
**Control de Sub-Sistemas para el Proyecto
de Conversión de Vehículo Eléctrico (VE)**

Javier E. ARISMENDY PEREZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Director

José Armando BOHÓRQUEZ

IE. MSc. Ingeniero Eléctrico

**Universidad Pontificia Bolivariana
Escuela de Ingeniería
Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica
Ingeniería eléctrica
Medellín
2015**

Declaración de originalidad

8 de agosto del 2015

Javier Eugenio Arismendy Pérez

Declaro que este proyecto de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad, y que el material presentado es de mi autoría.

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a toda mi familia, en especial a mis padres los cuales siempre han estado a mi lado apoyándome y alentándome, en cualquiera de las metas que me proponga. Gracias Mery y Soto por tener paciencia todos estos años.

Agradecimiento

En primera instancia le agradezco a dios y a mi familia por darme la oportunidad de poder estudiar.

A los profesores Valentín Restrepo y Armado Bohórquez, Andrés E. Díez los cuales fueron un apoyo constante en el cumplimiento de esta meta.

También a los técnicos del laboratorio IEE (Jorge, Mauro, Guille, Edwin) por su ayuda, paciencia y confianza.

Y por último pero no menos importante a todos los compañeros con los que participe en este proyecto: Pilar Álzate, Juan Carlos Velez, Daniel Alberto Arroyave, Jaime Andres Cuartas con los cuales fue un placer y una bendición trabajar.

A todos ellos muchas gracias.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	11
1. MARCO TEÓRICO.....	12
1.1. PLC.....	12
1.2. Bomba de dirección.....	15
1.3. Bomba de frenado o vacío.....	15
1.4. Contactores.....	16
1.5. Bombas de refrigeración.....	17
1.6. Motor eléctrico.....	18
1.7. Control motor.....	19
1.8. Banco de baterías.....	20
1.9. Conversor DC-DC.....	21
1.10. Inversor.....	22
1.11. Batería auxiliar VE.....	22
2. DESARROLLO DE CONTROL.....	23
2.1. Encendido y apagado del motor y controlador.....	23
2.2. Control de bombas.....	25
2.3. Recepción de datos por medio de conexión serial.....	27
2.4. Control de velocidad del motor por PWM (Pulse Width Modulation).....	29
3. MONTAJE DE CONTROL.....	31
4. INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.....	33
4.1. Imagen de bienvenida.....	33
4.2. Imagen de selección.....	34
4.3. Imagen de motor.....	34
4.4. Imagen de bombas.....	35
5. DIFICULTADES PRESENTADAS.....	36
6. CONCLUSIONES.....	37
AUTOR.....	39
ANEXOS.....	40

Lista de Figuras y Tablas

Figura 1. CPU 1214 DC/DC/DC	12
Figura 2. Módulo HMI KTP600 de 6 pulgadas.....	13
Figura 3. Visualización de conexión modulo ethernet	13
Figura 4. Modulo alimentación CPU.....	14
Figura 5. Esquema de dirección asistida	15
Figura 6. Bomba de dirección electro-hidráulica que se usará en el VE.....	15
Figura 7. Sistema de frenado	16
Figura 8. Kit bomba eléctrica de frenado	16
Figura 9. Conexión de 4 contactores al PLC	17
Figura 10. Sistema de refrigeración motor de combustión interna	17
Figura 11. Bomba de refrigeración.....	18
Figura 12. Motor de imán permanente sin escobillas (Álvarez & Álvarez, 2011).....	18
Figura 13. Motor eléctrico que se requiere controlar	19
Figura 14. Control de motor eléctrico	20
Figura 15. Estructura batería Ion-Litio	20
Figura 16. Banco de baterías utilizado para alimentar el VE (Cuartas, 2014)	21
Figura 17. Conversor BELKTRONIX DC/DC	21
Figura 18. Inversor a utilizar (Cuartas, 2014)	22
Figura 19. Batería auxiliar (Cuartas, 2014).....	22
Figura 20. Conexión motor y controlador	23
Figura 21. Diagrama encendido	24

Figura 22. Control <i>on off</i> de bombas	26
Figura 23. Encendido más chequeo de sub-sistemas del VE	27
Figura 24. Conexión Motor y controlador 2.....	29
Figura 25. Esquema de conexión de los dispositivos (Cuartas, 2014)	30
Figura 26. Montaje banco de pruebas.....	31
Figura 27. Conexión de PLC y baterías.....	31
Figura 28. Conexión de inversor y convertidor	32
Figura 29. Relé de acople señal de tierra.....	32
Figura 30. Arduino utilizado como acelerador.....	33
Figura 31. Imagen de presentación del proyecto.....	33
Figura 32. Imagen de selección y encendido de motor	34
Figura 33. Imagen de selección + alarma de bombas.....	34
Figura 34. Imagen de visualización de motor y baterías	35
Figura 35. Imagen de visualización de bombas.....	35
Figura 36. Imagen de visualización datos sensores.....	36
Tabla 1. Ubicación de sensores en el VE (Alzate, 2013)	28
Tabla 2. Almacenamiento de datos dentro del PLC	28

Glosario

PLC: *Programmable Logic Controller*. Es una computadora utilizada para automatizar procesos electromecánicos. (Valencia, 2006)

Batería: Elemento con la capacidad de almacenar energía eléctrica. (University, 2011)

Bomba de vacío: Son aquellos dispositivos que se encargan de extraer moléculas de gas de un volumen sellado, formando un vacío parcial. En el contexto de vehículos, sirve para accionar el booster que amplifica la fuerza ejercida por el conductor en el pedal de freno. (Aficionados a la mecánica, 2014)

Booster: Cubierta pegada a la bomba de vacío, la cual tiene como función el de minimizar la fuerza requerida para presionar el pedal, y obtener respuesta de frenado. (Aficionados a la mecánica, 2014)

Bomba dirección electro-hidráulica: Dispositivo que transforma la energía eléctrica en hidráulica. Realiza un trabajo para mantener un líquido en movimiento a cierta presión. En los vehículos eléctricos reduce esfuerzo del conductor al girar el volante. (Aficionados a la mecánica, 2014)

CAN: *Controller Area Network*. Protocolo de comunicación basado en topología bus para la transición de mensajes en entornos distribuidos. (Provencher, Abril de 2012)

HMI: *Human Machine Interface*. *Display* integrado a los PLC el cual da la posibilidad de interacción hombre máquina. (HMI SIEMENS, 2012)

TIA portal: *Totally Integrated Automation*. Es el software de programación para los PLC desarrollados por la empresa siemens. (Suport SIEMENS, 2014)

Control On-Off: También conocido como control todo o nada, es la forma más simple de controlar ya que solo se realiza un cambio en el estado de encendido o apagado dependiendo de un *set-point* establecido por el usuario. (Ogata, 2010)

Seguridad activa: término que hace referencia a los elementos que están encargados de mantener el control del VE (frenos, llantas, suspensión, iluminación, climatización, refrigeración o calentamiento). (SURA, 2014)

Resumen

En este trabajo se muestra el diseño y el montaje de un control para un VE (vehículo eléctrico). El cual complementa el proyecto “Factibilidad de la conversión de un vehículo de combustión a eléctrico”, encabezado por los docentes Armando Bohórquez, Andrés Emiro, Juan Miguel Vásquez y Valentín Restrepo desde 2012. Dicho control se realizó con un PLC (control lógico programable). Este tiene como tarea: controlar el encendido y apagado del VE. Otra de sus tareas es la administración de los diferentes sub-sistemas que involucran la seguridad dentro de un automóvil (frenos, dirección, refrigeración) y por último la recepción y visualización de datos de los sensores instalados en el carro, por medio de una conexión entre el PLC y el protocolo CAN (*Controller Area Network*) del VE.

Palabras clave: Vehículo eléctrico, Sub-sistemas, PLC, frenos, dirección, refrigeración, seguridad.

Abstract

This paper will show the design and installation of a control for a VE (electric vehicle). Which complements the project "Feasibility of converting a combustion vehicle to electric", led by the teachers: Armando Bohorquez, Andres Emiro, Juan Miguel Vasquez and Valentin Restrepo since 2012. Such control is performed using a PLC (programmable logic controller). This has the task to control the on and off the VE. Another task is the management of the different sub-systems that involve safety in the car (brakes, steering, cooling) and finally the reception and viewing of data from sensors installed in the car, by means of a connection between the PLC and the CAN protocol (Controller Area Network) in VE.

Keywords: Electric Vehicle, Sub-systems, PLC, brakes, steering, cooling, security.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día con el aumento en el precio de los combustibles fósiles y su inevitable agotamiento, la humanidad busca nuevos medios de transporte o replante viejos medios de transporte; de esta manera busca métodos más ecológicos y baratos para poder movilizarse.

Uno de estos medios de transporte son los VE (vehículos eléctricos) los cuales como su nombre lo indica se impulsan por energía eléctrica. Esto hace de estos automóviles medios ecológicos de transporte que no afectan en gran medida nuestro medio ambiente.

La fabricación de estos VE no era viable principalmente debido a falencias en su tecnología para el almacenamiento de energía eléctrica (baterías). Fue hasta 1990 cuando se empezó a utilizar las baterías de Ion-litio cuando la idea de VE fue viable, con ello las grandes empresas automotrices masificaron la producción de VE.

La incursión de dichas empresas a la producción de VE trae al mercado automóviles como: Tesla Model S producido por Tesla Motors, Volt Vehículo híbrido (Gasolina-electrico) producido por General Motors, Nissan Leaf fabricado por Nissan entre otros, ha hecho que la ciencia y especialmente las universidades se dinamicen a este espacio.

Con todo esto en mente y liderado por los docentes: Armando Bohórquez, Andrés Emiro Díez, Juan Miguel Vásquez y Valentín

Restrepo, y con la ayuda del laboratorio de eléctrica y electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana se planteó la factibilidad de convertir un carro de combustión interna a eléctrico, se decidió implementar un prototipo que serviría para recoger información y demostrar la factibilidad del proyecto.

En el transcurso del trabajo se vio la necesidad de implementar un control para manejar los diferentes subsistemas que componen un vehículo como los son: el encendido, las bombas de dirección, la de vacío y refrigeración. Por medio de un PLC que controlará los diferentes subsistemas mencionados anteriormente, de esta manera proporciona comodidad y seguridad al usuario al momento de conducir el automóvil. Esto es importante pues puede accionar un paro preventivo o de emergencia en caso de que ninguno de estos subsistemas funcione gracias a la llegada de unas variables entregadas por los sensores distribuidos por todo el VE.

En la primera parte del documento se exponen todas las partes utilizadas en la realización del control del carro. En la segunda parte se muestra el desarrollo del control del encendido, las bombas y el acelerador. Después de esto se muestra el montaje que se realizó integrando otras partes como conversor, inversor y batería auxiliar. Por ultimo tenemos la interfaz hombre maquina realizada con un panel táctil.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. PLC

El PLC ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización, gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones. La CPU (unidad central de procesamiento) incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conforma así un potente PLC. “Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes”. (S7-1200 SIEMENS, 2009)

EL PLC a utilizar es el S7-1200 de la marca SIEMENS el cual funciona a una tensión nominal de 24 VDC a 4 mA está compuesto de las siguientes partes (S7-1200 SIEMENS, 2009):

- CPU 1214C DC/DC/DC la cual está compuesta por 14 entradas y 10 salidas digitales de 5- 30 VDC con corriente máxima de 2 A y 2 entradas análogas y la posibilidad de ampliar a 8 módulos de señales ya sean analógicas o digitales. (Ver Figura 1)



Figura 1. CPU 1214 DC/DC/DC

- Pantalla KTP600 Basic PN táctil de 6 pulgadas la cual permite tareas básicas de control y supervisión. (Ver Figura 2)

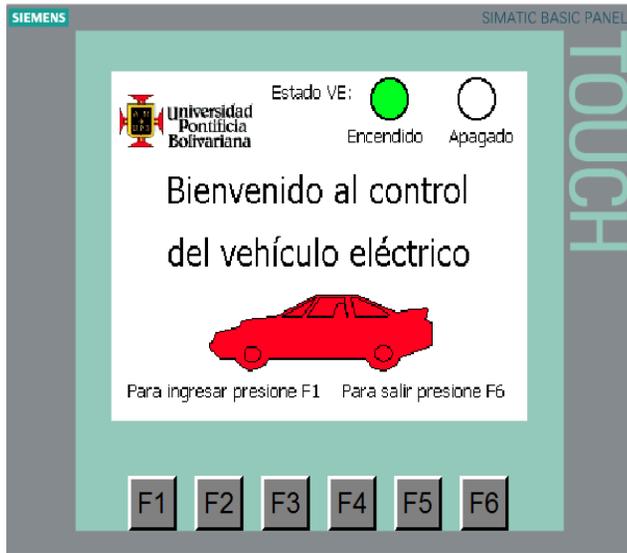


Figura 2. Módulo HMI KTP600 de 6 pulgadas

- Módulo CSM1277 Switch compacto para acoplar más módulos ethernet como lo son la pantalla táctil u otras señales que se den en el proceso. (Ver Figura 3)



Figura 3. Visualización de conexión modulo ethernet

- Módulo PM1207: fuente de alimentación con entrada de 120/230 VAC, 50/60Hz, 1.2/0.7 A y salida 24 VDC, 2.5 A. (Ver Figura 4)



Figura 4. Modulo alimentación CPU

- Módulo CM1241 RS232 conector macho el cual nos da la conexión en serie con el protocolo CAN para así recibir las variables de control.
- Software de programación

El software de programación utilizado en PLC S7-1200

Es el TIA (Totally Integrated Automation) portal V11 el cual nos da una interfaz de programación mucho más amena que versiones anteriores.

