

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**IMPLEMENTACIÓN DE MÓDULOS DE CONTROL DIDÁCTICOS PARA
MOTORES A PASOS UNIPOLARES, BIPOLARES Y DC**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTROMECAÁNICA**

Georgy Geovany Almeida Ochoa
georgy.almeida@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. PABLO ANDRES PROAÑO CHAMORRO.
pablo.proano@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA, MSC.
carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, febrero 2022

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Almeida Ochoa Georgy Geovanny como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA, bajo nuestra supervisión:

Ing. Pablo Proaño

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Carlos Romo

CODIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo Almeida Ochoa Georgy Geovanny con CI: 1726135559 declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, soy titular de la obra en mención y otorgo una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entrego toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Almeida Georgy

CI: 1726135559

Teléfono: 0960109410

Correo: georgy.almeida@epn.edu.ec

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de implementación a todos los nuevos estudiantes de la ESFOT de las de las carreras de electrónica y electromecánica para fomentar la investigación y desarrollo de equipos con microcontroladores ambientados al área de robótica.

AGRADECIMIENTO

A mi director del proyecto el Ing. Pablo Proaño, por la paciencia, constancia y la dedicación brindada para el fortalecimiento de la enseñanza técnica profesional en la carrera de electromecánica.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
1.1	Objetivo general.....	1
1.2	Objetivos específicos.....	1
2	Metodología	2
2.1	Descripción de la metodología usada	2
3	Resultados y Discusión	4
	Motor paso a paso (PAP).....	5
3.1	Estudio de requerimientos y condición del sistema	11
	Presentación de los parámetros de los motores.	11
	Requerimientos y condiciones para el control de los motores.....	12
3.2	Estructura del módulo.....	14
	Proceso de ensamble.	18
3.3	Sistema eléctrico y electrónico	20
	Circuitos eléctricos de las fuentes de alimentación:.....	20
	Diseño electrónico del módulo de control del motor Bipolar.	28
3.4	Algoritmos de control.....	31
3.5	Pruebas y Análisis de Resultados	35
	Funcionamiento del módulo de control de motores DC, unipolares y bipolares.	35
3.6	Manual de Uso y Mantenimiento	40
4	Conclusiones y Recomendaciones	42
4.1	Conclusiones.....	42
4.2	Recomendaciones	43
5	Referencias.....	44
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.	
Anexo 1: Certificado de Implementación.....	¡Error! Marcador no definido.	
Anexo 2: Planos y Esquemas	¡Error! Marcador no definido.	
Anexo 3: Diseños electrónicos de los módulos de control unipolar, bipolar y DC	¡Error! Marcador no definido.	
Anexo 4: Presentación de los algoritmos de control	¡Error! Marcador no definido.	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Diagrama de bloques del módulo de control del motor DC	4
Figura 3.2	Diagrama de bloques del módulo de control del motor bipolar	4
Figura 3.3	Diagrama de bloques del del módulo de control del motor unipolar	5
Figura 3.4	Esquema del motor Unipolar de 5 y 6 cables	5
Figura 3.5	Esquema del motor bipolar.....	6
Figura 3.6	Diagrama eléctrico de las bobinas del motor	7
Figura 3.7	Diagrama eléctrico de potencia para la alimentación del motor.	7
Figura 3.8	Menú de funciones del motor DC.....	9
Figura 3.9	Menú de funciones del motor bipolar.	9
Figura 3.10	Menú de funciones del motor unipolar.	10
Figura 3.11	Motor DC 12 (V_{DC})	11
Figura 3.12	Motor nema 17	12
Figura 3.13	Motor unipolar 28BYJ-48-5V.....	12
Figura 3.14	Circuito integrado L298N dedicado para el control de motores PAP y DC.....	13
Figura 3.15	Circuito integrado del L293D.	14
Figura 3.16	Encapsulado del CI ULN2003	14
Figura 3.17	Identificación de las partes del módulo de control vista superior.....	16
Figura 3.18	Identificación de las partes del módulo de control vista frontal.	17
Figura 3.19	Esquema de dimensiones del módulo de control.....	18
Figura 3.20	Polycarbonato cortado según el esquema de dimensiones.	18
Figura 3.21	Ensamble del módulo de control de motores.....	19
Figura 3.22	Cortes y unión de los elementos del módulo de control.....	19
Figura 3.23	Estructura del módulo terminada.....	20
Figura 3.24	Simulación de la fuente de alimentación de 5 (V) y 1 (A).	20
Figura 3.25	Placa PCB de la fuente de 5 (V_{DC})	23
Figura 3.26	Fuente de alimentación de 12 (V) a 1 (A)	23
Figura 3.27	Placa de la fuente de 12 (V_{DC})	25
Figura 3.28	Simulación del módulo de control para el motor DC.....	27
Figura 3.29	Simulación del módulo de control de motor Bipolar.....	28
Figura 3.30	Simulación del módulo de control de motor Unipolar.	29
Figura 3.31	Diseño de las pistas del motor DC para la placa PCB.....	30
Figura 3.32	Diseño de las pistas del motor Bipolar para la placa PCB.....	30
Figura 3.33	Diseño de las pistas del motor Unipolar para la placa PCB.....	30
Figura 3.34	Diseño de las pistas de la fuente de alimentación uno.	31
Figura 3.35	Diseño de las pistas para la fuente de alimentación dos.....	31
Figura 3.36	Diagrama de flujo del módulo de control de motores DC.	32
Figura 3.37	Diagrama de flujo del módulo de control del motor Bipolar.....	33
Figura 3.38	Diagrama de flujo del módulo de control del motor Unipolar.	34
Figura 3.39	Menú del módulo de control del motor DC.....	35
Figura 3.40	Accionamiento del motor DC en función de la temperatura.....	36
Figura 3.41	Menú de funciones del motor bipolar	37

Figura 3.42 Cumplimiento del motor Bipolar en función del sensor ultrasónico.....	37
Figura 3.43 Menú de funciones del motor unipolar	38
Figura 3.44 Cumplimiento del motor unipolar en función del potenciómetro	39
Figura 3.45 Funcionamiento del módulo de control de motores PAP y DC	40
Figura 3.46 Plan de mantenimiento del módulo de control de motores PAP y DC.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Método de arranque de paso a paso.....	6
Tabla 3.2 Método de arranque por medio paso.....	6
Tabla 3.3 Método de arranque de secuencia de paso doble.....	7
Tabla 3.4 Lista de materiales del módulo de control.....	8
Tabla 3.5 Descripción del menú de funciones del motor DC.....	9
Tabla 3.6 Descripción del menú de funciones del motor a pasos bipolar	10
Tabla 3.7 Menú de funciones del motor unipolar	10
Tabla 3.8 Datos técnicos del motor DC.....	11
Tabla 3.9 Datos técnicos del motor bipolar	11
Tabla 3.10 Datos técnicos del motor unipolar.....	12
Tabla 3.11 Especificaciones del CI L298N	13
Tabla 3.12 Especificaciones del CI L293D	13
Tabla 3.13 Especificaciones técnicas del TIP 122.....	14
Tabla 3.14 Tabla de materiales a utilizarse en el módulo.....	15
Tabla 3.15 Partes del módulo de control de motores.	17
Tabla 3.16 Selección del cable para la fuente de alimentación.....	26
Tabla 3.17 Tabla de corrientes en función de las áreas para el motor DC.....	27
Tabla 3.18 Tabla de corrientes en función de las áreas para el motor bipolar	28
Tabla 3.19 Tabla de corrientes en función de las áreas para el motor unipolar	29
Tabla 3.20 Motor DC en función del sensor de temperatura.....	35
Tabla 3.21 Cumplimiento de las funciones del módulo de control motor DC.....	36
Tabla 3.22 Motor Bipolar en función de la distancia.....	37
Tabla 3.23 Cumplimiento de las funciones del módulo de control motor bipolar.....	38
Tabla 3.24 Motor unipolar en función del potenciómetro.....	38
Tabla 3.25 Cumplimiento de las funciones del módulo de control motor bipolar.....	39

RESUMEN

El proyecto de titulación, “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DIDÁCTICO PARA MOTORES A PASOS UNIPOLARES, BIPOLARES Y DC”, permite al estudiante ejecutar las funciones principales de motores de corriente continua, por ejemplo: la inicialización, apagado, control de velocidad, sentido de giro y la selección de tipo de paso a recorrer, mediante el uso de medios electrónicos con la finalidad de acercar al estudiante al manejo de este tipo de máquinas eléctricas.

El presente trabajo cuenta con 4 secciones, que se resumen a continuación.

El capítulo uno es la introducción y la aclaración de los objetivos planteados para realizar el proyecto, además de la respectiva justificación del motivo de la implementación de este.

El capítulo dos describe la metodología utilizada, que se basa en un estudio de las condiciones del proyecto, el dimensionamiento de los elementos instalados en el módulo y la redacción de las actividades de acuerdo con los objetivos propuestos.

El capítulo tres detalla los pasos realizados antes, durante y la finalización del proyecto, se describen todos los elementos utilizados en la implementación con las respectivas pruebas que ayudan a evidenciar el funcionamiento del módulo, de la misma manera, se creó un manual de operación que ayuda a comprender como funciona el programa y como manipular los comandos para no cometer errores al momento de implementar el proyecto.

El capítulo cuatro es la redacción de las conclusiones y recomendaciones globales que se obtuvieron como resultado del desarrollo del proyecto.

PALABRAS CLAVE: Unipolar, Bipolar, Algoritmo, Controladores, Motor DC.

ABSTRACT

The degree project, "IMPLEMENTATION OF A DIDACTIC CONTROL MODULE FOR UNIPOLAR, BIPOLAR AND DC STEPPING MOTORS", allows the student to execute the main functions of the motors, such as: initialization, shutdown, speed control, sense of turn and selection of the type of step to go through, with the use of electronic elements connected to each other to present the appropriate information to the student.

This work has 4 chapters, which are summarized below.

Chapter one is the introduction and clarification of the objectives set to carry out the project and the respective justification of the reason for it.

Chapter two describes the methodology used, which is based on a study of the project conditions, the dimensioning of the elements placed in the module and the writing of the activities in accordance with the proposed objectives.

Chapter three details the steps taken, during and at the end of the project, all the elements used in the implementation are described with the respective tests before they help to demonstrate the operation of the module, in the same way an operation manual is created that helps to understand how the program works and manipulate the commands so as not to make mistakes when implementing the project.

Chapter four is the writing of the global conclusions and recommendations that were summed up in the development of the project.

KEYWORDS: Unipolar, Bipolar, Algorithm, Drivers, DC Motor.

1 INTRODUCCIÓN

Los motores DC y PAP son máquinas que convierten la energía eléctrica en energía mecánica provocando un movimiento rotatorio, debido a un efecto físico llamado electromagnetismo que es provocado cuando los electrones circulan por un conductor en espiral.

Los motores DC y PAP a pesar de funcionar con el mismo tipo de energía, estos se diferencian en: el número de cables, voltajes, corrientes y sus tamaños. Estos motores son ocupados en casi todos los equipos electrónicos, electrodomésticos y robóticos, en donde intervenga una acción mecánica. Los motores paso a paso tienen una participación muy importante en proyectos robóticos, porque proporciona exactitud, fuerza y la precisión que se necesita para cualquier trabajo industrial, esto se ve muy recalcado en las impresoras 3D, cortadoras láser y brazos robóticos de automatización, que son capaces de crear figuras con la precisión y exactitud que el ser humano no sería capaz de realizar.

El objetivo del proyecto es implementar un módulo para el control de motores DC y motores PAP, el cual permita al estudiante conocer las principales funciones de los motores y las aplicaciones que estos tienen.

En el Anexo 1 se adjunta el certificado de aprobación del módulo de control, el cual avala que este proyecto se encuentra funcionando de forma correcta.

1.1 Objetivo general

Implementar módulos de control didácticos para motores a pasos unipolares, bipolares y DC.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio de requerimientos y condiciones del sistema.
- Realizar la estructura del módulo.
- Realizar el sistema eléctrico y electrónico.
- Desarrollar los algoritmos de control.
- Realizar pruebas de implementación y análisis de resultados.
- Elaborar un plan de uso y mantenimiento del módulo de control.

2 METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la metodología usada

El objetivo del proyecto es implementar un módulo didáctico para el control de motores a pasos unipolares, bipolares y DC el cual cuenta con la información necesaria para que los estudiantes puedan entender el funcionamiento de estos motores con sus respectivos modos de trabajo que son: la puesta en marcha, el control de velocidad, control de sentido de giro, el apagado, selección de secuencia de paso y el desplazamiento del ángulo deseado del motor, este control se lo realiza mediante el microcontrolador Arduino.

Para alcanzar los objetivos específicos del módulo de control se procedió de la siguiente manera:

Se realizó un análisis de requerimientos para determinar las condiciones del funcionamiento de los motores, además de la selección de los elementos electrónicos de entrada y salida para comandar el módulo de control. El proyecto cuenta con 3 pantallas LCD que ilustran los menús principales de los motores, en donde se permite seleccionar el modo de trabajo requerido mediante la navegación de teclados matriciales.

El módulo de control cuenta con elementos electrónicos como pantallas LCD para visualizar los estados de los motores, teclados matriciales para activar y desactivar los modos de trabajo y sensores para condicionar las funciones de los motores.

Se elaboró un diseño en 2D que indica las dimensiones del módulo y un diseño en 3D el cual ayuda a visualizar como están distribuidos e instalados los elementos electrónicos para proceder con el último paso que es la implementación del módulo de control. El diseño se ha desarrollado con el programa AutoCAD, por su facilidad de crear y dimensionar piezas y figuras.

