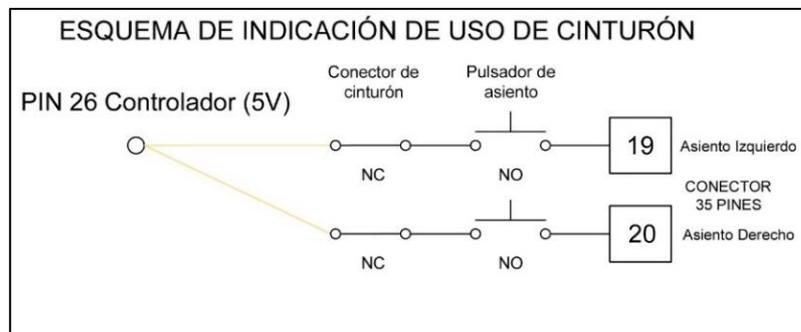


Figura 18 - Esquema de sistema de alarma de uso de cinturón.
Fuente: elaboración propia (Grupo C), 2020.

4. Conclusiones

Este trabajo presentó el estado de avance del proyecto que estudia un sistema de control para un automóvil eléctrico, sus parámetros y criterios de diseño.

Se tuvieron en cuenta los conceptos de escalabilidad y modularidad del sistema aprovechando estas ventajas de la electrónica para brindar a posibles clientes la capacidad de moldear aspectos de control y confort conforme a sus deseos y necesidades. Un ejemplo de ello, es la relativa facilidad con la que se incorporaron los sistemas necesarios para la conducción del vehículo por parte de usuarios con movilidad reducida en las extremidades inferiores.

Con respecto a los dispositivos y elementos eléctricos necesarios, a pesar de que varios de ellos no son de fabricación nacional, se encuentran disponibles localmente por medio de importadores directos, demostrándose así que cada día es más fuerte y amplia la infraestructura nacional que hace factible la adhesión de este tipo de vehículos al sistema de transporte actual.

Los resultados obtenidos son: esquemas eléctricos, computo, instrucciones de lógica y programación del sistema de control principal, información técnica adicional sobre el funcionamiento de cada sistema y/o subsistema e información técnica de intercambio con otros grupos integrantes del proyecto.

El desarrollo técnico presentado en este documento solo hace referencia a la parte del Sistema de Control del Vehículo Eléctrico, destacando que las demás partes (sistema motriz y estructura mecánica) fueron desarrolladas por otros equipos de trabajo dentro de la Cátedra “Proyecto Electromecánico 2” de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Misiones. Con esto se percibe que, la división del trabajo en partes/equipos facilita el análisis y permite concentrar esfuerzos en la búsqueda de soluciones que integren todos los bloques que contempla el proyecto completo, destacando la importancia de interactuar constantemente con los demás equipos de trabajo.

5. Bibliografía

- [1] C. C.C, «The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles,» *IEEE*, 2002.
- [2] CURTIS INSTRUMENTS, INC., «Model 1351,» [En línea]. Available: https://cdn.curtisinstruments.com/products/datasheets/1351_datasheet_en.pdf. [Último acceso: 09 07 2020].
- [3] CURTIS INSTRUMENTS, INC., «CONTROLADORES DE MOTORES DE INDUCCIÓN DE CORRIENTE ALTERNA,» [En línea]. Available: https://cdn.curtisinstruments.com/products/datasheets/SESeries_datasheet_sp.pdf. [Último acceso: 09 07 2020].
- [4] HPEVS, «HPEVS AC Electric Motor Drive Systems (AC-9),» [En línea]. Available: <https://www.hpevs.com/hpevs-ac-electric-motors-ac9-for-golf-cars-motorcycles-mining-vehicles-hydraulic-pumps.htm>. [Último acceso: 09 07 2020].
- [5] Alltrax Inc., «SR-SERIES,» [En línea]. Available: <https://alltraxinc.com/sr-series/>. [Último acceso: 09 07 2020].
- [6] Alltrax Inc., «XCD PS Motor Controller,» [En línea]. Available: <https://alltraxinc.com/xct-performance-shunt-motor-controllers/>. [Último acceso: 09 07 2020].
- [7] Alltrax Inc., «SR SPECIFICATIONS,» [En línea]. Available: https://alltraxinc.com/wp-content/uploads/2018/01/DOC112-003-B_SPEC-SR.pdf. [Último acceso: 09 07 2020].
- [8] Kolektor, «Subsystems,» [En línea]. Available: <https://www.kolektor.com/electronics-and-drives#subsystems>. [Último acceso: 09 07 2020].
- [9] Curtis Instrument, «Model 1234SE Datasheet,» [En línea]. Available: https://www.maurelma.ch/Produkte/Antriebstechnik/Controller/Curtis/manual_1232E_34E_36E_38E.pdf.
- [10] HPEVS, «Electrical Schematics and Documentation,» 29 05 2019. [En línea]. Available: https://www.hpevs.com/Site/images/generic_wiring_schematics/1232_1238_e_controller_s/546/auto1232_1238-546_E_Controller_revB_5_29_19.pdf. [Último acceso: 09 07 2020].
- [11] Curtis Instrument, «Model 1234SE Datasheet,» [En línea]. Available: https://www.maurelma.ch/Produkte/Antriebstechnik/Controller/Curtis/manual_1232E_34E_36E_38E.pdf.
- [12] HPEVS, «Electrical Schematis and Documentation,» [En línea]. Available: <https://www.hpevs.com/hpevs-ac-electric-motors-ac9-for-golf-cars-motorcycles-mining-vehicles-hydraulic-pumps.htm>.