El TIA Portal integra diferentes productos SIMATIC en un software que aumenta la productividad y la eficiencia del proceso. Dentro del TIA Portal, los productos TIA interactúan entre sí, ofreciéndole soporte en todas las áreas implicadas en la creación de una solución de automatización. (TIA portal SIEMENS, 2009).

El TIA Portal ofrece las siguientes ventajas:

- Gestión conjunta de los datos
- Manejo unitario de los programas, los datos de configuración y los datos de visualización
- Comodidad de carga de los datos en los dispositivos
- Manejo unitario
- Configuración y diagnóstico asistidos por gráficos.

Existe otra variedad de elementos, que complementa y ayudan a manejar el PLC:

- Módulos de señales.
- Módulos de comunicación.

1.2. Bomba de dirección

También conocido como dirección asistida, la bomba de la dirección hidráulica es el dispositivo que presuriza el fluido de la dirección hidráulica y lo envía a la caja de dirección para que el vehículo pueda ser asistido y gire con facilidad ya sea a la derecha o a la izquierda. (Ver Figura 5)

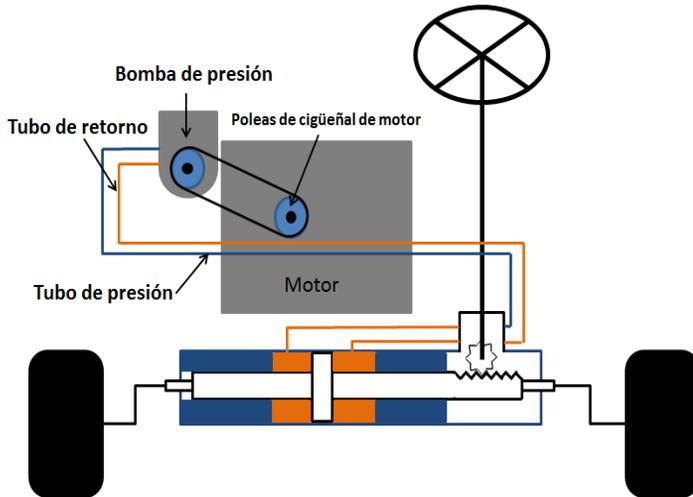


Figura 5. Esquema de dirección asistida

La bomba de dirección que tiene originalmente el vehículo de combustión interna fue sustituida, debido a que era una bomba

mecánica que funcionaba por medio de poleas pegadas al motor, en su reemplazo se adquirió una bomba electro-hidráulica con las siguientes especificaciones: (Betancur & Giraldo, 2013)

Dacia Logan de referencia PAENHP010 con un voltaje de funcionamiento de 12 VDC. (Ver Figura 6)



Figura 6. Bomba de dirección electro-hidráulica que se usará en el VE

1.3. Bomba de frenado o vacío

La función de la bomba de freno, es la de convertir o transformar la fuerza mecánica de la presión ejercida por el conductor del vehículo sobre el pedal de freno, en presión hidráulica. Esta presión hidráulica transmitida a través de las mangueras y líneas del sistema, crea la presión necesaria en los cilindros de las ruedas para activar el sistema de frenos y así disminuir la velocidad o efectuar el parpo del Vehículo. (Ver Figura 7) (Autmotriz.net, 2014)

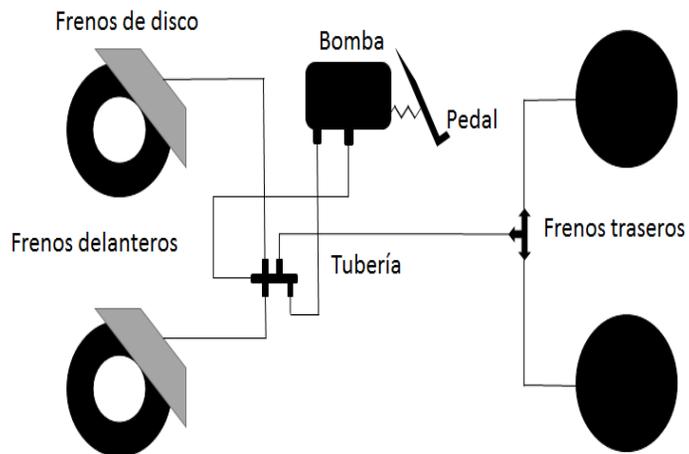


Figura 7. Sistema de frenado

Al igual que la bomba de dirección se decidió cambiar la bomba de (frenado) vacío por una bomba eléctrica y no mecánica la cual

nos da la posibilidad de controlar la bomba con el PLC. (Betancur & Giraldo, 2013)

Kit bomba eléctrica de frenado (vacío): modelo VBS-VPDP-EV-12 con funcionamiento a 12 VDC. (Ver Figura 8)



Figura 8. Kit bomba eléctrica de frenado

1.4. Contactores

Un contactor es un interruptor de potencia accionados por un electroimán. Los contactos del interruptor están previstos para conectar y desconectar las cargas eléctricas en un circuito de potencia (Valencia, 2006).

En el proyecto se utilizarán 6 Contactores Fuji Electric: de Accionamiento 24 VDC, tripolar con contactos normalmente abiertos. Y una corriente máxima de servicio de 32 A. (Ver Figura 9)

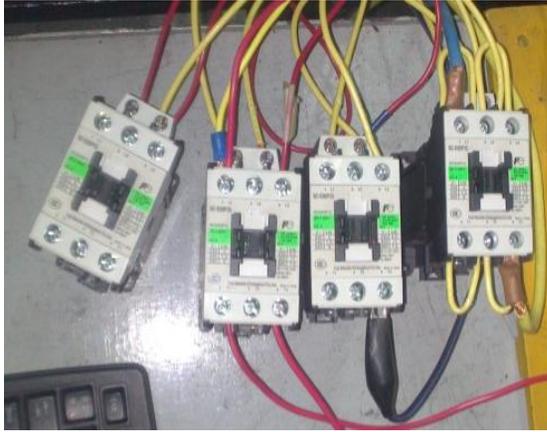


Figura 9. Conexión de 4 contactores al PLC

1.5. Bombas de refrigeración

Las bombas son dispositivos que se encargan de transferir energía a la corriente del fluido, impulsándolo desde un estado de baja presión a otro de mayor presión. En el caso de los vehículos la bomba aspira el agua refrigerada de la parte baja del radiador y la impulsa al interior del bloque a través de los huecos que rodean

las camisas y cámaras de combustión. El refrigerante sale por la parte superior de la culata y se dirige otra vez al radiador por su parte alta, donde se enfría nuevamente con su paso por los paneles de refrigeración. (Ver Figura 10) (Aficionados a la mecánica, 2014)

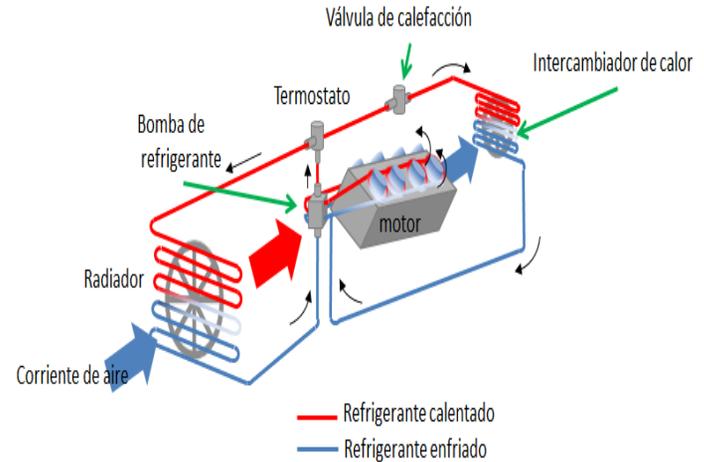


Figura 10. Sistema de refrigeración motor de combustión interna

El proyecto usará dos bombas de refrigeración Modelo WP-3 con un flujo de agua de 20 L por minuto y un voltaje de

funcionamiento de 12 VDC. Estas bombas funcionarán en serie. (Ver Figura 11)



Figura 11. Bomba de refrigeración

1.6. Motor eléctrico

Por lo general al transformar carros con motor de combustión en autos eléctricos, se usan motores eléctricos de imán permanente o de inducción.

Un motor de imán permanente (Electric motor, 2011) no tiene un devanado de campo en el marco del estator, utiliza imanes permanentes para producir un campo magnético que va en contra del campo del rotor para así producir torque. Los motores de imán permanente están compuestos por varias aleaciones de acero

magnético, imanes de ferrita-cerámica e imanes de tierras raras, etc. Estas aleaciones hacen posible que estos motores sean más pequeños y livianos en comparación con otros motores que posean los mismos caballos de fuerza. Los imanes de tierras raras superan significativamente la resistencia de los imanes de aleaciones de acero (de 10 a 20 veces) y han sido usados con gran éxito en otras áreas como la computación. (Ver Figura 12) (Álvarez & Álvarez, 2011)

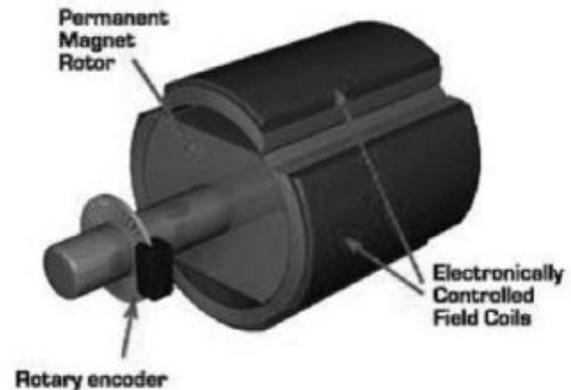


Figura 12. Motor de imán permanente sin escobillas (Álvarez & Álvarez, 2011)

El motor que se utilizará en el VE es motor eléctrico de imán permanente de la marca M&C Electric power, con las siguientes características: Modelo/Item: GLMP25L0/PM30A potencia

máxima: 50 kW, velocidad máxima: 7000 rpm, torque máximo: 200 N.m. (electric power M&C)(Ver Figura 13)



Figura 13. Motor eléctrico que se requiere controlar

1.7. Control motor

Un controlador es conocido como un dispositivo o conjunto de dispositivos que son utilizados para regular de manera predeterminada el rendimiento de un motor eléctrico. El

controlador podría incluir un medio manual o automático de arranque y parada del motor eléctrico, la selección del sentido de rotación, la selección y regulación de la velocidad, la regulación o limitación del torque y la protección contra sobrecargas y fallas.

El funcionamiento básico de un controlador consiste en tomar potencia de las baterías y enviarla de forma regulada al motor eléctrico, de tal manera que el acelerador (potenciómetro), accionado directamente por el usuario del vehículo, proporciona la señal que le indica al controlador la cantidad de energía que debe suministrar al motor en cada instante. Por lo tanto, el controlador puede entregar potencia igual a cero cuando el auto se encuentra detenido, toda la potencia cuando el conductor pisa a fondo el acelerador o cualquier nivel de potencia intermedio según la aceleración suministrada por el usuario. (Álvarez & Álvarez, 2011)

El control de Motor eléctrico usado en el proyecto es marca M&C Electric power, con las siguientes características:

Referencia: Modelo/Item: GLCP4024L0/PMC30A potencia máxima: 50 kW, corriente 330 A, voltaje de funcionamiento 288 VDC. (Ver Figura 14)



Figura 14. Control de motor eléctrico

1.8. Banco de baterías

Se le denomina batería eléctrica, pila o acumulador al dispositivo que almacena energía eléctrica por medio de procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad. (Cuartas, 2014) (Ver Figura 15)

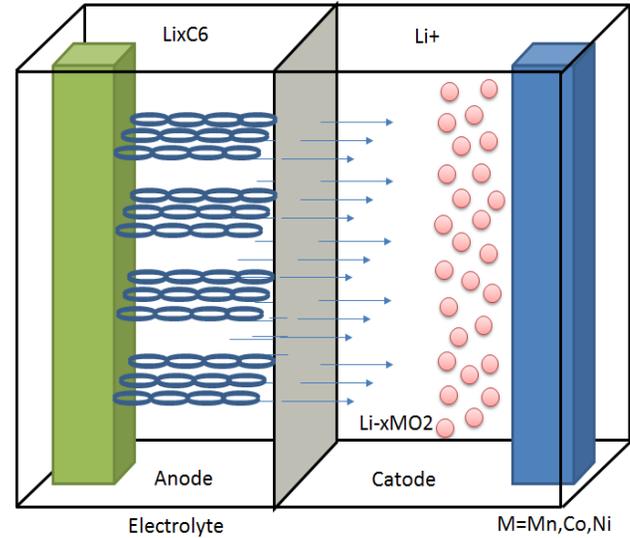


Figura 15. Estructura batería Ion-Litio

Para la alimentación del VE se dispone de 96 baterías de Ion-Litio conectadas en serie y dispuestas en 8 semi-grupos de a 12, con un voltaje total aproximado de 320V DC. (Cuartas, 2014) (Ver Figura 16)



Figura 16. Banco de baterías utilizado para alimentar el VE (Cuartas, 2014)

1.9. Conversor DC-DC

Se conoce como Conversor DC-DC al dispositivo capaz de generar un cambio de tensión en corriente continua. Los hay de 3 tipos: reductores, elevadores, reductores y elevadores en conjunto (Cuartas, 2014). El conversor empleado es un BELKTRONIX DC/DC 192 VIN 13.6 V/50 A SN260 este es un conversor reductor.