Para la implementación del sistema de control el mando de cada uno de los motores se lo realiza mediante el Arduino, que es un microcontrolador que facilita el control de cualquier actuador. Se desarrolla el algoritmo que ejecuta el control deseado regulando los parámetros de velocidad, sentido de giro, la puesta en marcha, apagado y desplazamiento angular deseado en los actuadores, sin embargo, este control no se lo hace de manera directa, si no con una etapa de potencia.

Para el dimensionamiento de la fuente de alimentación, el fusible se lo dimensiona en función de la corriente de la carga del secundario, utilizando el método de relación de transferencia de potencia, luego se procede a la etapa de rectificación e donde se dimensiona el capacitor, el disipador de calor, el regulador, las resistencias en función del voltaje y la corriente requerida. En el módulo para el dimensionamiento de conductores se dimensionan bajo el criterio de 125% de corriente nominal máxima

En las pruebas de implementación se procede activando todos los modos de trabajo, buscando potenciales fallas al momento de activar las funciones de los motores, con la finalidad de comprobar que los algoritmos compilados se estén ejecutando de forma correcta y según lo deseado. También se cuenta con una función de reinicio con la finalidad de borrar algún dato guardado por error.

Se elabora un manual de uso y mantenimiento que consiste en una explicación para dar a conocer todas las funciones de los diferentes motores y la forma de poner en marcha el módulo de control.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El módulo cuenta con 4 fuentes de alimentación para su correcto funcionamiento. Las dos primeras fuentes son construidas con valores de 5 (V_{DC}) y 12 (V_{DC}) con una corriente de 1 (A) cada una, se las utiliza de la siguiente manera:

- La fuente de 5 (V_{DC}) alimenta: Placas de Arduino, módulos de motores y placas PCB
- La fuente de 12 (V_{DC}) alimenta: Motor DC de 12 (V_{DC})

Las dos segundas fuentes son comerciales con valores de 6 (V_{DC}) a 2 (A) y 12 (V_{DC}) con una corriente de 2.5 (A) cada una que se las utiliza de la siguiente manera:

- Fuente de 6 (V_{DC}) a 2 (A) para alimentar el motor unipolar.
- La fuente de 12 (V_{DC}) a 2.5 (A) para alimentar el motor bipolar.

El módulo está programado para ejecutar funciones que permiten a los estudiantes evidenciar el funcionamiento de los diferentes tipos de motores, con la intención de generar futuras aplicaciones o proyectos ligados a la robótica. Este módulo tiene el objetivo de emplear y aplicar trabajos como la inicialización de los motores, sentido de giro, control de velocidad, frenado, selector de secuencia de paso, aceleración, desaceleración y el control de desplazamiento angular. Estos movimientos van a ser inicializados mediante el teclado matricial y se lo explica de la Figura 3.1 a la Figura 3.3.

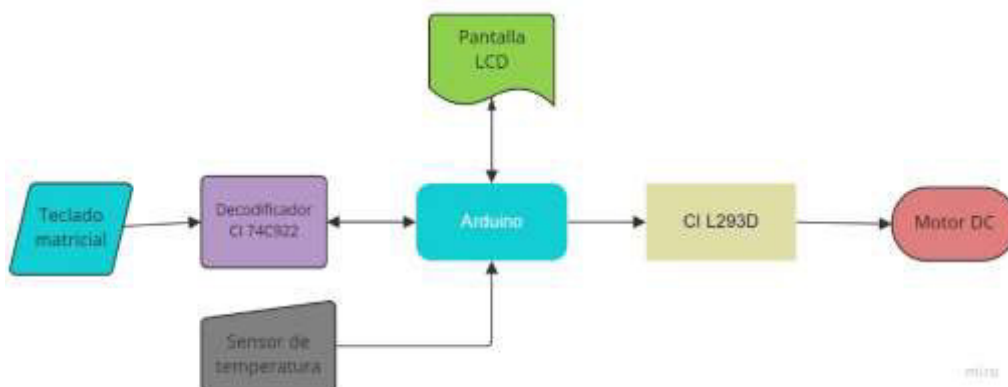


Figura 3.1 Diagrama de bloques del módulo de control del motor DC

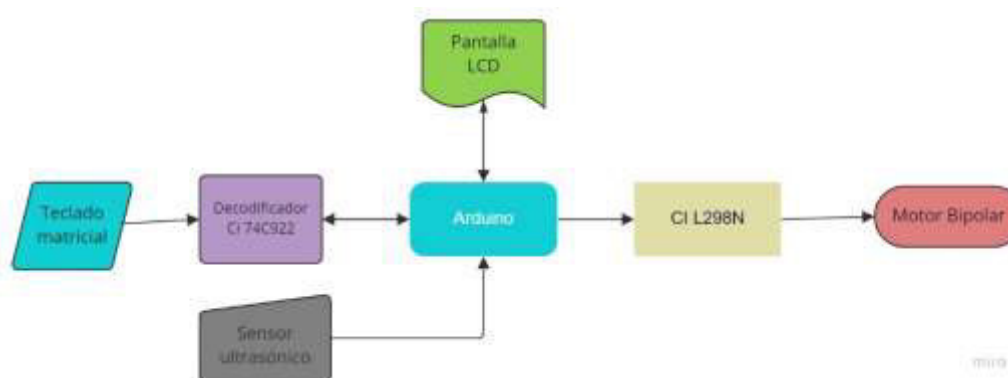


Figura 3.2 Diagrama de bloques del módulo de control del motor bipolar

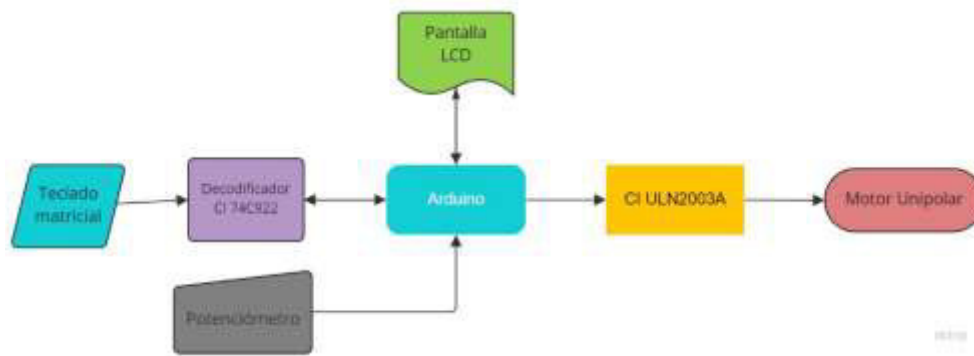


Figura 3.3 Diagrama de bloques del del módulo de control del motor unipolar

Cada motor tiene su respectivo microcontrolador, pantalla LCD y teclado matricial, que son elementos principales para el diseño del módulo de control. Los dos últimos elementos permiten visualizar y seleccionar el modo de trabajo deseado.

Los motores paso a paso tienen 3 maneras de inicializarlos, la primera es mediante la secuencia de paso a paso, la segunda es la secuencia de medio paso y la tercera es la secuencia de paso doble, tal como se explica a continuación:

Motor paso a paso (PAP)

Los motores paso a paso (PAP) presentan la cualidad de tener un desplazamiento angular graduado, esto significa que conforme se vaya alimentando cada bobina el rotor se desplazará la porción de la que se está alimentando, esto provoca un desplazamiento angular llamado paso a paso. Estos motores PAP están contruidos con un imán permanente y se los pueden clasificar en 2 tipos, unipolares y bipolares [1] [2].

Motor Unipolar

Su principio de funcionamiento está basado en que su estator está construido por varios bobinados unidos por un material ferromagnético y un rotor que gira. Se caracteriza por tener un polo negativo común utilizando de esta manera de 5 a 6 cables para su alimentación, su configuración se muestra en la Figura 3.4 [3].

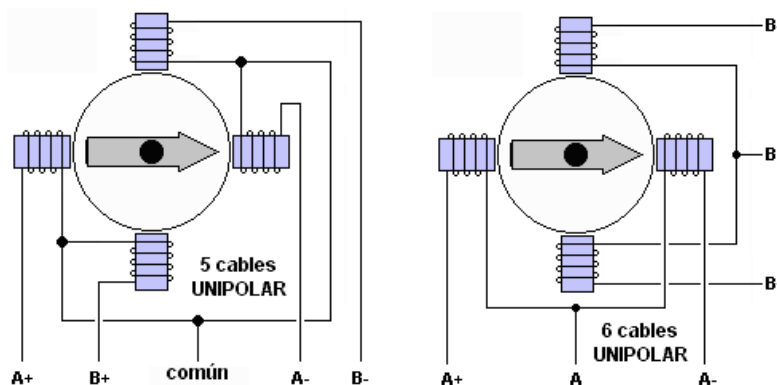


Figura 3.4 Esquema del motor Unipolar de 5 y 6 cables, [4].

Motor Bipolar

Su principio es el mismo del motor unipolar, se caracteriza por no tener un polo negativo común utilizando así únicamente 4 cables de alimentación, su configuración se muestra en la Figura 3.5. [3].

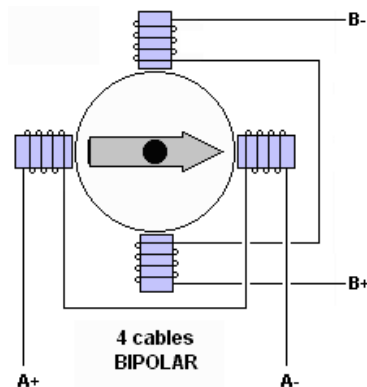


Figura 3.5 Esquema del motor bipolar [4]

Para activar los motores PAP se utilizan tres métodos que se detallan a continuación:

Método 1: Secuencia paso a paso.

En la Tabla 3.1 se tiene un funcionamiento en sentido horario con un torque bajo, se conoce como secuencia de paso a paso.

Tabla 3.1 Método de arranque de paso a paso.

Secuencia paso a paso								
Paso Bobina	1	2	3	4	5	6	7	9
1 a	1	0	0	0	1	0	0	0
1 b	0	1	0	0	0	1	0	0
2 a	0	0	1	0	0	0	1	0
2 b	0	0	0	1	0	0	0	1

Método 2: Secuencia de medio paso.

En la Tabla 3.2 se tiene un funcionamiento en sentido horario, este arranque produce el torque más alto de todos los demás tipos, pero con un aumento del doble de pasos, es el más eficiente de los demás tipos de arranque y se lo conoce como “secuencia de medio paso”.

Tabla 3.2 Método de arranque por medio paso.

Secuencia de medio paso								
Paso Bobina	1	2	3	4	5	6	7	8
1a	1	1	0	0	0	0	0	1
1 b	0	1	1	1	0	1	0	0
2a	0	0	0	1	1	1	0	0
2 b	0	0	0	1	0	1	1	1

Método 3: Secuencia de paso doble

En la Tabla 3.3 se tiene el funcionamiento en sentido horario con un torque medio, es un método eficiente y se lo conoce como secuencia de paso doble.

Tabla 3.3 Método de arranque de secuencia de paso doble.

Secuencia de doble paso								
Paso \ Bobina	1	2	3	4	5	6	7	8
1a	1	0	0	1	1	0	0	1
1b	1	1	0	0	1	1	0	0
2a	0	1	1	0	0	1	1	0
2b	0	0	1	1	0	0	1	1

Como los motores consumen altas corrientes se necesita la etapa de potencia para soportar las condiciones de funcionamiento de cada máquina como se observa en la Figura 3.6 y la Figura 3.7

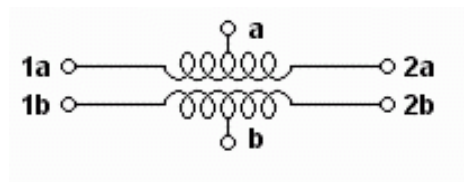


Figura 3.6 Diagrama eléctrico de las bobinas del motor

La etapa de potencia de cada motor DC y PAP está conformado por transistores y diodos que tienen la misión de suministrar al motor con voltajes y corrientes elevadas a partir de pulsos eléctricos, como se muestra en la Figura 3.7 [5].

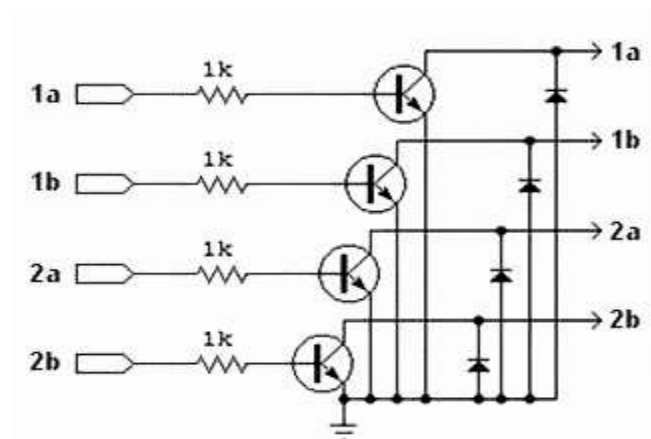


Figura 3.7 Diagrama eléctrico de potencia para la alimentación del motor. [4]

En esta etapa de potencia se ocupan elementos controladores de motores que son básicamente placas electrónicas o circuitos integrados compuestas de transistores y diodos de una manera más compacta y ya dimensionada para trabajar en un rango de trabajo.

En la Tabla 3.4 se presenta los materiales utilizados en el módulo de control de motores.

Tabla 3.4 Lista de materiales del módulo de control.