Tanto para alimentar los equipos auxiliares como para otros dispositivos esenciales para el funcionamiento del vehículo, es necesario un voltaje diferente a los 320 VDC entregados por el banco de baterías. La mayoría de estos dispositivos requieren un valor de voltaje de 12 VDC por lo que serán tomados de la batería original del vehículo; sin embargo para evitar la rápida descarga de ésta batería (debido al gran número de elementos a conectar), es necesario recargarla continuamente a través de un conversor DC-DC; proceso equivalente a lo que hace el alternador de un vehículo a combustión. (Ver Figura 17)

Este dispositivo recibe los 320 VDC del banco de baterías y los transforma en 14 VDC con los que se recargará la batería del auto. (Cuartas, 2014)



Figura 17. Conversor BELKTRONIX DC/DC

1.10. Inversor.

Dispositivo cuya función es transformar corriente directa en corriente alterna. Un inversor simple consta de un oscilador quien controla un transistor encargado de interrumpir la corriente de entrada; lo cual da como resultado una onda rectangular. Un transformador es empleado para suavizar la onda y obtener un comportamiento similar al sinodal. (Cuartas, 2014)

Los dispositivos necesarios para el funcionamiento del vehículo emplean un valor de voltaje diferente a 320 VDC para trabajar. La mayoría utiliza 12 VDC, por el contrario el PLC se puede alimentar a 24 VDC o por medio de un conversor a 110 VAC.



Figura 18. Inversor a utilizar (Cuartas, 2014)

Al no tener una fuente de 24 VDC se utilizó un inversor el cual transforma los 12 VDC a 110 VAC, luego con la fuente de alimentación del PLC transforma eso 110 VAC a 24 VDC y de esta manera se alimenta el controlador. (Ver Figura 18)

1.11. Batería auxiliar VE

Batería 12 VDC recargable black & decker de 500 A de arranque. (Ver Figura 19)



Figura 19. Batería auxiliar (Cuartas, 2014)

2. DESARROLLO DE CONTROL

El control para una mejor explicación, se separa en tres partes diferentes que a su vez funcionan en paralelo y son necesarias para que el VE opere y sea seguro para el usuario:

2.1. Encendido y apagado del motor y controlador

Esta parte del control es la encargada solamente de la secuencia de encendido y apagado del motor. Esta secuencia se especifica en la hoja de datos del motor y es necesario seguirla para poner en marcha el motor por medio del controlador.

En la conexión de motor y controlador se puede observar tres tipos de conectores, uno de 12 pines otro de 16 pines y conector directo al motor. Para la secuencia de encendido se utilizara el conector de 16 pines. De este conector se usaran los siguientes pines: (ver Figura 20)

- (2) polo negativo de la batería auxiliar de 12 VDC (tierra).
- (4) polo positivo de la batería auxiliar de 12 VDC.
- (6) y (7) con estos pines se selecciona la dirección que quiera tomar el VE ya sea adelante o atrás respectivamente.
- (16) este pin es el que utiliza el controlador del motor para indicar que ya se puede energizar el motor con los 320 VDC entregados por las baterías.

El polo negativo del banco de baterías siempre está conectado al controlador del motor.

Por otro lado se debe tener en cuenta otro elemento para poder encender el motor. Es una señal de corriente de las baterías que se le entrega al controlador del motor y la cual como se observa en la Figura 20 no hace parte del conector de 12 o 16 pines. Es una entrada diferente que va directo al controlador del motor. Esta entrada es controlada con un relé que tiene voltaje de operación de 12 VDC.

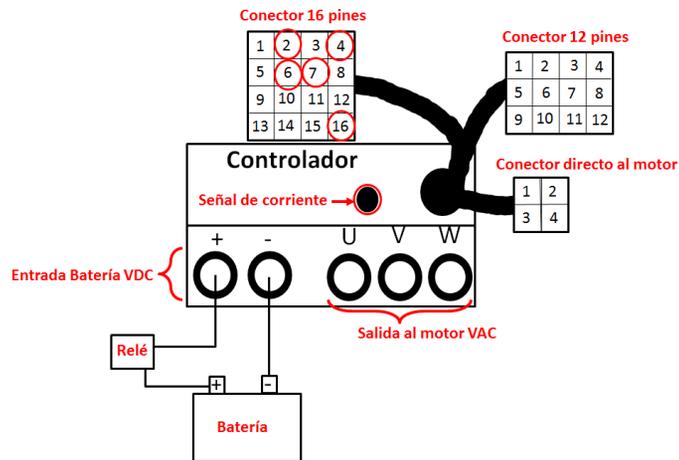


Figura 20. Conexión motor y controlador

Cuando se tenga claro las conexiones del motor y el controlador, se procede al diseño del control de encendido y apagado que se explica a continuación. (Ver Figura 21)

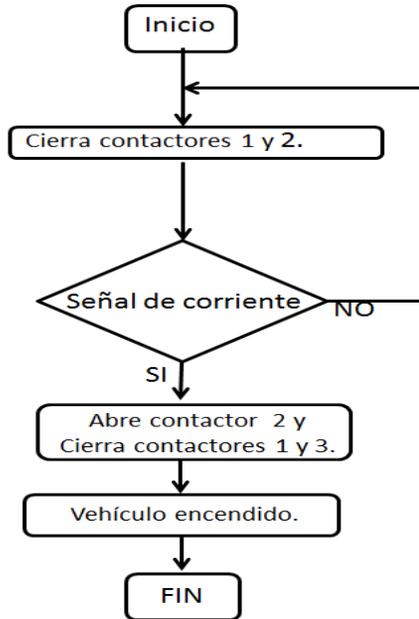


Figura 21. Diagrama encendido

Contactor 1: Alimentación de controlador del motor.

Contactor 2: Señal de corriente del banco de baterías.

Contactor 3: Polo positivo del banco de baterías.

- Al presionar el botón de encendido en la pantalla táctil, el PLC inicia la rutina con el cierre dos contactores correspondientes a la alimentación del controlador del motor a 12 VDC (pines 2 y 4) y la señal de corriente por parte de las baterías. De esta forma se indica que el banco de baterías está conectado.

- Luego de pasar 5 segundos y que el controlador del motor entregue la señal de tierra (Pin 16) se cerrará otro contactor el cual conecta todo el banco de baterías al controlador del motor. En caso de que el controlador del motor no entregue la señal de tierra, el PLC reiniciará las variables de encendido y abrirá todos los contactores.

- Después el PLC: desconecta la señal de corriente, conecta el motor a 320 VDC y el controlador sigue energizado a 12 VDC.

- En caso de apagar el motor se presiona el botón de apagar que está en la pantalla táctil, y el PLC desconecta el motor y el control del motor.

2.2. Control de bombas

Al tener la secuencia de encendido del motor ya se hace necesario añadir algunos Sub-sistemas para controlar el VE, y que el usuario este seguro dentro de éste. Para esto se debe estar relacionado con el término “seguridad activa” del VE. Éste término hace referencia al manejo de los elementos que están encargados de mantener el control del VE, con el fin de evitar accidentes de tránsito. Entre ellos se encuentran: frenos, llantas, suspensión, iluminación, climatización, refrigeración o calentamiento (SURA, 2014). Para nuestro caso dichos sub-sistemas son:

Bomba de dirección: El buen funcionamiento de la bomba facilitara el movimiento del volante para así poder girar con poco esfuerzo el VE. La variable de control es la presión.

Bomba de vacío (freno): El buen funcionamiento de la bomba le dará la seguridad al usuario de que tendrá los frenos del VE dispuestos en todo momento. La variable de control es la presión.

Bombas de refrigeración: En éste caso se tendrán dos bombas que hacen parte del mismo sub- sistema. Las dos están conectadas en serie y deben funcionar al mismo tiempo ya que si solo funciona una, ésta se puede dañar el buen funcionamiento de las

dos bombas de refrigeración hará circular el refrigerante (agua) y dará más tiempo de funcionamiento del motor y el controlador. La variable de control es la temperatura en el motor y el controlador. (Ver Figura 22)

Hay que tener claro que para las bombas de dirección y de vacío no se tienen los sensores de presión necesarios para el control.

Para entender mejor el diagrama se debe tener en cuenta que al control del VE se añaden 3 contactores más y estos tiene asignado:

Contactor 4: bomba de refrigeración.

Contactor 5: bomba de dirección.

Contactor 6: bomba de vacío.

El sub-sistema de refrigeración será controlado de modo *ON/OFF* de la siguiente manera:

- *ON*: cuando la variable de control de la bomba esté por encima del *set-point* de temperatura, la bomba de refrigeración debe estar encendida.
- *OFF*: cuando la variable de control de la bomba esté por debajo del *set-point* de temperatura, la bomba debe permanecer apagada.

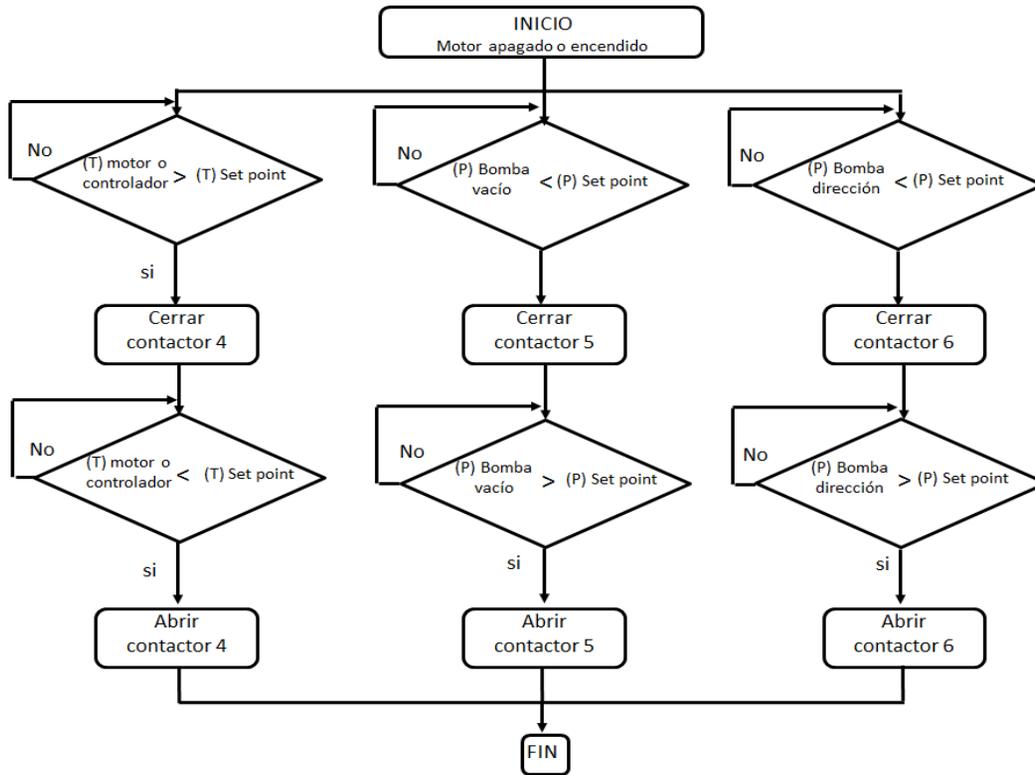


Figura 22. Control *on off* de bombas

Los sub-sistemas: dirección y vacío, funcionan de manera inversa al de refrigeración.

- *ON*: cuando la variable de control de la bomba(s) esté por debajo del *set-point* de presión, la bomba de dirección o vacío debe estar encendida.
- *OFF*: cuando la variable de control de la bomba(s) esté por debajo el *set-point* de presión, la bomba debe de permanecer apagada.

Este chequeo de las variables de control de las bombas debe ser constante.