<i>Materiales</i>	<i>Función</i>
Motor DC de 12 (V _{DC})	Elemento final de control.
Motor PAP 5 (V _{DC}) unipolar	Elemento final de control.
Motor PAP 12 (V _{DC}) bipolar	Elemento final de control.
L298N, controlador	Circuito modular de control de motores.
Potenciómetro de 1 (K Ω)	Resistencia variable para el control de velocidad del motor DC y control cerrado para los motores PAP.
L293D, controlador	Circuito modular de control de motores.
CI 74c922, decodificador	Decodificador del teclado matricial, indica que tecla se pulsa configurado como entrada del al Arduino
Teclado matricial 4x4	Elemento de entrada que permite activar y desactivar los modos de trabajo
Pantalla LCD 20x4	Elemento electrónico que muestra el estado del motor, indica si está activado, desactivado o si cumple alguna otra función el motor.
LM35, regulador	Sensor de temperatura que controla al motor DC por medio del Arduino.
Sensor ultrasónico HC-SR04	Sensor de distancia del módulo de control unipolar.
Tip 122, transistor	Transistor de potencia.
Extensión de cable de puerto USB	Conector del puerto para la comunicación serial y usado para la compilación de algoritmos.
Interruptor de paso	Energizar y desenergizar la alimentación de los módulos y motores.
Fusible y Fusilera	Sistema de protección contra corto circuitos.
Diferentes cables	La conexión de las placas PCB con los motores, el Arduino y la fuente de alimentación.
Placa PCB	Placa electrónica para conectar los dispositivos como la pantalla LCD, los controladores del motor, potenciómetros, los sensores, drivers, decodificador, y borneras.
Arduino Uno	El microcontrolador se encarga de realizar el control de los actuadores en funciones de los dispositivos de entrada.

A continuación, se presenta el menú de funciones de cada uno de los motores del módulo de control, adjunto a la tabla de explicación.

En la Figura 3.8 se muestra el menú de funciones del motor DC y en la Tabla 3.5 la explicación de cada función.

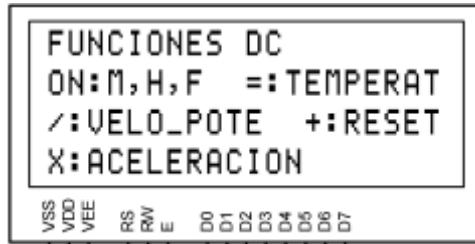


Figura 3.8 Menú de funciones del motor DC.

En la siguiente tabla se exponen las funciones que cumplen los pulsadores del teclado matricial en la sección del motor DC.

Tabla 3.5 Descripción del menú de funciones del motor DC

Menú de funciones del motor DC	
Tecla	Función
"="	Se realiza un control en función de temperatura, se ingresan de 2 valores en donde permite encender o apagar el motor DC
"ON"	Dependiendo del número de pulsaciones se realiza: Pulsación 1: Marcha en sentido horario. Pulsación 2: Marcha en sentido antihorario. Pulsación 3: Frenado del motor salto al menú principal.
"_"	El motor arranca al 100% de su velocidad y progresivamente va desacelerando.
"+"	Pulsador de RESET, borra todos los datos ingresados y dirige al menú principal.
"X"	El motor arranca a 0% y progresivamente se va acelerando hasta llegar al 100% de su velocidad nominal.
"/"	Pulsación 1: Control de velocidad del motor en sentido horario. Pulsación 2: Control de velocidad del motor en sentido antihorario. Pulsación 3: Reinicio y se dirige al menú principal.

En la Figura 3.9 se muestra el menú de funciones del motor bipolar y en la Tabla 3.6 la explicación de cada función.



Figura 3.9 Menú de funciones del motor bipolar.

En Tabla 3.6 se exponen las funciones que cumplen los pulsadores del teclado matricial en la sección del motor bipolar.

Tabla 3.6 Descripción del menú de funciones del motor a pasos bipolar

Menú de funciones del motor bipolar	
Tecla	Función
"="	Pulsación 1: Control de lazo cerrado, con el uso del teclado matricial se ingresa un valor y el motor PAP se desplaza al valor de referencia ingresado. Pulsación 2: Reinicio y salto al menú principal
"ON"	Pulsación 1: Secuencia de paso doble de 200 pasos sentido horario. Pulsación 2: Secuencia de paso doble de 200 pasos sentido antihorario.
"_"	Selección de secuencia de paso. <ol style="list-style-type: none"> 1. Secuencia un paso. 2. Secuencia de medio paso. 3. Secuencia de paso doble.
"+"	Reinicio de funciones y salto al menú principal
"X"	Control por sensor de distancia, comparación de valor ingresado y el valor censado
"/"	Con 5 pulsaciones se desplaza 36° hasta llegar a los 180°.

En la Figura 3.10 se muestra el menú de funciones del motor bipolar y en la Tabla 3.7 la explicación de cada función.

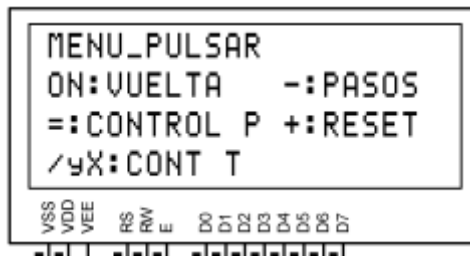


Figura 3.10 Menú de funciones del motor unipolar.

En la siguiente tabla se exponen las funciones que cumplen los pulsadores del teclado matricial en la sección del motor unipolar.

Tabla 3.7 Menú de funciones del motor unipolar

Menú de funciones del motor unipolar	
Tecla	Función
"="	Pulsación 1: Control de lazo cerrado en función del potenciómetro, se varía la resistencia el motor PAP se desplaza al valor de referencia ingresado. Pulsación 2: Reinicio, dirige al menú principal.
"ON"	Pulsación 1: Secuencia de paso doble, vuelta completa. Pulsación 2: Termina la vuelta y salto al menú principal.
"_"	Selección de secuencia de paso. <ol style="list-style-type: none"> 1. Secuencia un paso. 2. Secuencia de medio paso. 3. Secuencia de paso doble.
"+"	Reinicio del sistema se dirige al menú principal.
"X"	Control de lazo cerrado, con el uso del teclado matricial se ingresa un valor y el motor PAP se desplaza al valor de referencia ingresado.
"/"	Control de velocidad del motor unipolar.

3.1 Estudio de requerimientos y condición del sistema

Para la implementación del módulo de control de motores, se deben determinar que requerimientos y que condiciones permiten tener un correcto funcionamiento del módulo.

Principalmente se requieren de los siguientes elementos:

- Fuentes de alimentación de 5 (V) y 12 (V)
- Placas de Arduino
- Motores DC y PAP
- Pantallas LCD
- Módulos de control de motores
- Sensores de control
- Plancha de policarbonato
- Potenciómetros.

Con la conexión de estos componentes más el algoritmo de control se desarrolla el módulo deseado.

Presentación de los parámetros de los motores.

A continuación, se presentan los datos técnicos de los motores DC, Unipolar y Bipolar seleccionados cuyas características se muestran de la Tabla 3.8 a la Tabla 3.10.

En la Tabla 3.8 se presenta los datos técnicos del motor DC.

Tabla 3.8 Datos técnicos del motor DC [6].

Descripción	Valor	Unidades
Voltaje nominal	12	(V _{DC})
Corriente	0.5	(A)

En la Figura 3.11 se presenta el modelo del motor DC.



Figura 3.11 Motor DC 12 (V_{DC}). [6]

En la Tabla 3.9 Se presentan los datos técnicos del motor bipolar.

Tabla 3.9 Datos técnicos del motor bipolar [7].

Descripción	Valor	Unidades
Voltaje nominal	5	(V _{DC})
Corriente	1	(A)

Se presenta en la Figura 3.12 el modelo del motor bipolar.



Figura 3.12 Motor nema 17. [7]

En la Tabla 3.10 Se presentan los datos técnicos del motor unipolar.

Tabla 3.10 Datos técnicos del motor unipolar [8].

Descripción	Valor	Unidades
Voltaje nominal	5	(V _{DC})
Corriente	0.2	(A)

Se presenta en la Figura 3.13 el modelo del motor unipolar.



Figura 3.13 Motor unipolar 28BYJ-48-5V. [8]

Los motores DC y PAP necesitan voltajes y corrientes más elevadas para ser inicializados, para esto se debe recurrir a elementos de potencia que manejen estos valores, debido a que el Arduino es incapaz de proveer la energía suficiente para inicializar un motor, es necesario ocupar un controlador para motores DC y PAP, debido a que estos dispositivos que manejan cargas de potencia media, a través de pequeños impulsos eléctricos.

Requerimientos y condiciones para el control de los motores.

A continuación, se presentan los módulos a utilizar en la implementación.

Integrado L298N: Es una placa electrónica que se utiliza para alimentar a los motores DC y PAP. En la Tabla 3.11 se visualiza las especificaciones técnicas y en la Figura 3.14 se muestra la placa electrónica.

El circuito integrado L298N presenta las siguientes características:

- Controla motores PAP de 2 fases o 4 fases.
- Tiene entradas de habilitación (EN) para regular la velocidad en los motores DC.

- Tiene pines de alimentación que controlar el sentido de giro.
- Trabaja con 2 alimentaciones, una para el circuito integrado y otra para alimentar el motor.

Tabla 3.11 Especificaciones del circuito integrado L298N [9].

Característica	Valor	unidades
V_{PUENTE}	12	(V)
$V_{SIN PUENTE}$	(3-46)	(V)
I_{MAX}	2	(A)
Potencia	25	(W)
$V_{ENTRADA}$	5	(V)

En la Figura 3.14, se presenta el circuito interago del controlador de motores L298N con la ubicación de sus pines de entrada, salida y alimentacion.

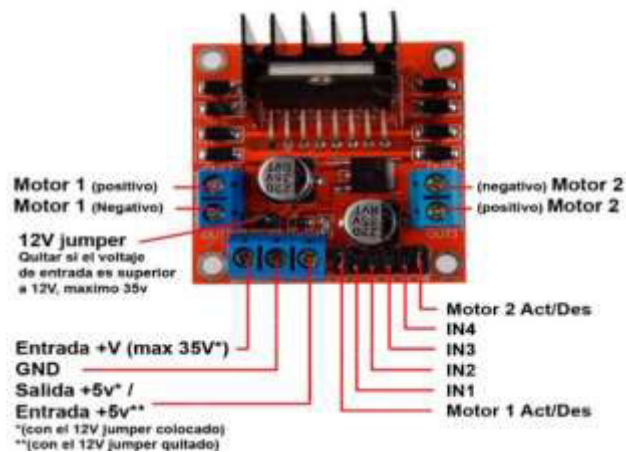


Figura 3.14 Circuito integrado L298N dedicado para el control de motores PAP y DC [9].

Integrado L293D: Es una placa electrónica que es utilizada para alimentar a los motores DC y PAP. En la Tabla 3.12 se visualizan las especificaciones técnicas y en la Figura 3.15 el circuito integrado. El L293D presenta las siguientes características.

- Tiene entradas de habilitación (EN) para regular la velocidad en los motores DC.
- Tiene pines de alimentación que controlar el sentido de giro.
- Trabaja con 2 alimentaciones, una para el circuito integrado y otra para alimentar el motor.
- El L293D puede utilizar hasta 4 motores DC.

Tabla 3.12 Especificaciones del circuito integrado L293D [10].

Característica	Valor	unidades
$V_{(OUT) JUMPER}$	12	(V)
Voltaje $SIN JUMPER$	(4.5-36)	V
I_{MAX}	600	(mA)
Potencia	25	(W)
V_{IN}	5	(V)

A continuación, se presenta el diagrama de conexiones del circuito integrado L293D.

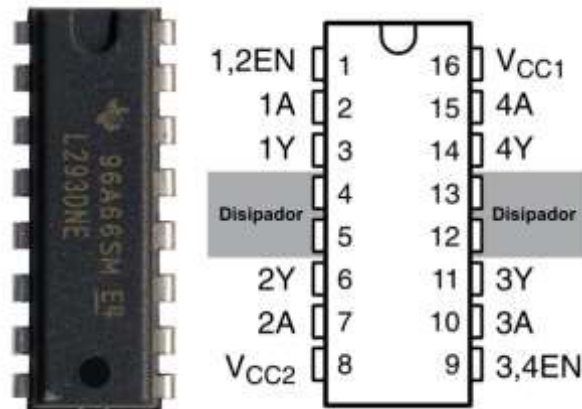


Figura 3.15 Circuito integrado del L293D [10].

Integrado ULN 2003A: Es un integrado muy versátil, está desarrollado para manejar un rango de cargas que incluyen bobinas de relés, motores paso a paso, tiras led y buffer de alta potencia en la Tabla 3.13 se muestra las especificaciones técnicas [11].

Tabla 3.13 Especificaciones técnicas del TIP 122 [12].

Característica	Valor	Unidades
$V_{(OUT_max)}$	50	(V)
$V_{(IN)}$	5	(V)
$I_{(OUT)}$	500	(mA)

En la Figura 3.16, presenta el diagrama eléctrico interno y los pines de conexión con la configuración Darlington del integrado ULN2003.

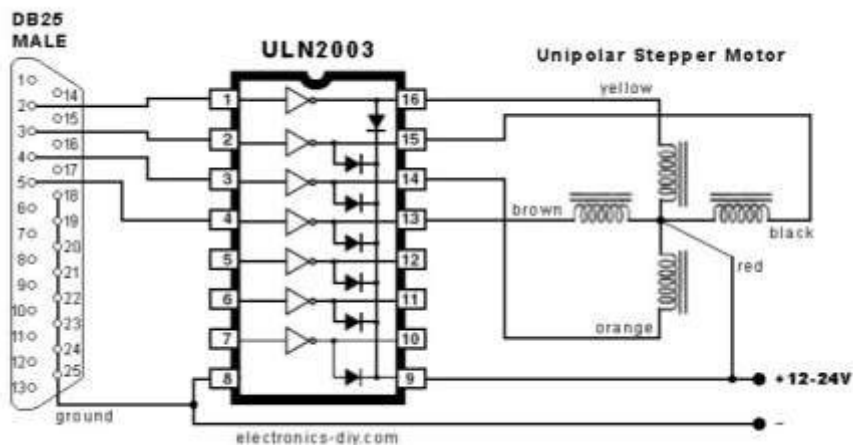


Figura 3.16 Encapsulado del circuito integrado ULN2003 [12].