En caso de que las bombas no funcionen el PLC procederá a mostrar una alarma al usuario la cual informa que el VE tiene un fallo en las bombas. Inmediatamente el PLC desconectará el VE.

A continuación se agrega el chequeo de bombas al encendido del motor con se observa en la Figura 23.

Cuando se presiona el botón de encendido el PLC realiza el chequeo de las bombas. Si éstas funcionan correctamente se procede a realizar la rutina de encendido del motor explicada anteriormente. Luego de tener el motor encendido el programa sigue encendido para de esta manera realizar el chequeo de las bombas hasta que se pueda dar el caso en que algunas o varias que no funcionen y así generar una alarma y un paro de emergencia. (Ver Figura 23)

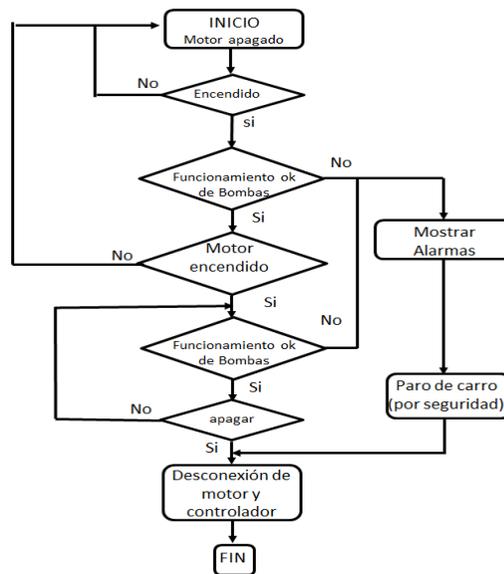


Figura 23. Encendido más chequeo de sub-sistemas del VE

2.3. Recepción de datos por medio de conexión serial

Para poder hacer un control del VE se necesitan los valores entregados por los diferentes sensores que están distribuidos en

éste, los valores de voltaje, corriente, temperatura y presión, son obtenidos por el protocolo CAN y luego serían entregados mediante una conexión serial al PLC. (Vélez & Arroyave, 2013) (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Ubicación de sensores en el VE (Alzate, 2013)

Variable	Sensor	Rangolectura	Ubicación Logan
Corriente	ACS713	0-30 A	Bomba 1 del sistema de refrigeración
Corriente	ACS713	0-30 A	Bomba 2 del sistema de refrigeración
Corriente	ACS713	0-30 A	Bomba de dirección
Corriente	LD1Z200S05	0-200 A	Batería 288V
Corriente	LD1Z200S05	0-200 A	Bomba de frenado
Presión	MPX5100	0-14 PSI	Motor principal
Presión	MPX5100	0-14 PSI	Controlador principal
Presión	MPX5100	0-14 PSI	Bomba 1 del sistema de refrigeración
Presión	MPX5100	0-14 PSI	Bomba 2 del sistema de refrigeración
Temperatura	PT100	0-850 °C	Motor principal
Temperatura	PT100	0-850 °C	Controlador principal
Temperatura	PT100	0-850 °C	Radiador
Voltaje	Divisor de tensión	0-288 V	Batería 288V

La tarjeta de comunicación del protocolo CAN tiene dos salidas seriales y el PLC se comunica por medio del módulo de comunicación CM1241. (Ver **¡Error! No se encuentra el origen e la referencia.**)

El protocolo CAN entrega una cadena de datos que se separa y se guarda en el PLC en las siguientes direcciones. (Jácome & Martínez, 2014) (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Almacenamiento de datos dentro del PLC

Nombre	Typo de dato	Dirección
(I) bomba refrigeracion 1	Real	%MD4
(I) bomba refrigeracion 2	Real	%MD8
(I) bomba dirección	Real	%MD12
(I) bomba frenado	Real	%MD16
(I) baterias	Real	%MD20
(P) motor	Real	%MD24
(P) controlador	Real	%MD28
(P) refrigeración 1	Real	%MD32
(P) refrigeración 2	Real	%MD36
(T) motor	Real	%MD40
(T) controlador	Real	%MD44
(V) Baterias	Real	%MD48

2.4. Control de velocidad del motor por PWM (Pulse Width Modulation)

El desarrollo no depende del PLC, ya que se realizó por medio de un ARDUINO modelo uno. Consiste en remplazar el pedal del acelerador por un pulsador que controla el PWM integrado en el ARDUINO. Con este PWM se puede controlar la velocidad del motor. (Ver ANEXOS) Para esto es necesario seguir la siguiente conexión (Ver Figura 24)

- (2) polo positivo alimentación de 5V
- (4) polo negativo alimentación de -5V (tierra)
- (2) entrada PWM

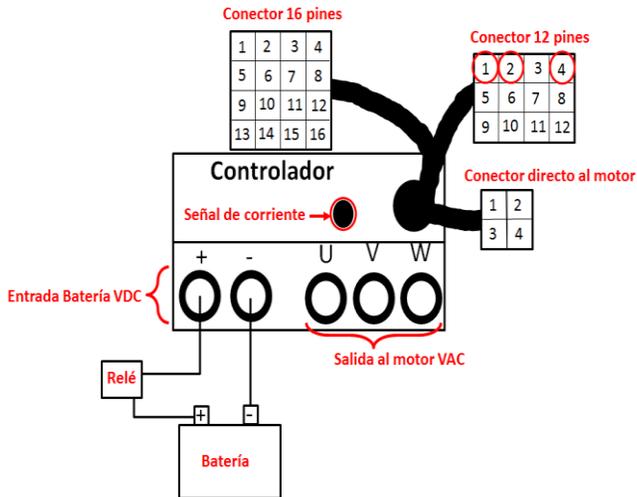


Figura 24. Conexión Motor y controlador 2

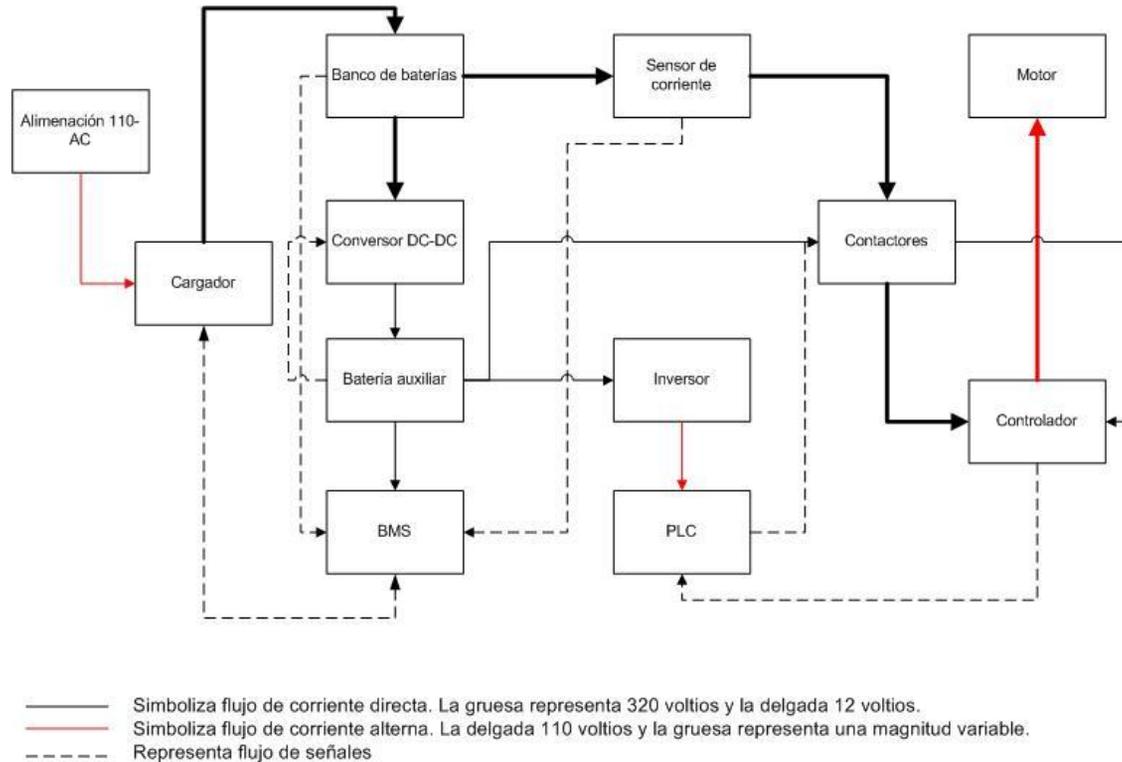


Figura 25. Esquema de conexión de los dispositivos (Cuartas, 2014)

3. MONTAJE DE CONTROL

El montaje del control se realizó en los laboratorios de eléctrica y electrónica de la UPB.

La conexión de todos los elementos se realizó como se observa en la Figura 25.

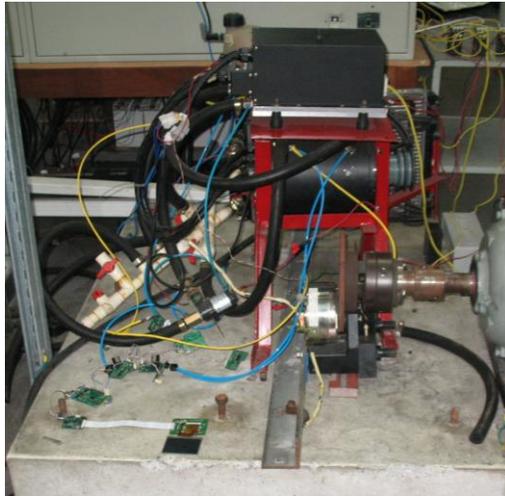


Figura 26. Montaje banco de pruebas

En la Figura 26 se puede observar el montaje del motor, el controlador del motor, las bombas de refrigeración y el acople de los sensores de temperatura y presión de las bombas de refrigeración. Acoplado a los sensores está conectado el protocolo CAN.

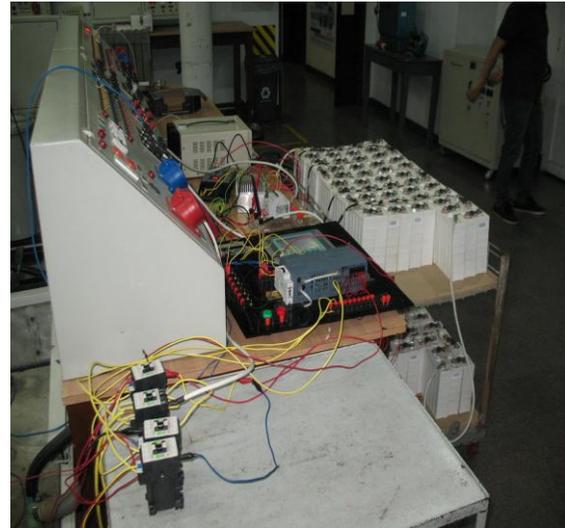


Figura 27. Conexión de PLC y baterías

En la Figura 27 se observa el montaje completo del PLC más los contactores: 1, 2,3 y 4. También se puede observar el banco de baterías, el convertidor y el controlador.

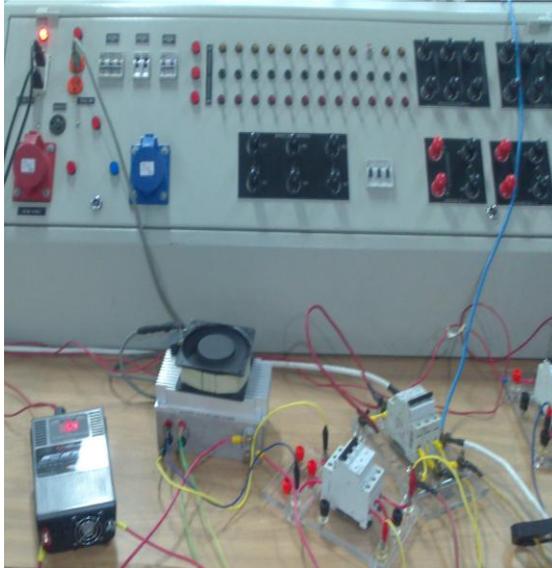


Figura 28. Conexión de inversor y convertidor

En la Figura 28 se puede observar mucho mejor el inversor y convertidor.