3.2 Estructura del módulo

Se utilizó el programa de AutoCAD para crear el diseño del módulo en 2D y 3D que sirve como guía para la construcción de este. La estructura está pensada para albergar todos los elementos que se mencionan a lo largo de este documento, por ejemplo, la instalación de placas PCB,

sensores y demás elementos electrónicos con la finalidad de cumplir con el correcto funcionamiento. Se optó por este programa ya que facilita el uso de todos los elementos a escala real, lo que permite saber de manera rápida y segura todas las dimensiones del módulo.

En la Tabla 3.14 se presenta la lista de materiales utilizados en la implementación del módulo de control con la respectiva evaluación de costos.

Tabla 3.14 Tabla de materiales a utilizarse en el módulo.

Lista de materiales para la implementación del módulo de control de motores			
Materiales	Cantidad	Costo (USD)	Total (USD)
Motor DC de 12 (V _{DC})	1	3.5	3.5
Motor PAP 5 (V _{DC}) unipolar	1	5.5	5.5
Motor PAP 12 (V _{DC}) bipolar	1	16	16
Decodificador CI 74c922	1	5	5
Potenciómetro de 1K Ω	5	0.75	3.75
Teclado matricial 4x4	3	5.44	16.32
Controlador L298N	1	1.5	1.5
Controlador L293D	1	1.5	1.5
Controlador ULN2003A	1	1	1
Pantalla LCD 20x4	3	10	30
Sensor LM35	1	2	2
Sensor ultrasónico HC-SR04	1	2.25	2.25
Conector banana M/H	16	0.25	4
Interruptor de paso	2	0.75	1.5
Fusible y fusilera	2	0.75	1.5
Policarbonato	1	50	50
Jumper AWG 20 M/M	120	0.1	12
Jumper AWG 20 M/H	100	0.1	10
Placa PBC A4	1	5.5	5.5
Arduino Uno	3	15	45
Transformador 1 (A)	1	3.5	3.5
Transformador 3 (A)	1	6.3	6,3
Regulador 7805	1	0.5	0.5
Regulador 7812	1	0.5	0.5
Puente de diodo	2	2	4
Diodo led	2	0.15	0.3
Capacitor 2200uf	1	0.5	0.5
Capacitor 4400uf	1	0.75	0.75
Diodo 1n4007	4	0.25	1
Borneras 2P	10	0.25	2.5
Cable 2 en 1 AWG 16	6	1.25	7.5
Capacitor 103	4	0.1	0.4
Resistencia 500 Ω	2	0.05	0.1

Lista de materiales para la implementación del módulo de control de motores			
Materiales	Cantidad	Costo (USD)	Total (USD)
Resistencia 1.5 Ω	2	0.05	0.1
Capacitor 1uf	6	0.15	0.9
Capacitor 10uf	6	0.2	1.2
Regleta pin	3	0.6	1.8
Papel foto transferible	5	0.75	3.75
		total	253.42

El costo del módulo de control de motores DC y PAP está valorado en 253.42 \$.

A continuación, en la Figura 3.17 se presenta el proyecto finalizado y en la Tabla 3.15 los principales elementos que constituyen el módulo de control.

El módulo de control se va a instalar en el laboratorio de Tecnología Industrial, es de uso didáctico para mostrar las aplicaciones y funcionamiento de los diferentes tipos de motores DC.

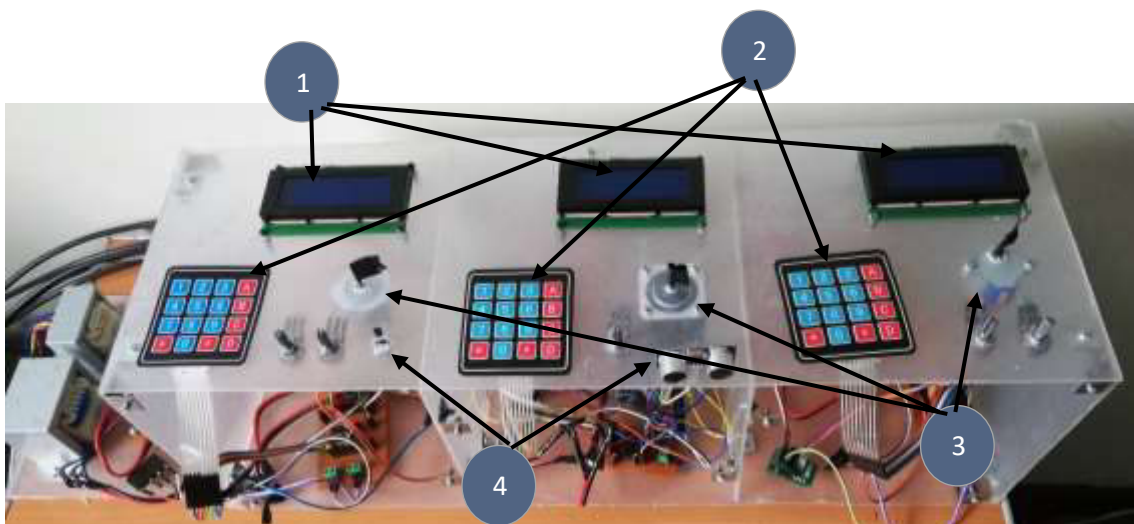


Figura 3.17 Identificación de las partes del módulo de control vista superior.

A continuación, en la Figura 3.17 y Figura 3.18 se indican las partes del módulo de control de motores en sus tres secciones. En la Tabla 3.15 se explica el funcionamiento.

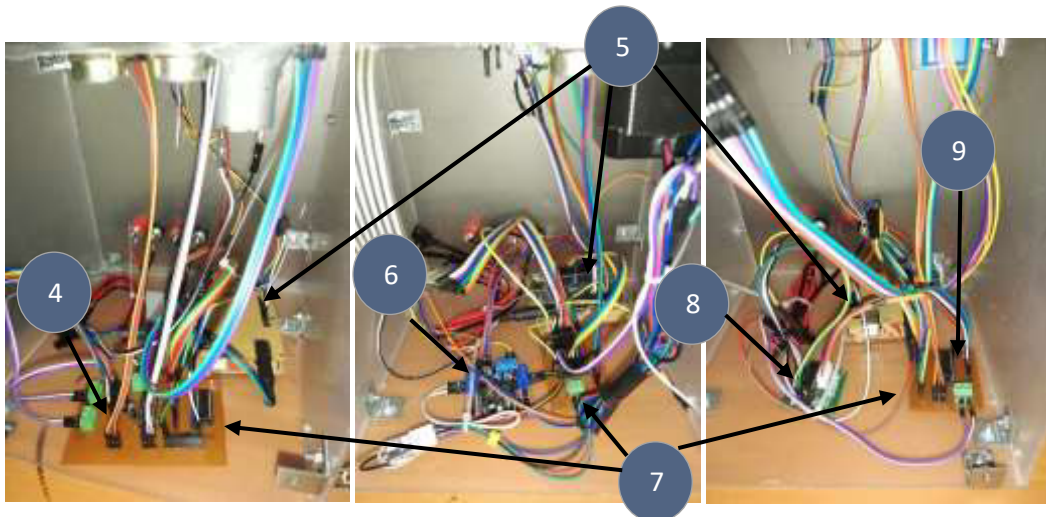


Figura 3.18 Identificación de las partes del módulo de control vista frontal.

Tabla 3.15 Partes del módulo de control de motores.

Módulo de control de motores DC, unipolar y bipolar		
N°	Elemento	Función
1	Pantalla LCD 20x4	Elemento de salida, muestra el estado del motor y la función que ejecuta.
2	Teclado matricial 4x4	Elemento de entrada para la lectura del Arduino.
3	Motores	Elemento final de control que se encuentra en función del microcontrolador.
4	Sensores	Elemento primario para el control cerrado y abierto de motores.
5	Microcontrolador Arduino	Toma las decisiones, controla al actuador en función de las señales de entrada.
6	L293D	Elemento de potencia que controla el motor unipolar.
7	CI 74922	Decodificador del teclado matricial para la lectura del Arduino.
8	CI 2003	Elemento de potencia que controla el motor unipolar.
9	CI L298N	Elemento de potencia que controla el motor DC

Para la construcción del módulo de control de motores en la Figura 3.19 se presentan las dimensiones de las paredes y el techo. Desde la Figura 3.20 a la Figura 3.23 se detallan los pasos para armar el módulo de control.

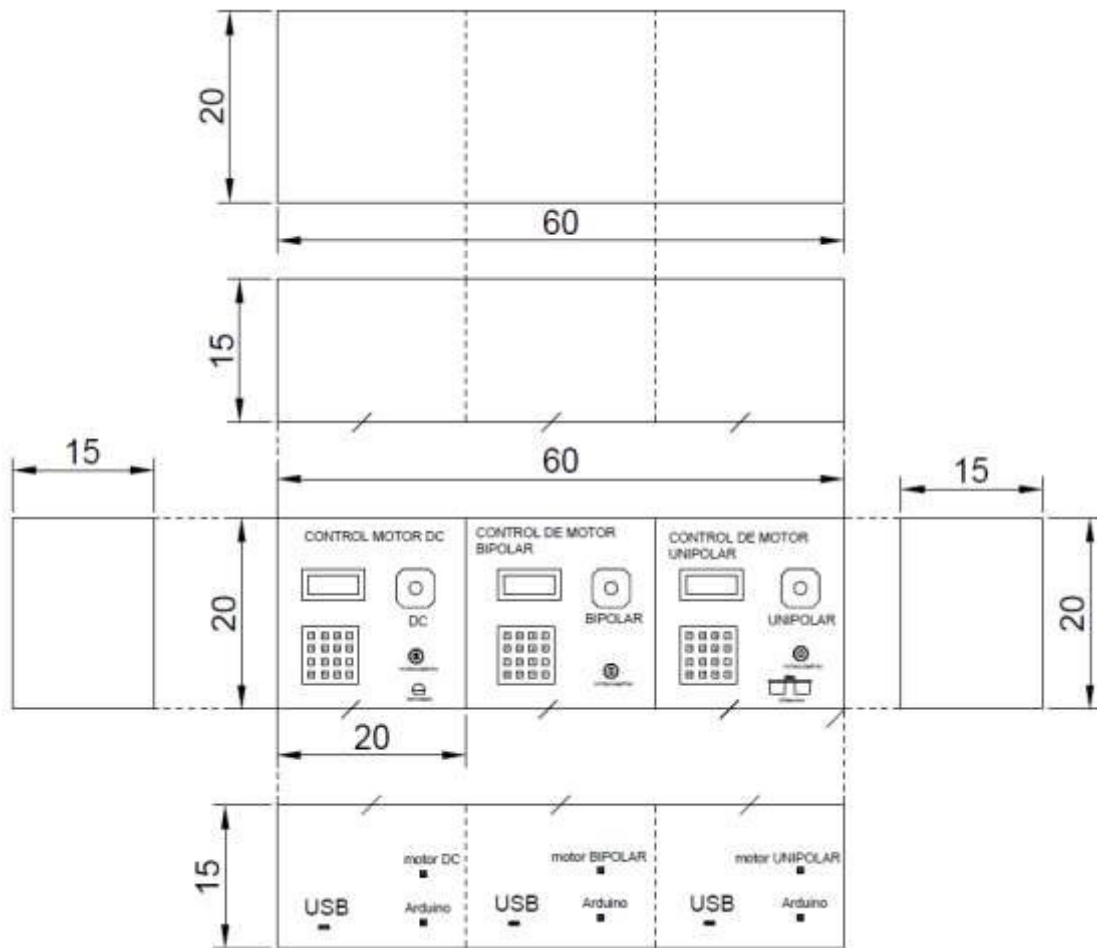


Figura 3.19 Esquema de dimensiones del módulo de control.

Proceso de ensamble.

1. Realizar los cortes en función del esquema del módulo de control de motores.

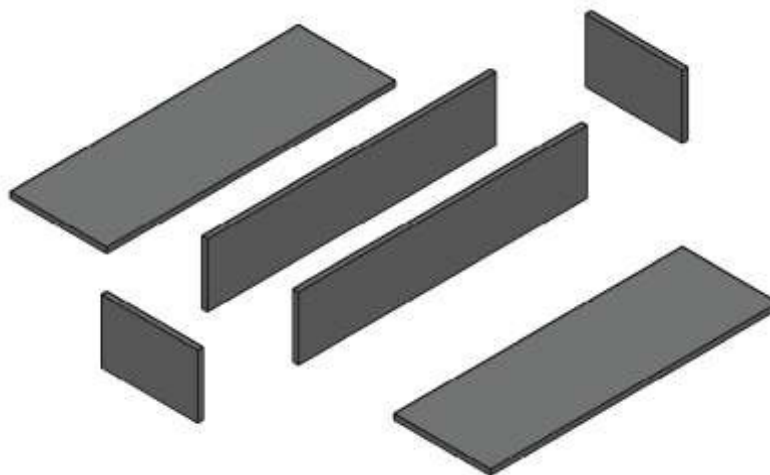


Figura 3.20 Policarbonato cortado según el esquema de dimensiones.