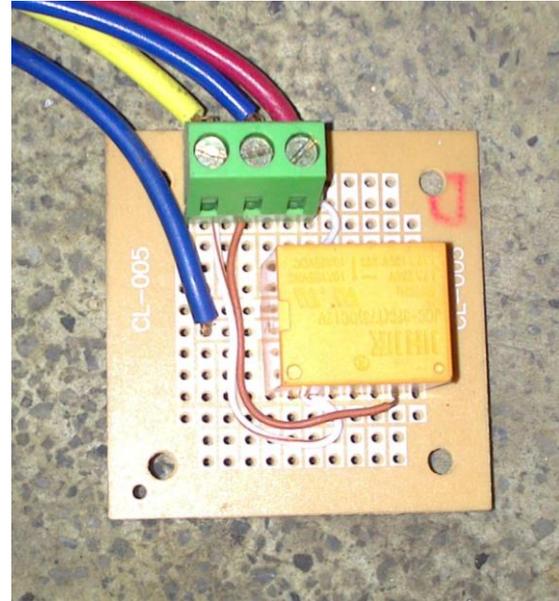


Figura 29. Relé de acople señal de tierra

Éste es el relé usado para poder acoplar la señal de tierra entregada por el controlador, y tiene las siguientes características 12 VDC para control y 125 VAC, 12 A de funcionamiento. El acople permite tomar esa señal, y convertirla en entrada digital para el PLC. (Ver Figura 29)

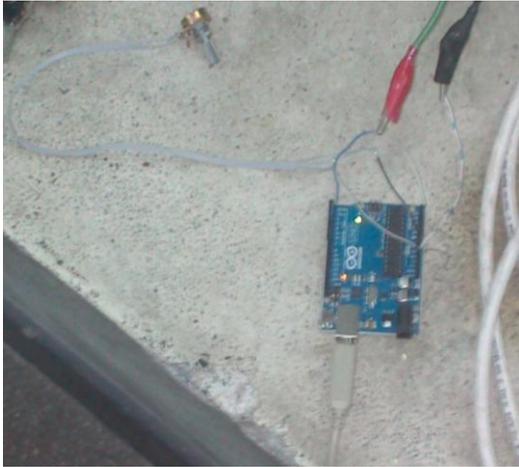


Figura 30. Arduino utilizado como acelerador

En la Figura 30 se puede observar la conexión hecha en el ARDUINO para poderlo utilizar como acelerador del motor.

4. INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

Todas las diferentes partes del control se podrán visualizar por medio del TIA portal en la pantalla táctil HMI de 6" en los siguientes pantallazos

La visualización del control se divide en 5 pantallazos o imágenes que muestran: la recolección de datos, el encendido del VE, la

operación de los sub-sistemas, las alertas en caso de mal funcionamiento de los sub-sistemas.

4.1. Imagen de bienvenida

En la imagen se puede observar el estado del VE (encendido o apagado). En la parte inferior de la imagen se aparecen los botones de navegación F1 y F6 los cuales dan paso a la siguiente imagen o apagan del control respectivamente. (Ver Figura 31)



Figura 31. Imagen de presentación del proyecto

4.2. Imagen de selección

En la siguiente imagen se puede encender o apagar el VE. Además sirve como navegación para ver las otras partes del control como lo son bombas, motor y sensores.

De igual forma se tiene en la parte inferior los botones de navegación. Pero F1 en este caso es utilizado para retroceder entre imágenes. (Ver Figura 32)

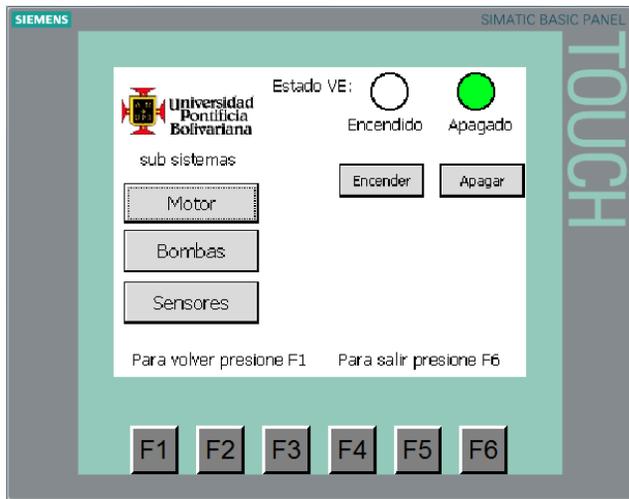


Figura 32. Imagen de selección y encendido de motor

En la misma imagen se puede observar las alarmas en caso de que alguna de las bombas del VE, no funcione correctamente. (Ver Figura 33)



Figura 33. Imagen de selección + alarma de bombas

4.3. Imagen de motor

Al presionar El botón de Motor en la imagen de selección se ingresa a una visualización del motor donde se ve el estado del banco de baterías. (Ver Figura 34)

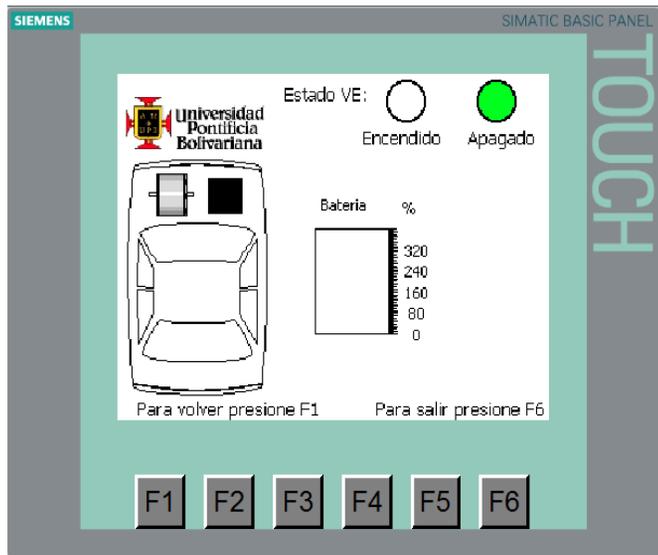


Figura 34. Imagen de visualización de motor y baterías

4.4. Imagen de bombas

Al presionar el botón de bombas en la imagen de selección se ingresa a una visualización donde se muestra el estado de las bombas apagadas (*off*) o encendidas (*on*). (Ver Figura 35)

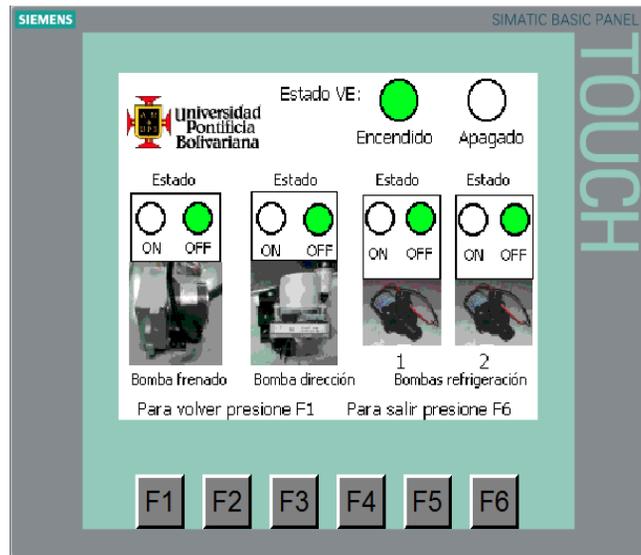


Figura 35. Imagen de visualización de bombas

Por último, al presionar el botón sensores de la imagen de selección se ingresa a una visualización de los datos entregados por el protocolo CAN referente a los sensores. De igual forma se observan los *set-points* del control *on off* y la ubicación de los diferentes sensores dentro del VE. (Ver Figura 36)

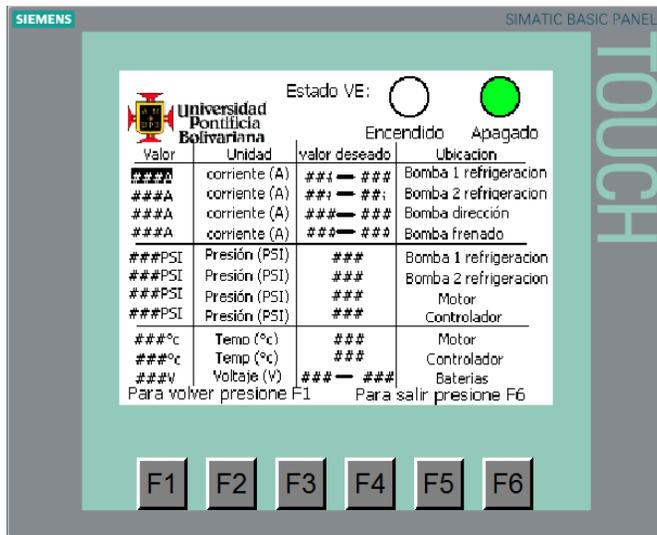


Figura 36. Imagen de visualización datos sensores

5. DIFICULTADES PRESENTADAS

Al inicio del proyecto la implementación del control se estaba realizando con un PLC S7-200, y luego se decidió cambiar por otro el, PLC S7-1200, por las siguientes razones (Transición SIEMENS, 2009):

- La programación del S7-200 se debía hacer solamente en Windows XP y en la actualidad este sistema operativo está en desuso. En cambio el S7-1200 se puede programar desde un Windows más actualizado (7 u 8).
- La programación con el nuevo S7-1200 es mucho más sencilla y da la posibilidad de agregar una pantalla táctil HMI de 6" lo cual hace más sencillo el manejo del control.
- La comunicación serial del PLC S7-200 es mucho más engorrosa.

El control de las bombas de vacío y dirección se debía hacer con los sensores de presión de cada una; pero como ni las bombas ni sensores se instalaron su control no se ha verificado.

6. CONCLUSIONES

Se diseñó un control por medio de un PLC S7-1200 para manejar los diferentes sub-sistemas (dirección, frenado y refrigeración) y visualizar las variables de control: voltajes, temperaturas, corrientes, presiones y garantizar la seguridad del usuario dentro del automóvil. También se diseñó e implementó un control de encendido para el VE por medio de contactores.

El cambio de tecnología del PLC, permitió agregar la interfaz hombre máquina (HMI) dando una gran ventaja a la hora de operar el control, debido que en la pantalla se puede visualizar todas las variables en tiempo real, sin tener la necesidad de tener un computador conectado al PLC.

En caso de que el proyecto “conversión de un vehículo de combustión interna a un vehículo eléctrico”, se quiera hacer viable comercialmente, es posible cambiar los contactores ya sean por SSR (relé de estado sólido) o IGBT (transistor bipolar de puerta aislada), también sería necesario cambiar el PLC por un dispositivo más económico y menos robusto.

El PLC es el dispositivo ideal a la hora de hacer pruebas en el laboratorio debido a que es un elemento robusto, libre de ruidos parásitos, para su fácil manejo y da la posibilidad de agregar otros dispositivos como lo pueden ser: paneles solares, celdas de “efecto peltier” u otros posibles sub-sistemas. (Antoniali, De piante, & Tonello, 2013)

Se desarrolló el control de la velocidad por medio del PWM integrado en el ARDUINO UNO, la ventaja de este es que se puede agregar al PLC ya que contiene bloques de programación para PWM.

Se realizó una divulgación del proyecto por medio de medios informativos como lo son: noticieros y periódicos. De igual forma se participó en el concurso “desafío Renault 2014” en la categoría “tecnologías verdes y desarrollo ambiental”, y al cual se logró llegar a las semifinales.

REFERENCIAS

- Aficionados a la mecanica. (2014). Recuperado el 10 de 11 de 2014, de <http://www.aficionadosalamecanica.net/cursos-de-mecanica-2/>
- Autmotriz.net. (2014). Recuperado el 10 de 11 de 2014, de <http://www.automotriz.net/tecnic/>
- Álvarez, C. A., & Álvarez, S. (2011). *Factibilidad de la conversión de un vehículo de combustion a eléctrico*.
- Alzate, P. D. (2013). Dispositivo para telemetria de vehículo eléctrico .
- Antoniali, M., De piante, M., & Tonello, a. (2013). PLC noise and channel characterization in a compact electrical car. *IEEE*.
- BELKTRONIX. (6 de Enero de 2014). *Electric Vehicle DC-DC Installation and Wiring Guide*.
- Betancur, S., & Giraldo, J. (2013). *Factibilidad de la conversión de un vehículo de combustion a eléctrico- generacion y transmision de potencia mecánica para los subsistemas de frenado, dirección asistida y aire acondicionado en carros electricos*.
- Cuartas, J. (2014). Ingeniería para la operatividad y alimentacion de un vehiculo convertido a electrico.
- electric power M&C. (s.f.). Electric vehicle motor (PMBLDC motor).
- Gomez Arboleda, J. F. (2014). *Factibilidad de la conversión de un vehículo de combustion a eléctrico*. Medellín: UPB.
- HMI SIEMENS. (2012). *Simatic HMI paneles de operador basic panels*.
- Jácome, F. I., & Martinez, J. R. (2014). *Implementación del PLC SIMATIC S7-1200 y pantalla táctil al modulo de clasificación por colores y materiales para el laboratrio de control y manipulación automática de la escuela de ingeniería de mantenimiento de la epoch*.
- Ogata, K. (s.f.). *ingeniería de control moderna 5ta edicion* . Pearson educación .
- Provencher, H. (Abril de 2012). *Controller Area Network For Vehicles*.
- S7-1200 SIEMENS. (2009). *SIMATIC controlador programable S7-1200*.
- Support SIEMENS. (s.f.). *Industry online support*. Recuperado el 12 de 09 de 2014, de <http://support.automation.siemens.com/ES/lisapi.dll?func=cslib.csinfo&objId=59728694&nodeid=10805148&load=treecontent&lang=es&siteid=cseus&aktprim=0&objaction=csview&extranet=standard&viewreg=ES>
- SURA. (2014). *Seguridad activa y pasiva en un Vehículo*. Recuperado el 2 de 3 de 2014, de <http://www.sura.com/blogs/autos/seguridad-activa-pasiva-vehiculo.aspx>
- TIA portal SIEMENS. (2009). *SIMATIC TIA portal step7 basic V10.5*.
- Transición SIEMENS. (2009). *Guía de transición del S7-200 al S7-1200*.
- University, B. (2011). *Battery University*. Recuperado el 27 de enero de 2015, de <http://batteryuniversity.com/learn/>
- Valencia, J. H. (2006). Fundamentos de los sistemas de control eléctrico.
- Vélez, J. c., & Arroyave, D. A. (2013). *Diseño y construcción de interfaces secundarias y comunicaciones del Vehículo eléctrico de la upb*.

AUTOR



Javier Eugenio ARISMENDY PEREZ, bachiller del colegio de la Universidad Pontificia Bolivariana 2005. Estudiante de Decimo semestre próximo a graduarse de Ingeniería Eléctrica en la universidad Pontificia Bolivariana.

ANEXOS

Tabla con variables utilizadas en el control.

Nombre	Tipo de dato	Dirección
System_Byte	Byte	%MB0
primer ciclo	Bool	%M0.0
salida a contactos	Byte	%QB0
stop	Bool	%I0.0
encendido	Bool	%I0.1
estados de encendido	Byte	%MB3
señal de banco baterías	Bool	%I0.2
(I) bomba refrigeracion 1	Real	%MD4
(I) bomba frenado	Real	%MD16
siempre high	Bool	%M0.2
siempre low	Bool	%M0.3
(I) bomba refrigeracion 2	Real	%MD8
(I) bomba dirección	Real	%MD12
(I) baterías	Real	%MD20
(P) motor	Real	%MD24
(P) controlador	Real	%MD28
(P) refrigeración 1	Real	%MD32
(P) refrigeración 2	Real	%MD36
(T) motor	Real	%MD40
(T) controlador	Real	%MD44
(V) Baterías	Real	%MD48
estado alarmas	Bool	%M134.0
(I) max bomba refrigeración 1	Real	%MD52
(I) max bomba refrigeración 2	Real	%MD56
(I) max bomba dirección	Real	%MD60
(I) max bomba frenado	Real	%MD64
(I) min bomba refrigeración 1	Real	%MD68
(I) min bomba refrigeración 2	Real	%MD72
(I) min bomba dirección	Real	%MD76
(I) min bomba frenado	Real	%MD80
(P) set point motor	Real	%MD84
(P) set point controlador	Real	%MD88
(P) set point refrigeración 1	Real	%MD92
(P) set point refrigeración 2	Real	%MD96
(T) set point motor	Real	%MD100
(T) set point controlador	Real	%MD104
(V) max Baterías	Real	%MD108
(V) min Baterías	Real	%MD102
aviso encendido motor	Bool	%Q0.2
acciones	Int	%MW1
aviso refrigeración	Bool	%Q0.3
aviso dirección	Bool	%Q0.4
aviso frenado	Bool	%Q0.5
Act. datos	Bool	%M125.0
RCV datos	DWord	%MD128
int de estados	Int	%MW132
(P) set point bomba dirección	Real	%MD112
(P) set point bomba frenado	Real	%MD116
(P) bomba dirección	Real	%MD120
(P) bomba frenado	Real	%MD124

Control de PLC se divide por Bloques de programación:

- Bloque que se ejecuta solo al inicio del programa (starup).

Segmento 1: inicialización de contactos y estados de encendido

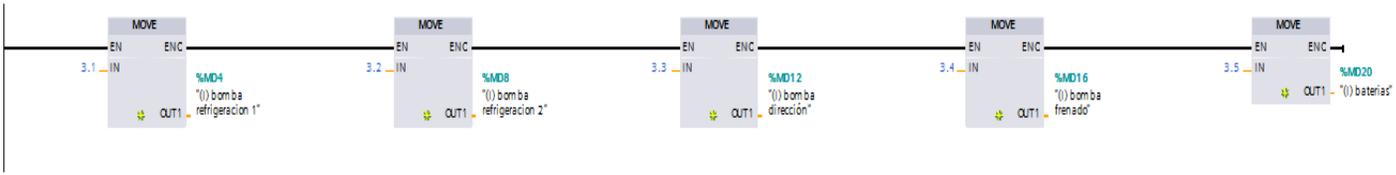
inicialización de contactos y estados de encendido



"salida a contactos"	%QB0
"estados de encendido"	%MB3

Segmento 2: inicialización de las Corrientes (5 datos)

inicialización de las Corrientes (5 datos)



"() baterias"	%MD20
"() bomba refrigeracion 1"	%MD4
"() bomba refrigeracion 2"	%MD8
"() bomba direccion"	%MD12
"() bomba frenado"	%MD16

Segmento 3: inicialización de presiones (4 datos)

inicialización de presiones (4 datos)



"(P) refrigeración 1"	%MD32
"(P) refrigeración 2"	%MD36
"(P) controlador"	%MD28
"(P) motor"	%MD24

Segmento 4: inicialización de temperaturas (2 datos)

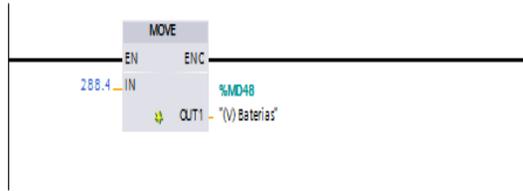
inicialización de temperaturas (2 datos)



"(T) controlador"	%MD44
"(T) motor"	%MD40

Segmento 5: inicialización de voltajes (1 datos)

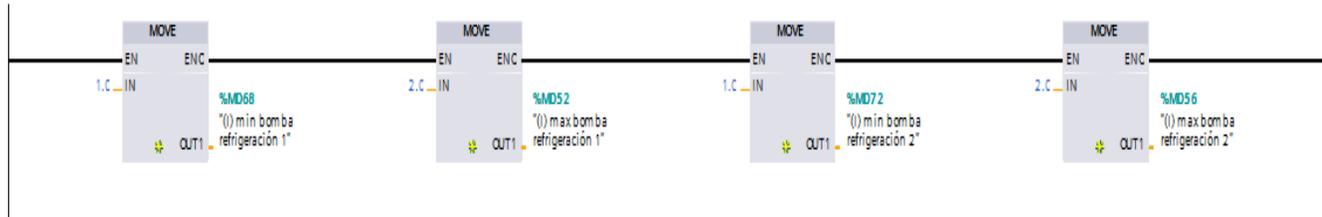
inicialización de voltajes (1 datos)



"(V) Baterías"	%MD48
----------------	-------

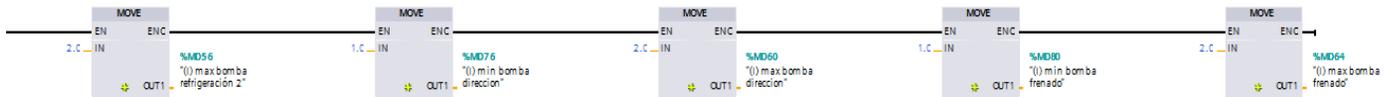
Segmento 6: inicialización limites de corriente (8 datos)

inicialización limites de corriente



"(I) max bomba frenado"	%MD64
"(I) min bomba refrigeración 1"	%MD68
"(I) max bomba refrigeración 1"	%MD52
"(I) min bomba refrigeración 2"	%MD72
"(I) max bomba refrigeración 2"	%MD56

Continuación segmento 6



Segmento 7: inicialización set points presión(4datos)

inicialización set points presión



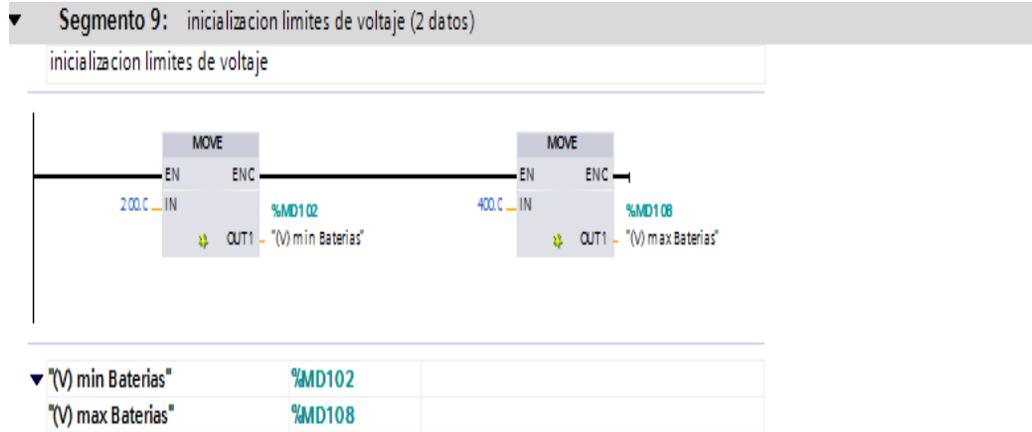
"(P) set point refrigeración 1"	%MD92
"(P) set point refrigeración 2"	%MD96
"(P) set point motor"	%MD84
"(P) set point controlador"	%MD88

Segmento 8: inicialización set points temperatura (2 datos)

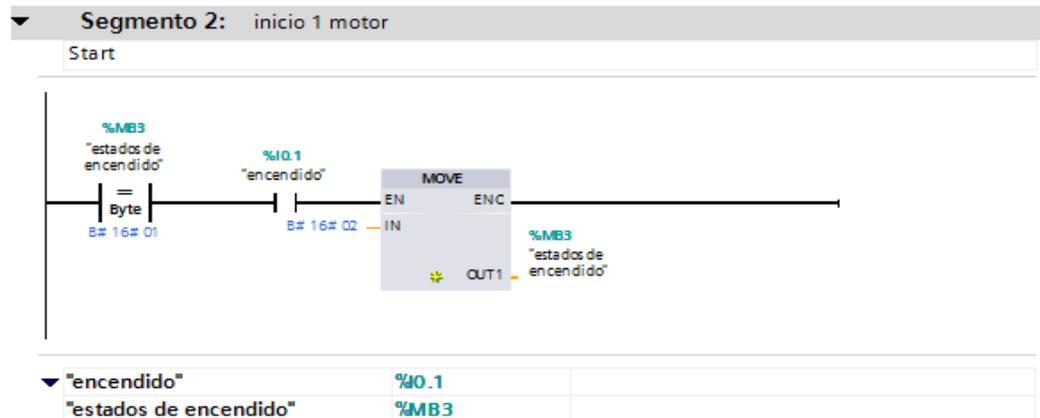
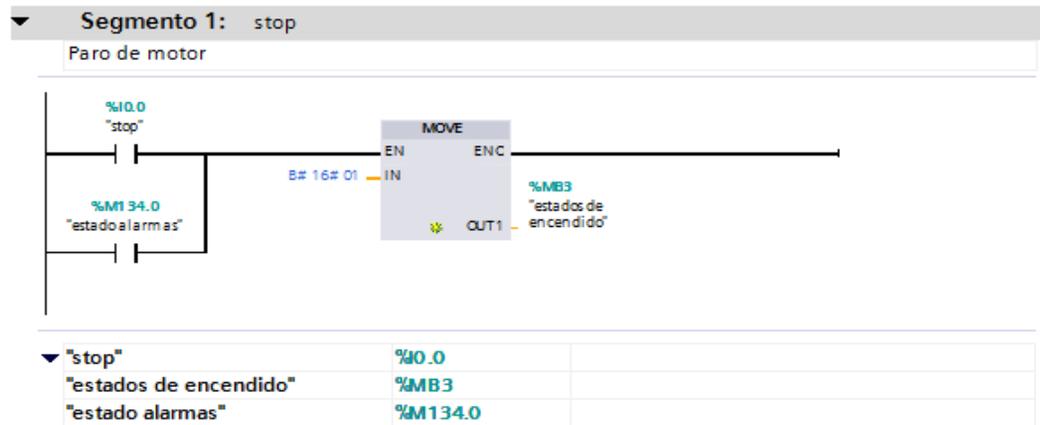
inicialización set points temperatura



"(I) max bomba frenado"	%MD64
-------------------------	-------

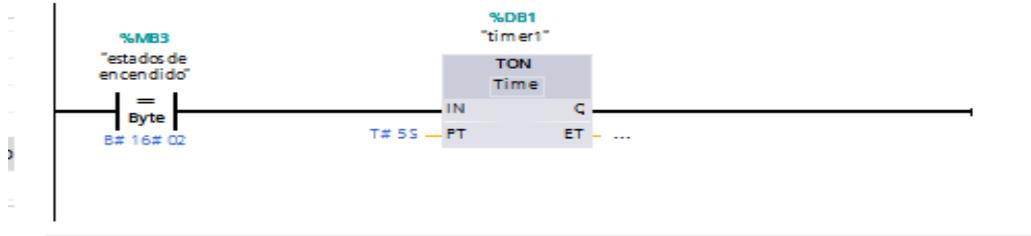


- Bloque de programación Principal (main).