2. Unión de las piezas cortadas.

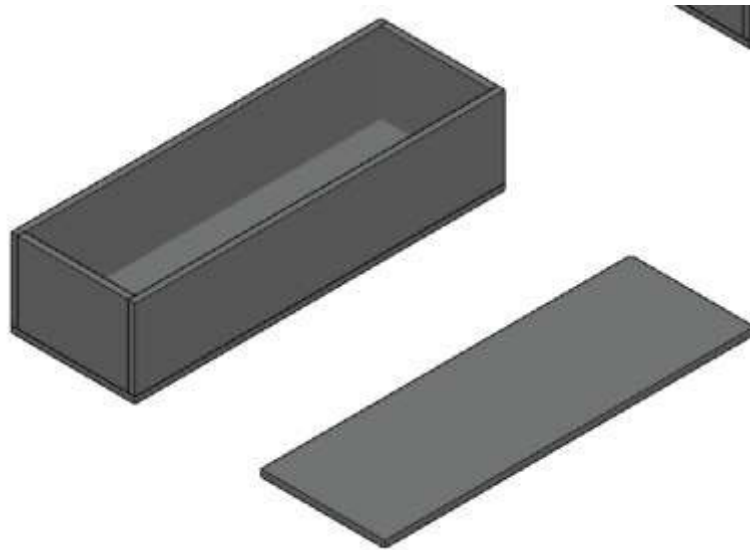


Figura 3.21 Ensamble del módulo de control de motores.

3. Realizar las aberturas para instalar los motores, los teclados matriciales, las pantallas LCD, potenciómetros, sensores, interruptores y conectores de alimentación en el módulo.

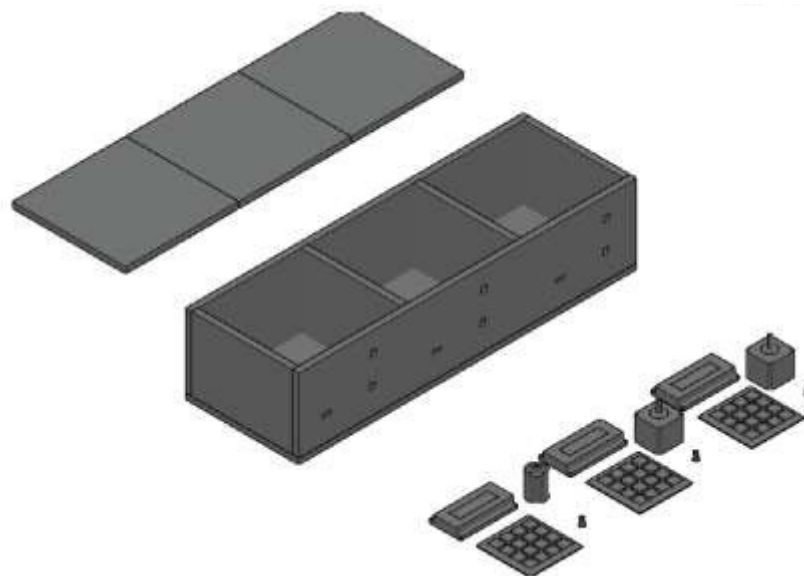


Figura 3.22 Cortes y unión de los elementos del módulo de control.

4. Instalación de los componentes en el módulo, estos deben estar perfectamente ajustados y sujetos en la estructura.

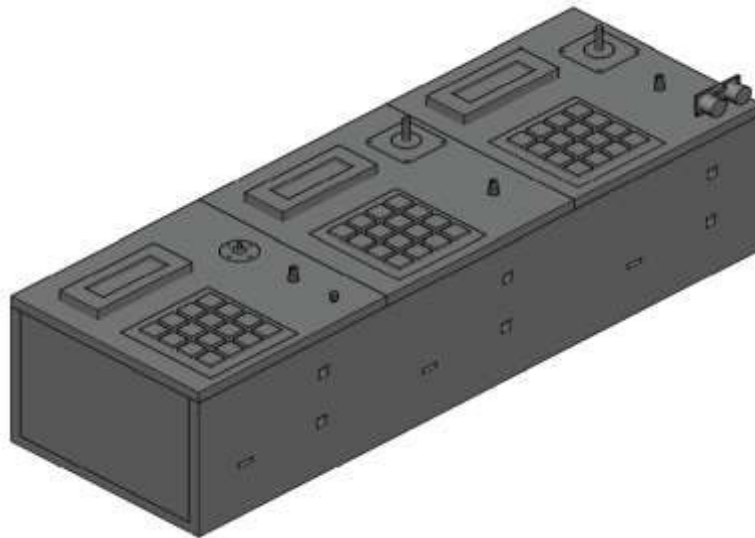


Figura 3.23 Estructura del módulo terminada.

En el Anexo 2 se presentan planos y esquemas de los módulos que conforman el proyecto.

3.3 Sistema eléctrico y electrónico

Para el sistema eléctrico se realizan los dimensionamientos de las fuentes de alimentación, determinando el valor de capacitancia, potencia disipada del regulador y selección del disipador de calor.

Para el diseño electrónico se hace uso del programa de Proteus, en donde se monta la simulación, se compila el programa para luego implementar de manera física.

Circuitos eléctricos de las fuentes de alimentación:

Para las dos fuentes de alimentación, se puede tomar la alimentación de cualquier tomacorriente de 120 (V_{AC}), estos van a dos transformadores que tienen una relación de 0.1 y 0.2 respectivamente como se presenta en la Figura 3.24 y en la Figura 3.26, esto es con la finalidad de obtener a la salida valores lineales que permitan alimentar a los diferentes tipos de motores y las placas electrónicas.

Dimensionamiento de la fuente de alimentación a 5 (V_{DC}).

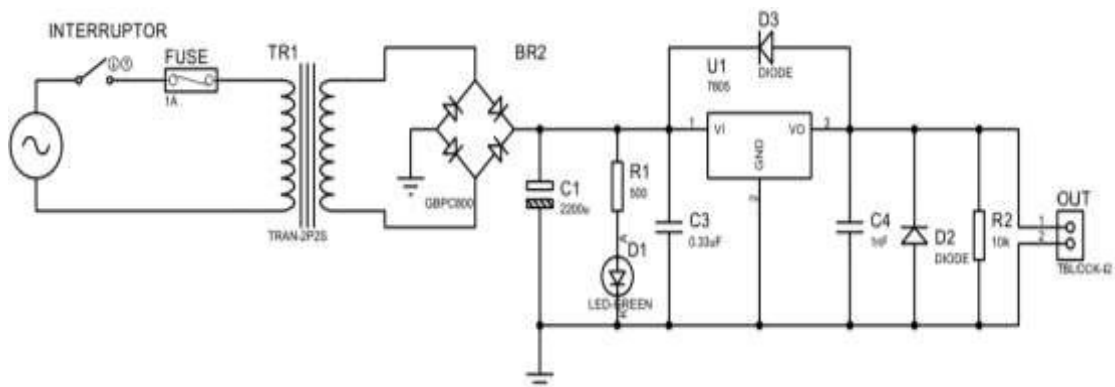


Figura 3.24 Simulación de la fuente de alimentación de 5 (V) y 1 (A).

Para el dimensionamiento de la fuente de alimentación se cuentan con los siguientes datos:

Un transformador esta alimentado a la entrada con 120 (V_{RMS}), una relación de 0.1 a una frecuencia de 60 (Hz) y con una corriente de salida de 1 (A).

El primer paso es calcular el valor del voltaje de rizado [13].

$$V_r = V_i(\sqrt{2}) - V_{\text{diodo}} - (V_o)$$

Ecuación 3.1 Voltaje de rizado

Donde:

V_r	=	(V)	Voltaje de rizado
V_i	=	9 (V)	Voltaje de entrada
V_{diodo}	=	1.7 (V)	Voltaje del diodo
V_o	=	5 (V)	Voltaje de salida

$$V_r = 2 (V)$$

Se obtiene un voltaje de rizado de 2 voltios pico a pico.

Para el cálculo del capacitor se lo realiza mediante la Ecuación 3.2.

El capacitor en una fuente rectificadora linealiza el voltaje para ser regulado por el 7805, para obtener el voltaje deseado a la salida [13].

$$C = \frac{I_{DC}}{2 \cdot f \cdot V_{pp}}$$

Ecuación 3.2 Cálculo del capacitor.

Donde:

V_{PP}	=	2 (V)	Voltaje pico a pico de rizado
I_{DC}	=	1 (A)	Corriente de salida
f	=	60 (Hz)	Frecuencia
C	=	(F)	Capacitancia

$$C = 2587.99\mu F \cong 2200 (\mu F)$$

Se debe instalar un capacitor de 2200 (μF) para la fuente de alimentación 1 y obtener a la salida un valor lineal de 5 (V_{DC}) a 1 (A).

Dimensionamiento del disipador de calor para el regulador de voltaje:

Para el cálculo del disipador de calor lo primero que se debe conocer es la potencia que está disipando el regulador de la fuente, para esto se ocupa la Ecuación 3.3. [14]

$$P_d = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{out}$$

Ecuación 3.3 Potencia disipada.

Donde:

V_{IN}	=	9 (V)	Voltaje de entrada.
----------	---	-------	---------------------

$V_{OUT} = 5 \text{ (V)}$ Voltaje de salida.
 $I_{OUT} = 1 \text{ (A)}$ Corriente máxima de salida.
 $P_d = \text{ (W)}$ Potencia disipada

Se obtiene una potencia de disipación de.

$$P_d = 4 \text{ (W)}$$

Cálculo de la temperatura del regulador.

Para calcular la temperatura del regulador se aplica la siguiente ecuación: [13]

$$T_j = T_a + P_{dis}(R_{th_{a-j}})$$

Ecuación 3.4 Temperatura del regulador.

Donde:

$R_{th_{a-j}} = 65 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right)$ Resistencia térmica entre la unión y el ambiente.
 $T_j = \text{ (}^{\circ}\text{C)}$ Temperatura interior de regulador
 $T_a = 25 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$ Temperatura ambiente.

La temperatura del regulador es:

$$T_j = 285 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

La temperatura es de 285 (°C) por lo tanto se necesita un disipador de calor para el regulador.

Dimensionamiento del disipador de calor del regulador.

Para calcular el disipador de calor se utiliza la siguiente ecuación: [13]

$$R_{th_{d-a}} = \left(\frac{T_j - T_a}{P_{dis}} \right) - (R_{th_{j-c}} + R_{th_{c-d}})$$

Ecuación 3.5 Resistencia del disipador al ambiente

Donde:

$R_{th_{a-j}} = 65 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ Resistencia térmica entre la unión y el ambiente.
 $T_{j_{max}} = 125 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$ Temperatura interior de transistor.
 $T_a = 25 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$ Temperatura ambiente.
 $R_{th_{j-c}} = 5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ Resistencia térmica del transistor.
 $R_{th_{c-d}} = 1 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ Resistencia térmica hasta el disipador de calor.
 $R_{th_{d-a}} = \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ Resistencia térmica del disipador.

$$R_{th_{d-a}} = 19 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right)$$

Se procede a la selección de un disipador que tenga una resistencia térmica menor a $19 \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right)$, [15].

Cálculo de la resistencia limitadora del led.

Se instala un led de verificación de funcionamiento. Para proteger el led se dimensiona una resistencia como se indica en la Ecuación 3.6

$$R_1 = \frac{V_{cap} - V_{led}}{I_{led}}$$

Ecuación 3.6 Resistencia de protección

Donde:

V_{CAP}	=	10 (V)	Voltaje del capacitor
V_{LED}	=	5 (V)	Voltaje del led
I_{LED}	=	0.010 (A)	Corriente de salida
R_1	=	(Ω)	Resistencia limitadora del led

$$R_1 = \frac{10(V) - 5(V)}{10(mA)} = 500 (\Omega)$$

Se instala una resistencia de un valor de 500 (Ω) para proteger al led. En la Figura 3.25 se muestra la placa de la fuente de 5 (V_{DC}).



Figura 3.25 Placa PCB de la fuente de 5 (V_{DC})

Dimensionamiento de la fuente de alimentación a 12 (V_{DC})

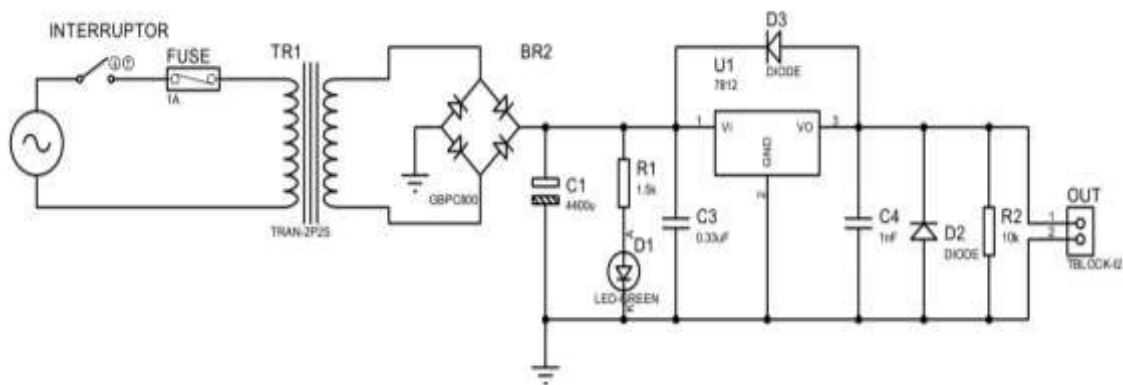


Figura 3.26 Fuente de alimentación de 12 (V) a 1 (A)

Para el dimensionamiento de la fuente de alimentación se cuentan con los siguientes datos:

Se tiene un transformador alimentado a la entrada con 120 (V_{RMS}) a 60 Hz, con una relación de 0.2 y con una corriente de salida de 1 (A).