Segmento 3: inicio 2 motor

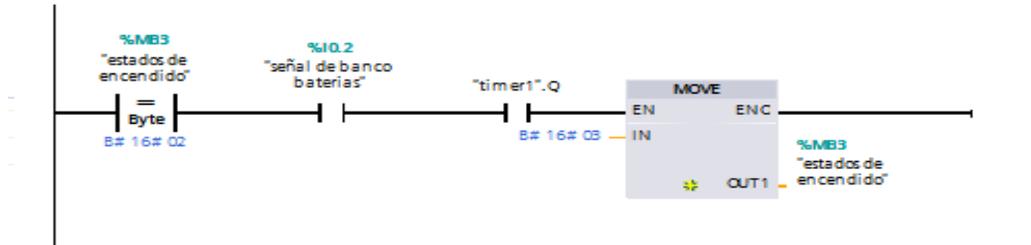
Tiempo de espera



"estados de encendido"	%MB3	
------------------------	------	--

Segmento 4: inicio 3 motor

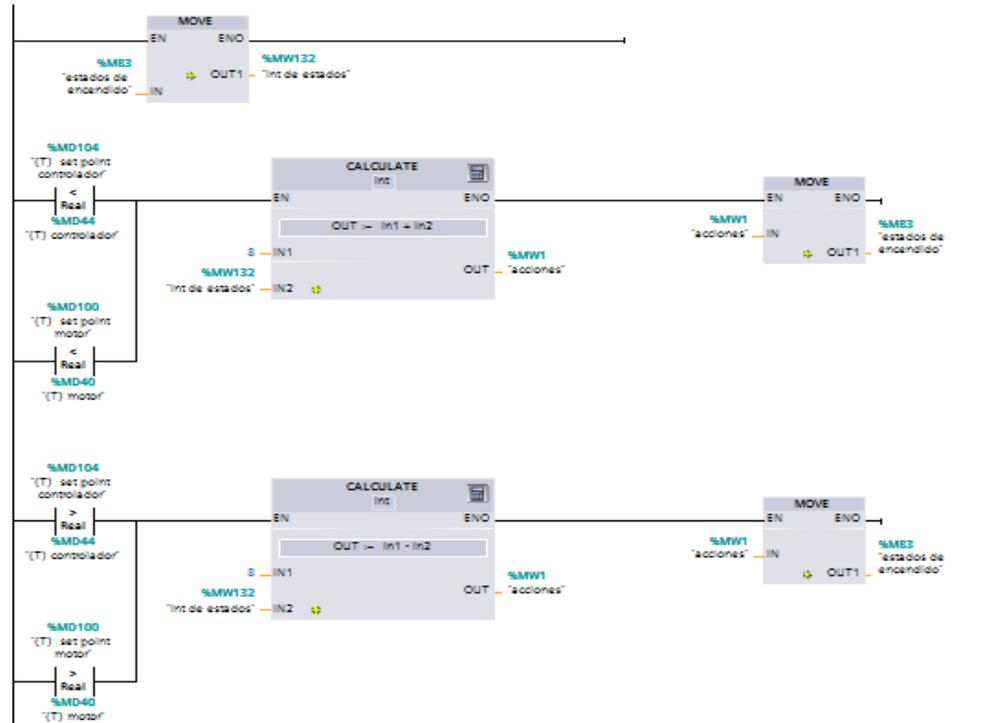
Llegada de señal controlador



"estados de encendido"	%MB3	
"señal de banco baterías"	%IO.2	
"timer1".Q		

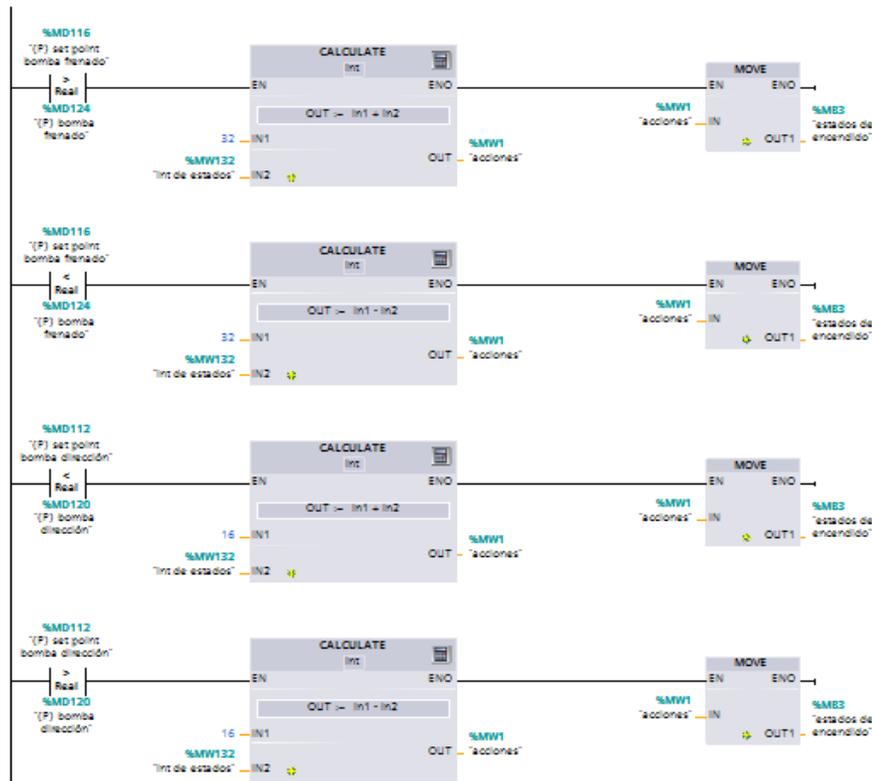
Segmento 5: control de refrigeracion

Comentario



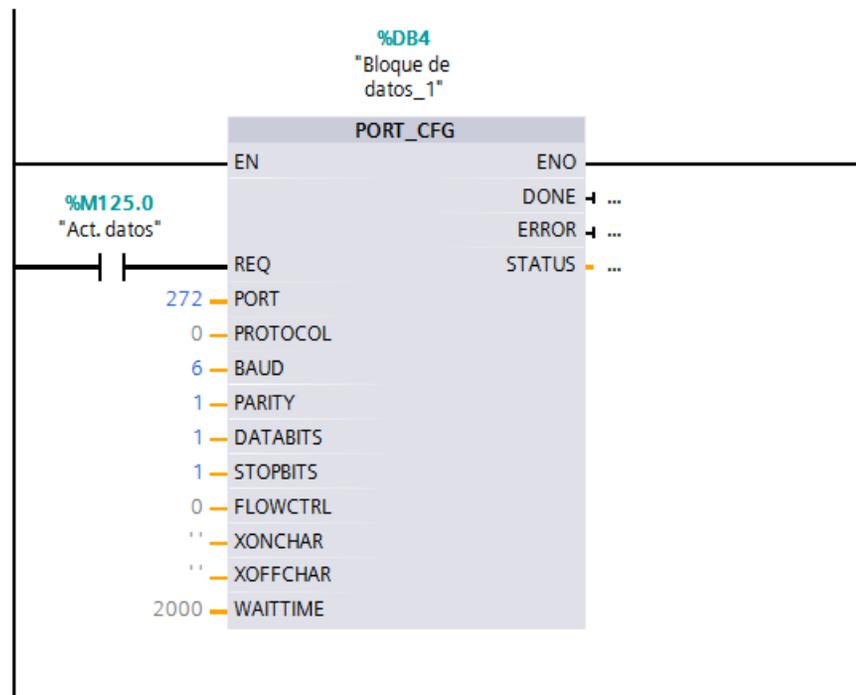
Segmento 6: control presion (direccion + frenado)

Comentario



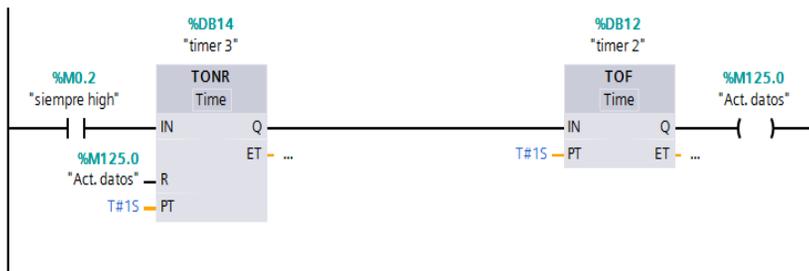
Segmento 7: configuracion de puerto serial 0