El primer paso es calcular el valor del voltaje de rizado dado en la Ecuación 3.1.

Donde:

V_r	=	(V)	Voltaje de rizado
V_i	=	16 (V)	Voltaje de entrada
V_{diodo}	=	1.7 (V)	Voltaje del diodo
V_o	=	12 (V)	Voltaje de salida

$$V_r = 2.3 \text{ (V)}$$

Se obtiene un voltaje de rizado de 2.3 voltios pico a pico.

Para el cálculo del capacitor se lo realiza mediante la Ecuación 3.2. [13]

Donde:

V_{PP}	=	2.3 (V)	Voltaje de rizado.
I_{DC}	=	1 (A)	Corriente de salida.
f	=	60 (Hz)	Frecuencia.
C	=	(F)	Capacitancia.

$$C = 3623.18 \mu F \cong 4400 \text{ (}\mu F\text{)}$$

Se deben instalar dos capacitores de 2200 (μF) en paralelo o un capacitor de 4400 (μF) para la fuente de alimentación, para obtener a la salida un valor lineal de 12 (V_{DC}) a 1 (A).

Dimensionamiento del disipador de calor para el regulador de voltaje:

Para el cálculo del disipador de calor se ocupa la Ecuación 3.3 [13]

Donde:

V_{IN}	=	16 (V)	Voltaje de entrada.
V_{OUT}	=	12 (V)	Voltaje de salida.
I_{OUT}	=	1 (A)	Corriente máxima de salida.
P_d	=	(W)	Potencia disipada

Se obtiene una potencia de disipación de.

$$P_d = 7 \text{ (W)}$$

Cálculo de la temperatura del regulador.

Para calcular la temperatura del regulador se aplica la Ecuación 3.4: [13].

Donde:

$R_{th_{a-j}}$	=	$65 \left(\frac{^{\circ}C}{W} \right)$	Resistencia térmica entre la unión y el ambiente.
T_j	=	($^{\circ}C$)	Temperatura interior de regulador
T_a	=	25 ($^{\circ}C$)	Temperatura ambiente.

La temperatura del regulador es:

$$T_j = 480 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

La temperatura es de 480 (°C) por lo tanto se necesita un disipador de calor para el regulador.

Cálculo para el dimensionamiento del disipador de calor del transistor.

Para calcular el disipador de calor se utiliza la Ecuación 3.5: [13]

Donde:

$$\begin{aligned} R_{th_{a-j}} &= 65 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} && \text{Resistencia térmica entre la unión y el ambiente.} \\ T_{j_{max}} &= 125 \text{ (}^\circ\text{C)} && \text{Temperatura interior de transistor.} \\ T_a &= 25 \text{ (}^\circ\text{C)} && \text{Temperatura ambiente.} \\ R_{th_{j-c}} &= 3 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} && \text{Resistencia térmica del transistor.} \\ R_{th_{c-d}} &= 1 \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} && \text{Resistencia térmica hasta el disipador de calor.} \\ R_{th_{d-a}} &= \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} && \text{Resistencia térmica del disipador.} \end{aligned}$$

$$R_{th_{d-a}} = 10.28 \left(\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right)$$

Se procede a la selección de un disipador que tenga una resistencia térmica menor a $10.28 \left(\frac{^\circ\text{C}}{\text{W}} \right)$ [15]

Cálculo de la resistencia limitadora del led.

Se instala un led de verificación de funcionamiento. Para proteger el led se dimensiona una resistencia como se indica en la Ecuación 3.6 [13]

Donde:

$$\begin{aligned} V_{CAP} &= 19 \text{ (V)} && \text{Voltaje del capacitor} \\ V_{LED} &= 5 \text{ (V)} && \text{Voltaje del led} \\ I_{LED} &= 0.010 \text{ (A)} && \text{Corriente de salida} \\ R1 &= (\Omega) && \text{Resistencia limitadora del led} \end{aligned}$$

$$R1 = \frac{19\text{(V)} - 5\text{(V)}}{10\text{(mA)}} = 1.4 \text{ (k}\Omega) \approx 1.5\text{(k}\Omega)$$

Se instala una resistencia de 1.5 (kΩ) para proteger el led. En la Figura 3.27 se muestra la placa de la fuente de 12 (V_{DC}).



Figura 3.27 Placa de la fuente de 12 (V_{DC})

Dimensionamiento del fusible de protección de la fuente de alimentación de 12 (V_{DC}):

Para el dimensionamiento del sistema de protección se lo realiza en función del voltaje y corriente que consumen las 3 placas de Arduino, sabiendo que cada placa consume 200 (mA) a 5 (V_{DC}), se obtiene una corriente de 800 (mA). Para el cálculo de la corriente de entrada se lo hace en función de la relación de transferencia de potencia, se desprecian las corrientes parásitas y perdidas en el núcleo, se usa la Ecuación 3.7 [14]

$$I_{in} = \frac{V_{out}(I_{out})}{V_{in}}$$

Ecuación 3.7 Corriente del devanado primario

Donde:

- V_{in} = 120 (V_{RMS}) Voltaje eficaz
- I_{in} = (A) Corriente de entrada
- V_{out1} = 16 (V) Volate eficaz del devanado secundario
- V_{out2} = 33 (V) Volate eficaz del devanado secundario
- I_{out} = 1 (A) Corriente de salida

- Caso1: Valor del fusible de la fuente de alimentación de 5 (V)

$$I_{in} = 0.133 (A)$$

- Caso2: Valor del fusible de la fuente de alimentación de 12 (V)

$$I_{in} = 0.275 (A)$$

Se deben instalar los fusibles con el valor del inmediato superior, en el caso 1 con un fusible de 150 (mA) a un voltaje de 125 (V_{AC}) y el caso 2 con un fusible de 300 (mA) a un voltaje de 125 (V_{AC}) por ser de valores comerciales.

Dimensionamiento electrónico de los conductores de alimentación:

Para dimensionar los conductores para el módulo de control, los cables deben soportar por lo menos el 125% del valor de la corriente nominal de carga. Para esto se aplica la Ecuación 3.8 . [15] [16]

$$I_{conduc} = I_{carga} \cdot (1.25)$$

Ecuación 3.8 Corriente del conductor.

Donde:

- I_{conduc} : Corriente del conductor
- I_{carga} : Corriente de carga

En la Tabla 3.16 se presenta la selección del conductor para la fuente de alimentación.

Tabla 3.16 Selección del cable para la fuente de alimentación

TABLA DE CORRIENTES VS ÁREAS				
Uso del cable	I nominal (A)	I conductor (A)	AWG	AWG (norma)
Fuente de alimentación	1	1,25	20	20

Diseño electrónico del módulo de control del motor DC

En la Figura 3.28 se presenta la simulación electrónica del módulo de control del motor DC.

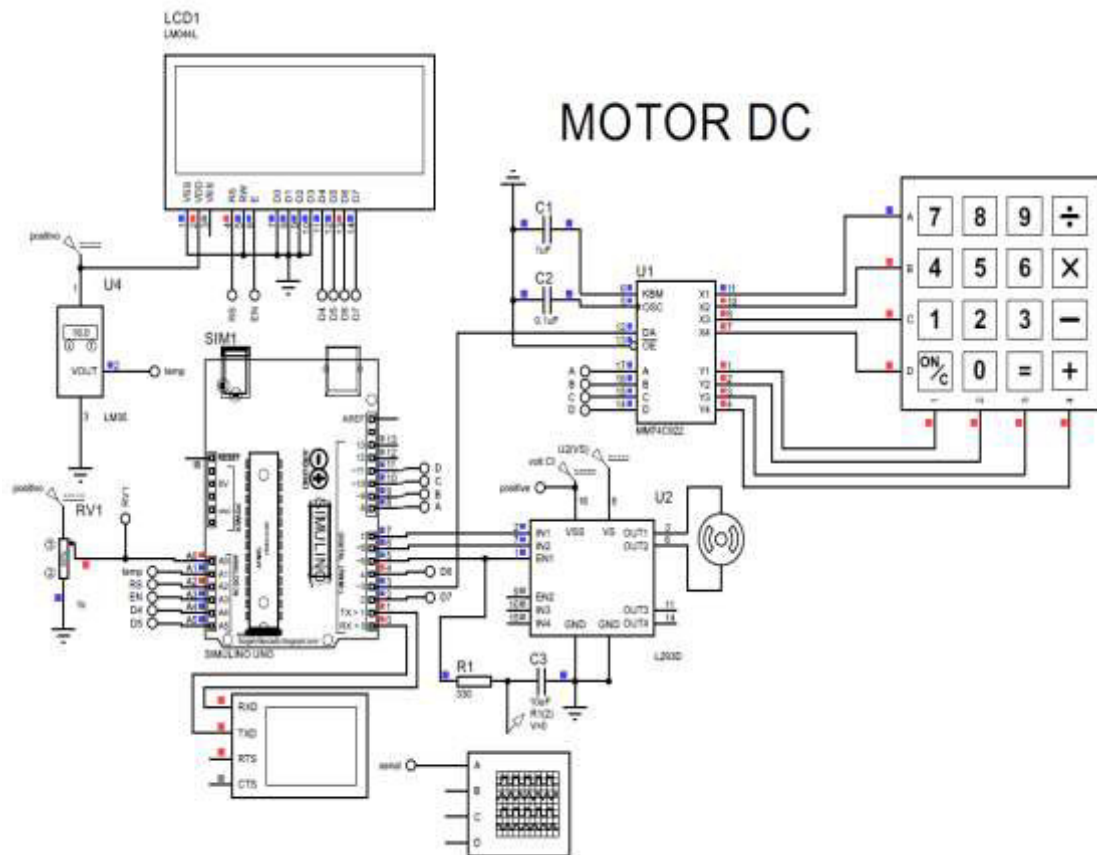


Figura 3.28 Simulación del módulo de control para el motor DC.

Para dimensionar los conductores del módulo de control del motor DC se aplica el procedimiento descrito en la sección anterior, en donde se utilizó la Ecuación 3.8, a partir de este procedimiento se seleccionan los calibres de los conductores y los resultados se presentan en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17 Tabla de corrientes en función de las áreas para el motor DC

TABLA DE CORRIENTES VS ÁREAS				
Uso del cable	I nominal (A)	I conductor (A)	AWG	AWG (norma)
Teclado matricial	0.05	0.063	33	24
Arduino	0.02	0.025	27	24
L293D	0.05	0.063	33	24
Potenciómetro	0.05	0.063	33	24
Sensor de temperatura	0.02	0.025	27	24
Motor	1	1.250	20	20

Diseño electrónico del módulo de control del motor Bipolar.

En la Figura 3.29 se presenta la simulación electrónica del módulo de control del motor Bipolar.

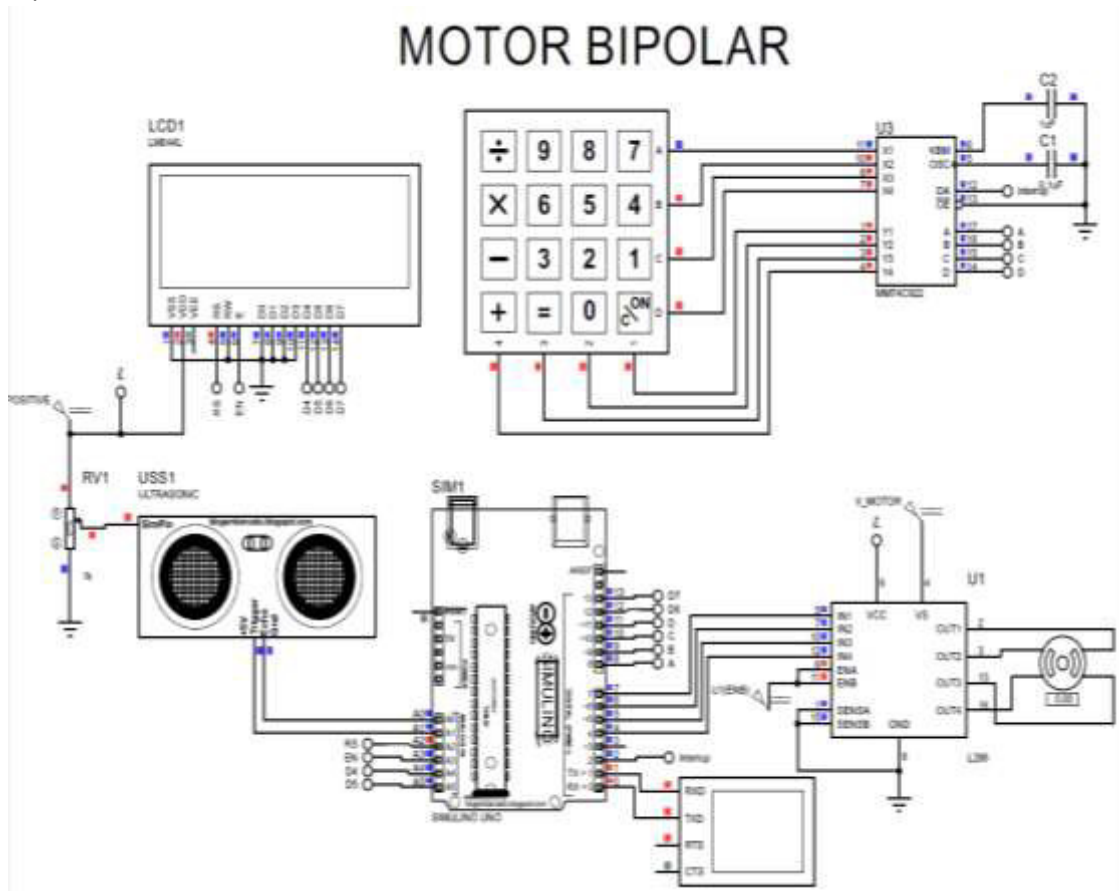


Figura 3.29 Simulación del módulo de control de motor bipolar.

Para dimensionar los conductores del módulo de control del motor bipolar se aplica el procedimiento descrito en la sección anterior, en donde se utilizó la Ecuación 3.8, a partir de este procedimiento se seleccionan los calibres de los conductores y los resultados se presentan en la Tabla 3.18:

Tabla 3.18 Tabla de corrientes en función de las áreas para el motor bipolar

TABLA DE CORRIENTES VS ÁREAS				
Uso del cable	I nominal (A)	I conductor (A)	AWG	AWG (norma)
Teclado matricial	0,05	0,063	33	24
Arduino	0,02	0,025	27	24
L298N	0,05	0,063	33	24
Potenciómetro	0,05	0,063	33	24
Sensor de distancia	0,02	0,025	27	24
Motor	1	1,250	20	20

Diseño del plano electrónico del módulo de control del motor Unipolar.

En la Figura 3.30 se presenta la simulación electrónica del módulo de control del motor unipolar.

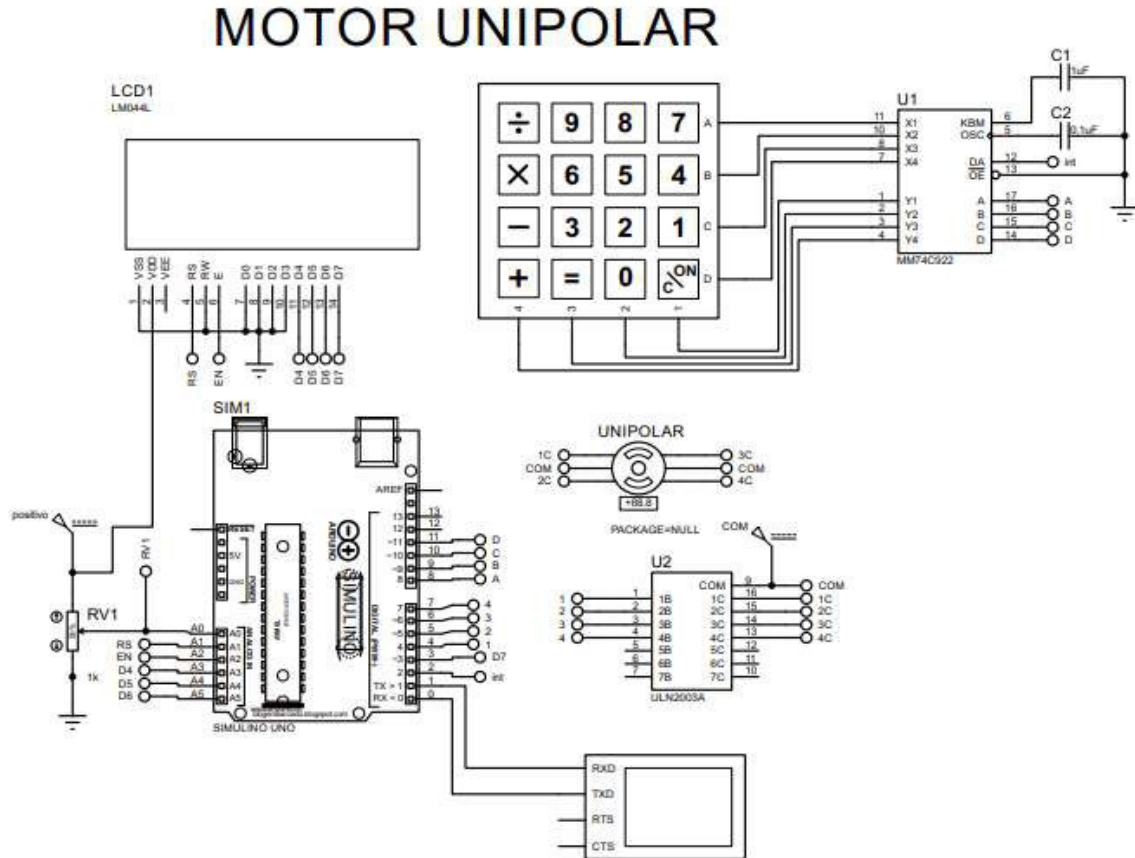


Figura 3.30 Simulación del módulo de control de motor Unipolar.

Para dimensionar los conductores del módulo de control del motor unipolar se aplica el procedimiento descrito en la sección anterior, en donde se utilizó la Ecuación 3.8, a partir de este procedimiento se seleccionan los calibres de los conductores y los resultados se presentan en la Tabla 3.19:

Tabla 3.19 Tabla de corrientes en función de las áreas para el motor unipolar

TABLA DE CORRIENTES VS ÁREAS				
Uso del cable	I nominal (A)	I conductor (A)	AWG	AWG (norma)
Teclado matricial	0.05	0.063	33	24
Arduino	0.02	0.025	27	24
ULN 2003	0.05	0.063	33	24
Potenciómetro	0.05	0.063	33	24
Motor	0.05	0.063	33	24

Diseño de pistas para la placa PCB

Usando el programa ARES del paquete Proteus se procedió a diseñar las placas PCB en donde se montarán los diferentes elementos del módulo de control de motores.

A continuación, se presentan las placas del decodificador matricial, teclado matricial, módulos de los motores y diferentes elementos electrónicos.

En la Figura 3.31 se presenta el diseño de las pistas para la placa PCB del módulo de control de motor DC.

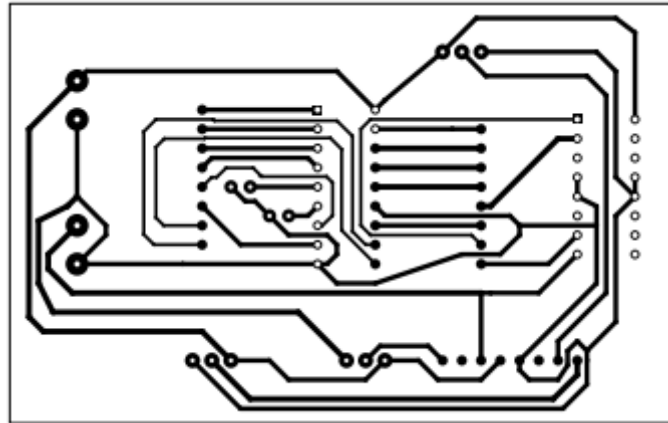


Figura 3.31 Diseño de las pistas del motor DC para la placa PCB.

En la Figura 3.32 se presenta el diseño de las pistas para la placa PCB del módulo de control de motor Bipolar.

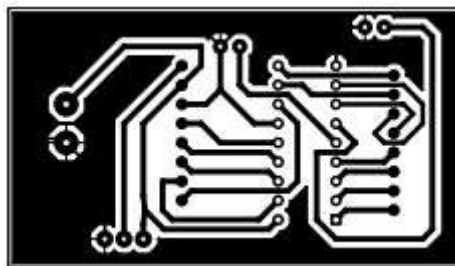


Figura 3.32 Diseño de las pistas del motor Bipolar para la placa PCB.

En la Figura 3.33 se presenta el diseño de las pistas para la placa PCB del módulo de control de motor Unipolar.

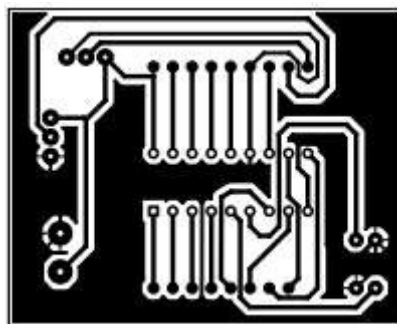


Figura 3.33 Diseño de las pistas del motor Unipolar para la placa PCB.

Diseño de pistas para la placa PCB de la fuente de alimentación.

A continuación, en la Figura 3.34 se presentan las pistas para la placa PCB de la fuente de alimentación 1:

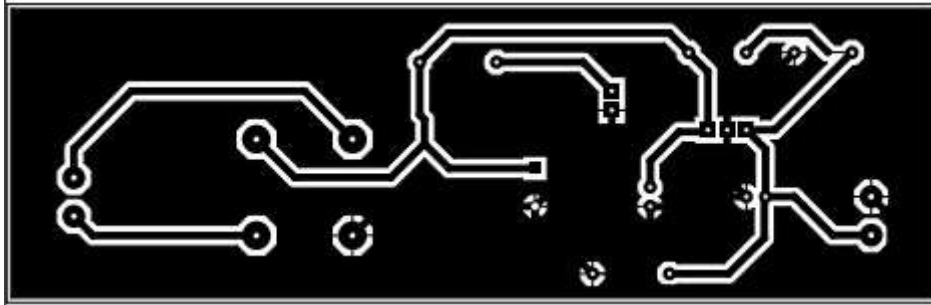


Figura 3.34 Diseño de las pistas de la fuente de alimentación uno.

Así mismo, en la Figura 3.35 se presentan las pistas para la placa PCB de la fuente de alimentación 2:

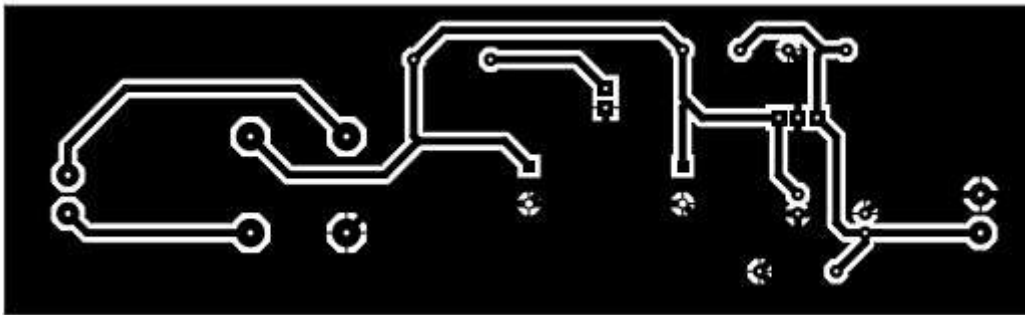


Figura 3.35 Diseño de las pistas para la fuente de alimentación dos.

En el Anexo 3 se presentan los diseños electrónicos que conforman el presente proyecto.

3.4 Algoritmos de control

A continuación, se presentan los diagramas de flujo que fueron necesarios para la implementación de los algoritmos de control de los módulos de control, en el Anexo 4, se presentan los algoritmos de control en lenguaje C-Arduino.

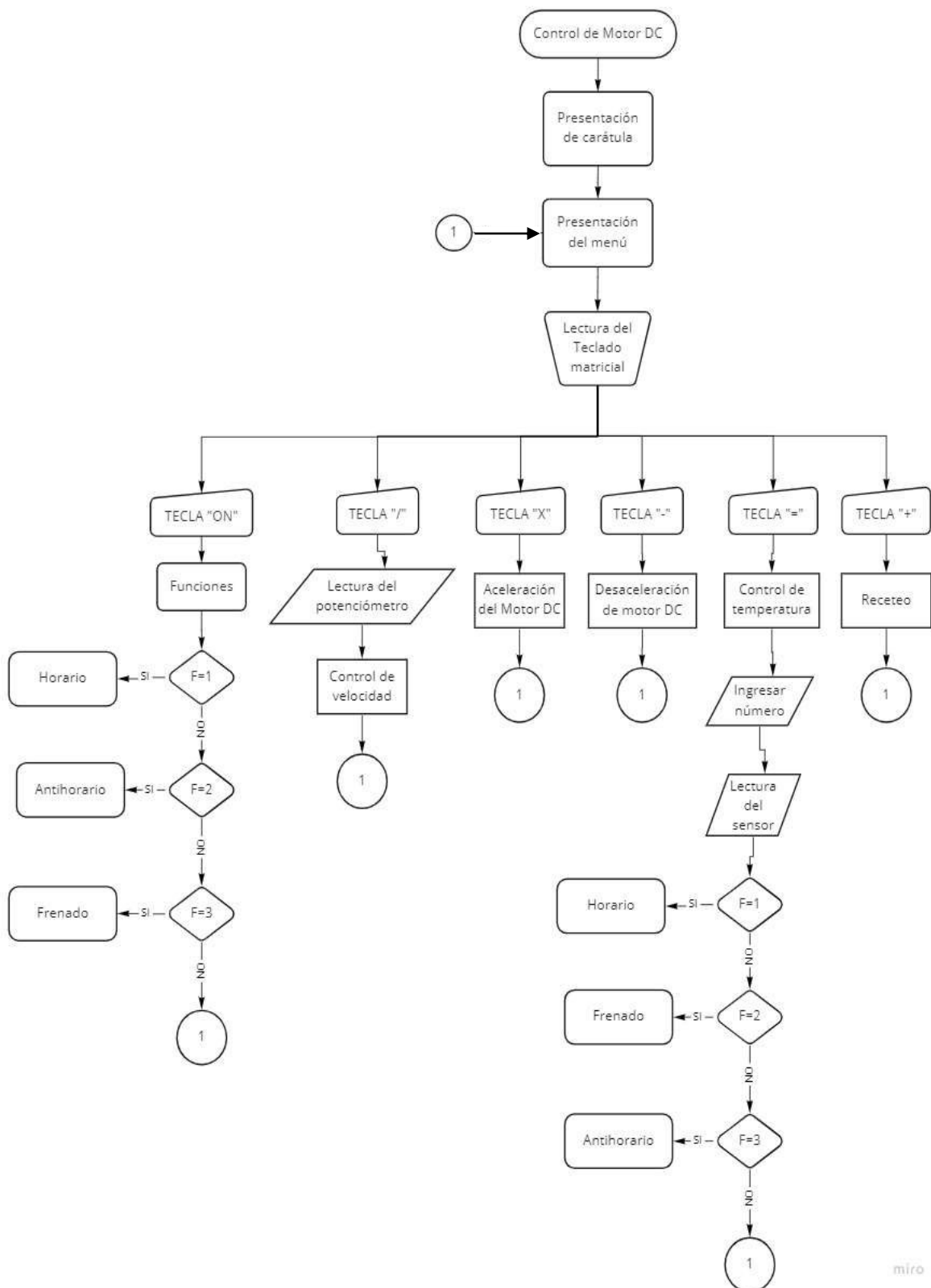


Figura 3.36 Diagrama de flujo del módulo de control de motores DC.