configuracion de puerto serial



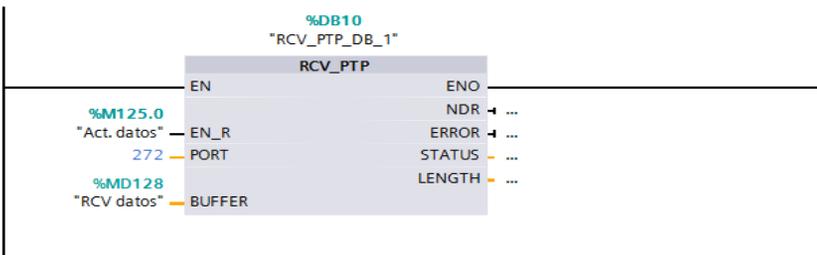
Segmento 8: Activacion lectura de datos

Comentario



Segmento 9: Recepción de datos

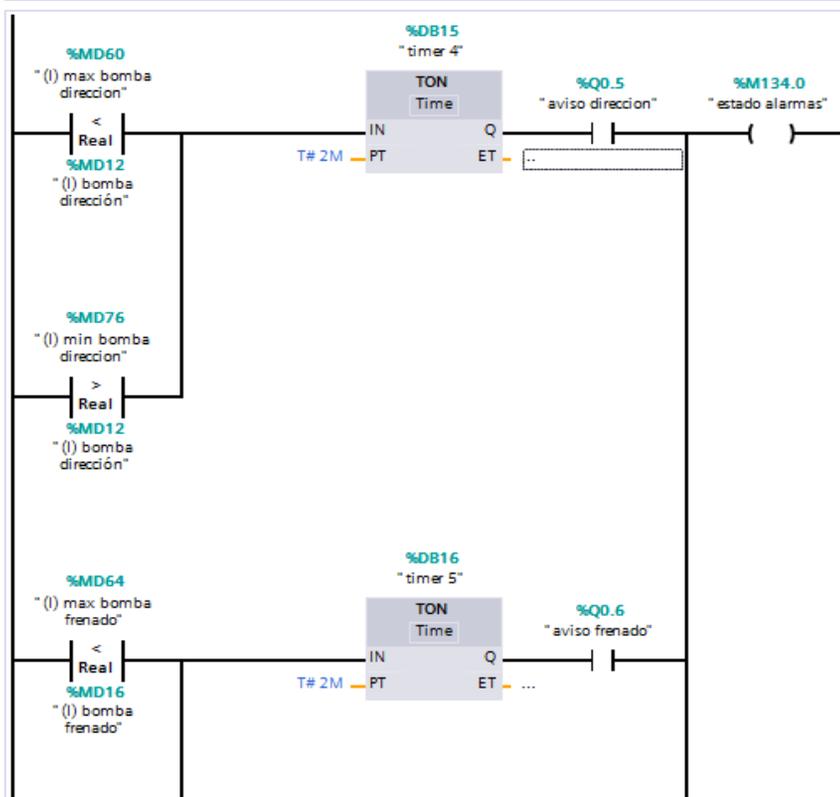
Comentario

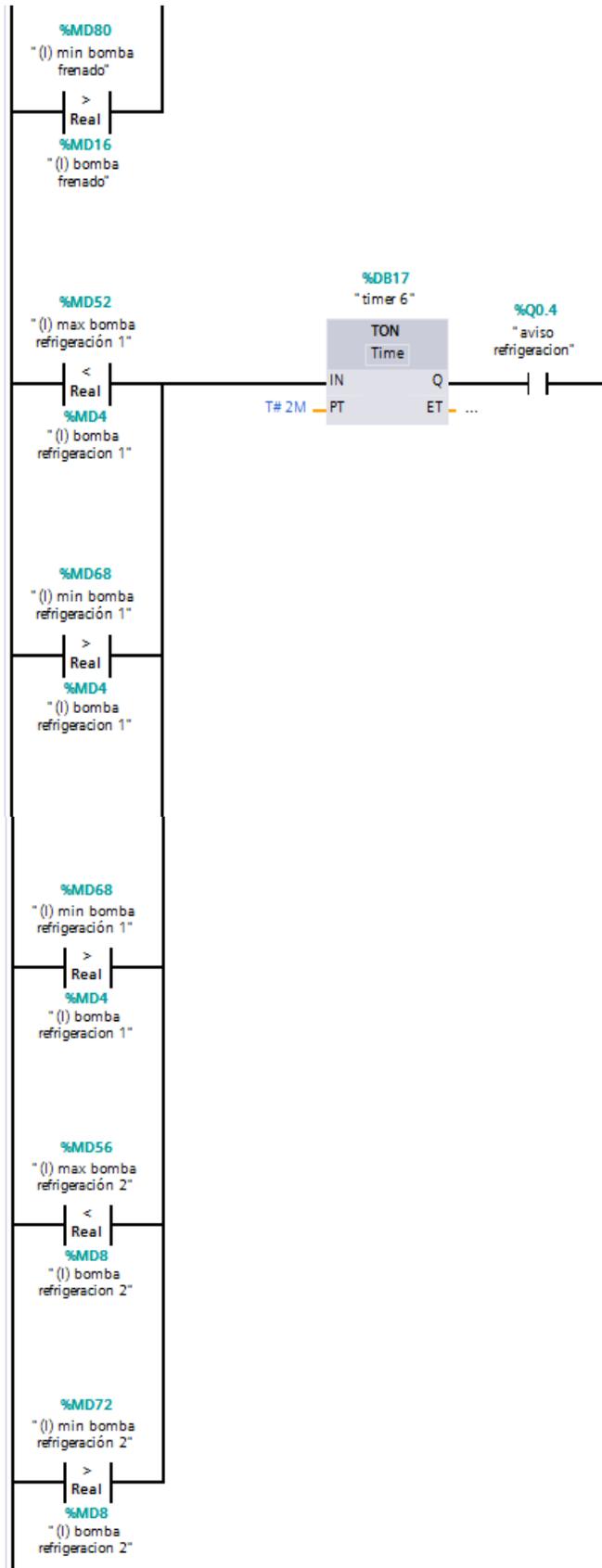


"Act. datos"	%M125.0	
"RCV datos"	%MD128	

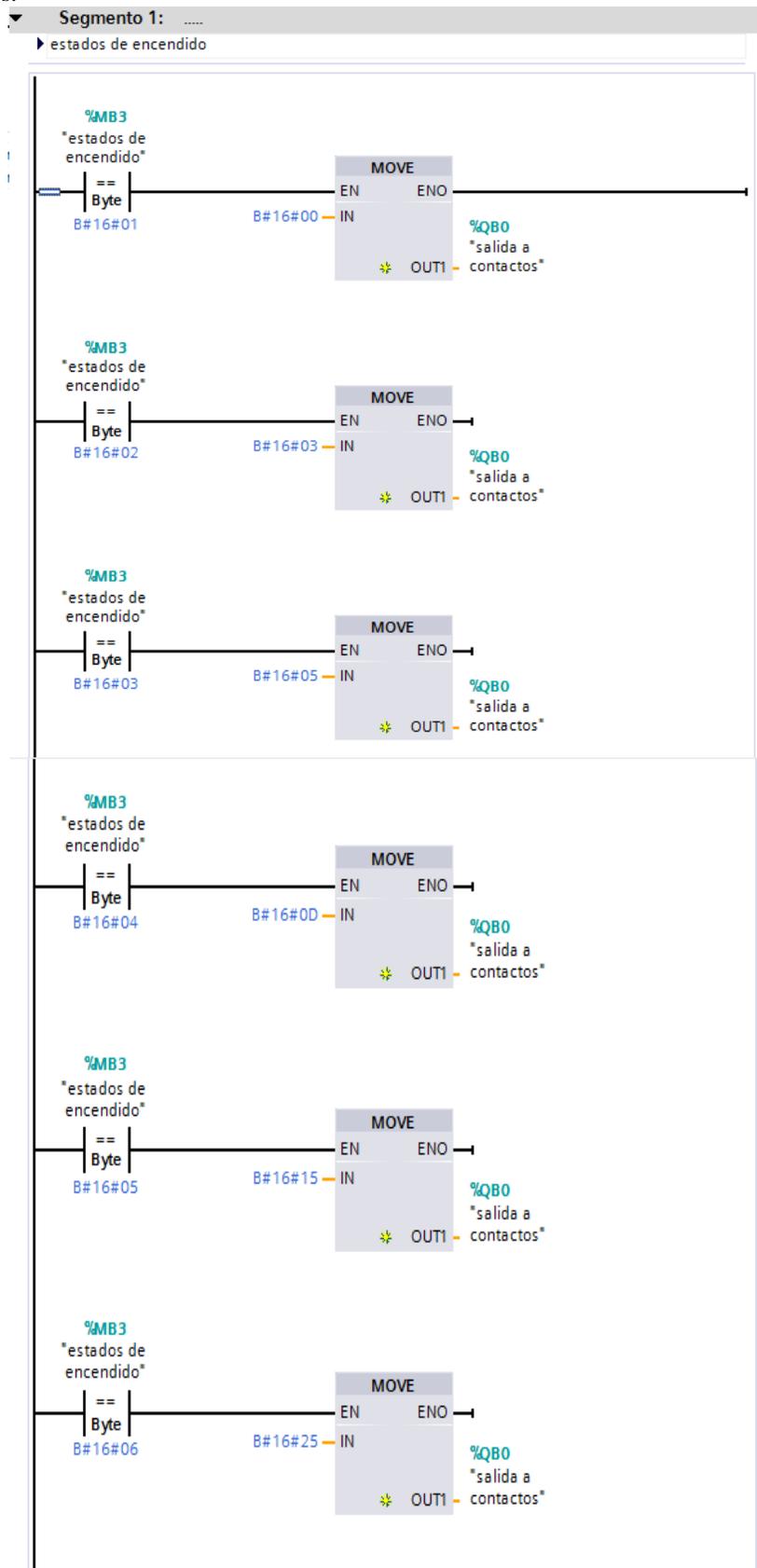
Segmento 10: control de alarmas

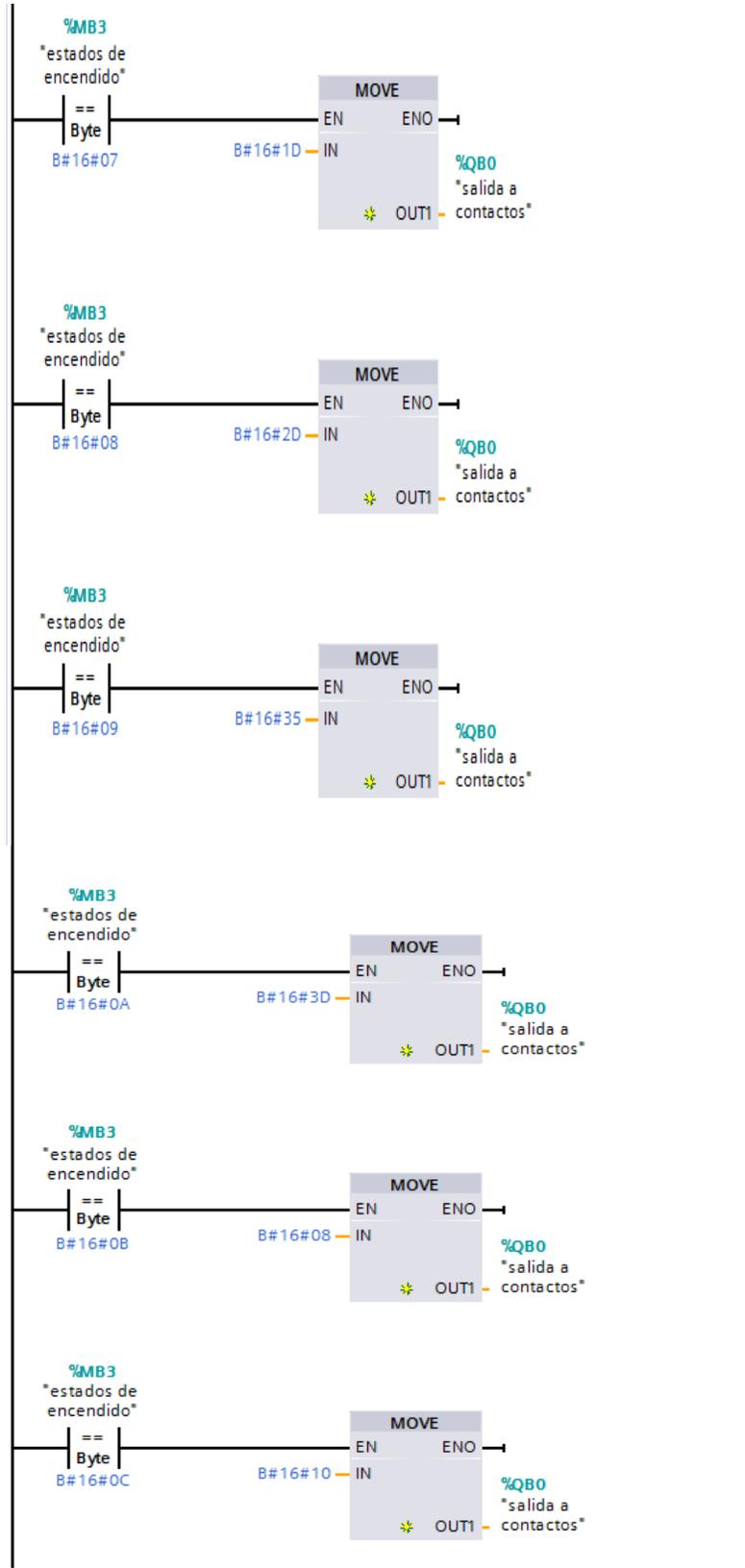
Comentario

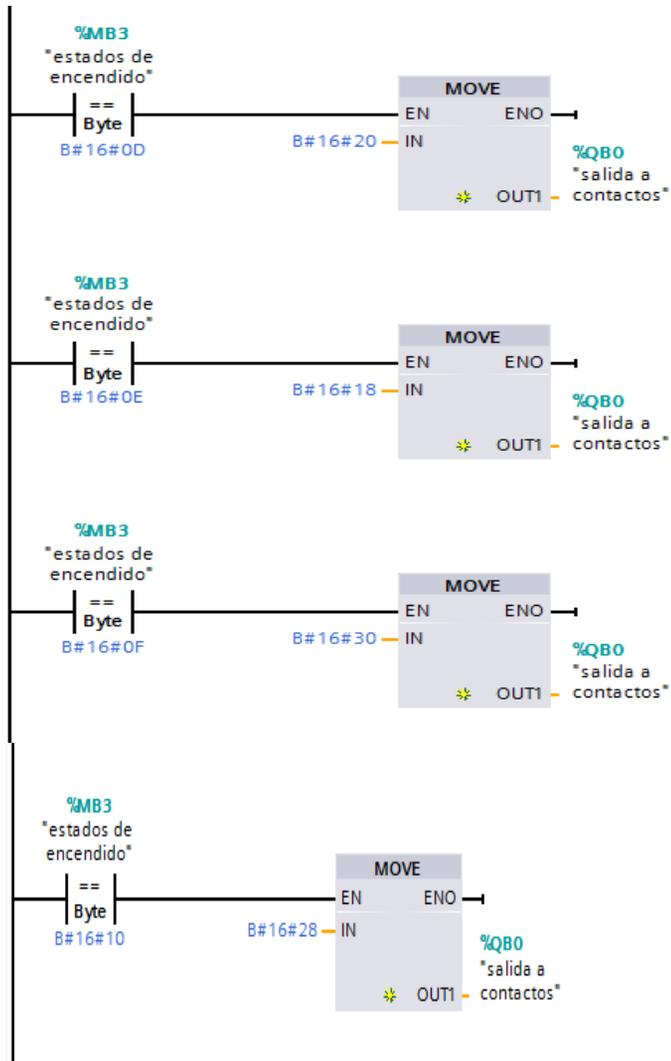




- Bloque de encendidos.







- Programa de aceleración motor PWM ARDUINO.

```
int ledPin = 9;    // LED conectado al pin digital 9
int outPWM = 3;   // variable en
int PWMVal = 0;
int digitalpin = 2; // pulsador en el pin 2 de entradas digitales
int contador = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600); // inicialización de serial + asignación de pines
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(outPWM, OUTPUT);
  pinMode(digitalpin, INPUT);
}
void loop() {
  int PWMVal= digitalRead(2);
  if (PWMVal == HIGH) {
    contador = contador + 4 ; // aumento de 4 La variable contador
    contador = constrain(contador, 0, 170); //límites de la variable contador
  }
  else {
    contador = contador - 10;
    contador = constrain(contador, 40, 170); ; // valor fijo cuando no se acelere el motor
  }
  Serial.println(PWMVal); // mostrar valores por serial
  Serial.println(contador);

  digitalWrite(outPWM, HIGH); // Prende el PWM
  delay(contador); // Espera un segundo
  digitalWrite(outPWM, LOW); // Apaga el PWM
  delay(341-contador);
}
```

- Conexión de y alimentación de Arduino