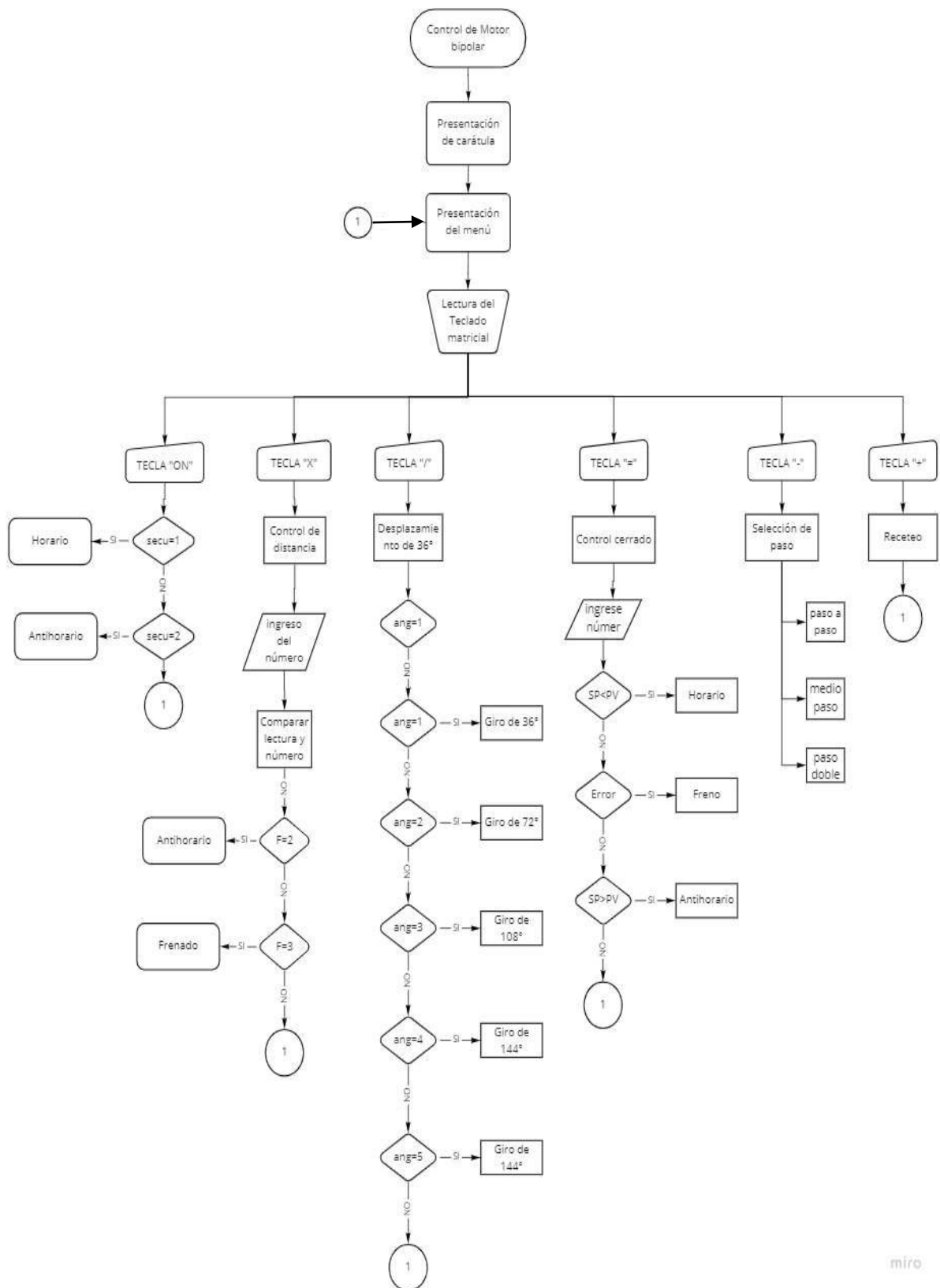
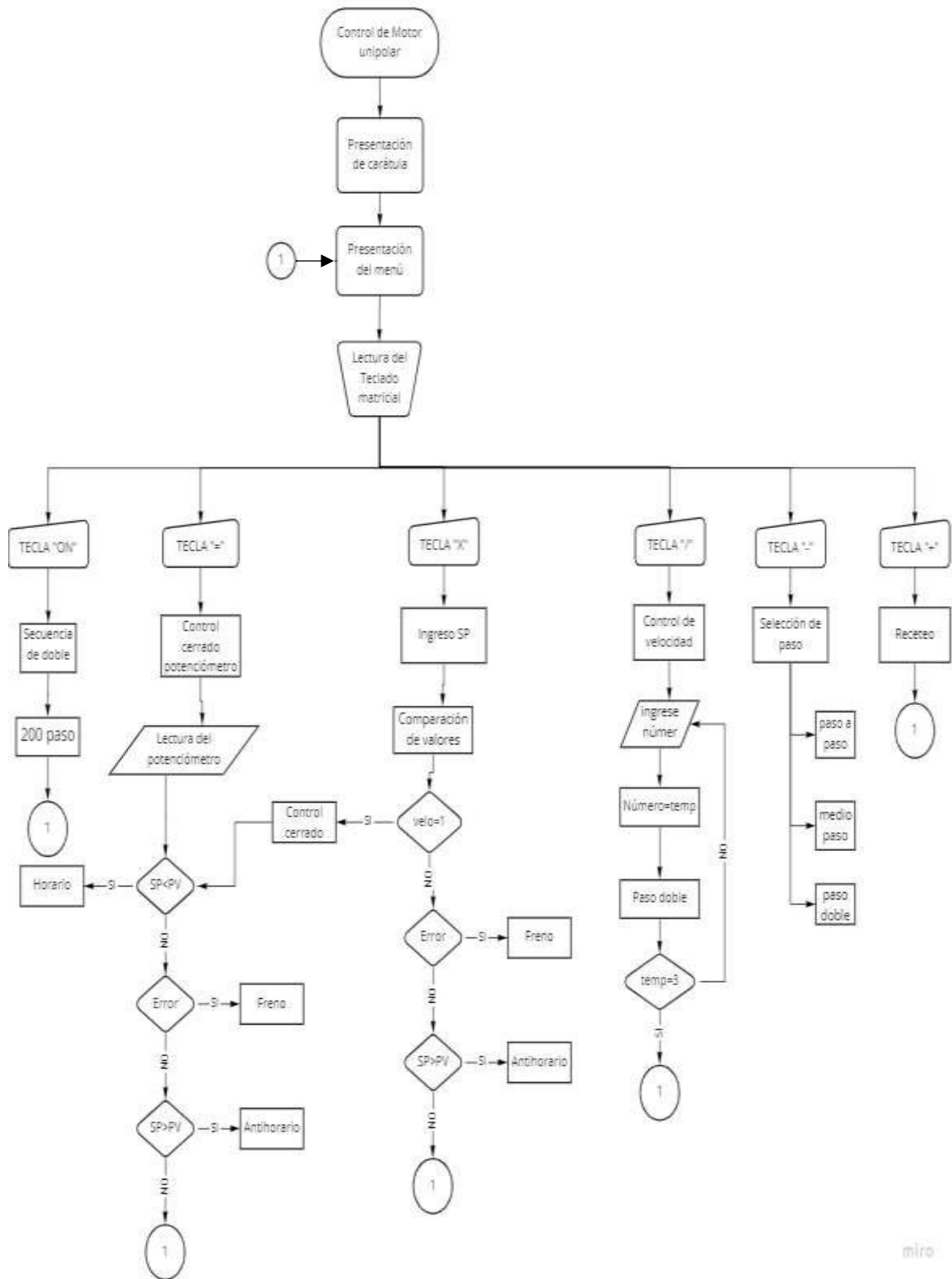


Figura 3.37 Diagrama de flujo del módulo de control del motor Bipolar.



miro

Figura 3.38 Diagrama de flujo del módulo de control del motor Unipolar.

3.5 Pruebas y Análisis de Resultados

En la siguiente sección se presentan las pruebas realizadas para validar el funcionamiento del módulo implementado:

Funcionamiento del módulo de control de motores DC, unipolares y bipolares.

1. Motivo de las pruebas:

Conocer cómo opera el módulo de control. Demostrar el funcionamiento y condiciones de trabajo de cada uno de los motores requeridos en el módulo.

2. Método:

Seleccionar una función al azar de cada sección del módulo de control. Elaborar una tabla de condiciones que cumple el motor, adjuntar imágenes del trabajo que se está ejecutando en el motor y elaborar una tabla del cumplimiento de todas las funciones que tiene cada motor en el módulo.

3. Presentación de resultados:

Motor DC:

Prueba del motor en función del sensor de temperatura. En la Figura 3.39 se muestra el menú principal del módulo de control del motor DC, se procede a seleccionar la función de temperatura.



Figura 3.39 Menú del módulo de control del motor DC

Se presenta en la Tabla 3.20 las condiciones de trabajo del motor DC cuando está en función de la temperatura.

Tabla 3.20 Motor DC en función del sensor de temperatura.

Materiales	Función	Temp_min>Ref	Temp_min>Ref>Temp_max	TempMax>Ref
Motor DC	Temperatura	Antihorario	Frenado	Giro Horario
Pantalla LCD		Fría	Condición ideal	Calor

En la Figura 3.40 se imprime los valores de temperatura mediante la pantalla LCD. En función de la temperatura censada el motor debe girar en sentido horario si este detecta que el valor de referencia es mayor, si es menor gira en sentido antihorario, pero si se encuentra dentro del rango el motor no gira.



Figura 3.40 Accionamiento del motor DC en función de la temperatura

A continuación, se presenta en la Tabla 3.21 el cumplimiento de todas las funciones del segmento del módulo de control del motor DC.

Tabla 3.21 Cumplimiento de las funciones del módulo de control motor DC

Tecla	Función	Motor	Pantalla LCD	Arduino	Sensores
Tecla "ON"	Inicialización del motor DC con cambio de sentido de giro	✓	✓	✓	-
Tecla "="	Sensor de temperatura	✓	✓	✓	✓
Tecla "/"	Control de velocidad	✓	✓	✓	✓
Tecla "X"	Aceleración del motor DC	✓	✓	✓	-
Tecla "- "	desaceleración del motor DC	✓	✓	✓	-

Motor bipolar:

Prueba del motor en función del sensor ultrasónico. En la Figura 3.41 se muestra el menú principal del módulo de control del motor bipolar, se procede a seleccionar la función de distancia.



Figura 3.41 Menú de funciones del motor bipolar

Se presenta en la Tabla 3.22 las condiciones de trabajo del motor bipolar cuando está en función del sensor ultrasónico.

Tabla 3.22 Motor Bipolar en función de la distancia.

Materiales	Función	Dist>Ref	Dist<Ref
Motor bipolar	Sensor ultrasónico, control de distancia	Giro Horario	Frenado
Pantalla LCD		Motor libre	Quitar obstáculo

El la Figura 3.42 se imprime la lectura del sensor ultrasónico. Cuando se presiona la tecla de distancia se procede a girar el motor en sentido horario mientras no detecte un obstaculo al valor referencial esteblecido, si se detecta el obstaculo el motor frena e imprime el mensaje de de quitar obstaculo.



Figura 3.42 Cumplimiento del motor Bipolar en función del sensor ultrasónico

A continuación, se presenta en la Tabla 3.23 el cumplimiento de todas las funciones de la sección del módulo de control del motor bipolar.

Tabla 3.23 Cumplimiento de las funciones del módulo de control motor bipolar

Tecla	Función	Motor	Pantalla LCD	Arduino	sensores
Tecla "ON"	Inicialización del motor PAP con cambio de sentido de giro	✓	✓	✓	-
Tecla "="	Desplazamiento de ángulo variable, control cerrado	✓	✓	✓	-
Tecla "/"	Desplazamiento de ángulo constante	✓	✓	✓	-
Tecla "X"	Sensor ultrasónico, control de distancia	✓	✓	✓	✓
Tecla "- "	Selección de tipo de paso del motor	✓	✓	✓	-

Motor unipolar:

Prueba del motor en función del potenciómetro. En la Figura 3.43 se muestra el menú principal del módulo de control del motor unipolar y se selecciona la función de control P.



Figura 3.43 Menú de funciones del motor unipolar

Se presenta en la Tabla 3.24 las condiciones de trabajo del motor unibipolar cuando está en función del potenciómetro.

Tabla 3.24 Motor unipolar en función del potenciómetro

Materiales	Función	ST>PV	ST<PV	Error = 0
Motor bipolar	Lectura del potenciómetro	Horario	Antihorario	Paro
Pantalla LCD		Error > 0	Error < 0	0

En la Figura 3.44 se imprime el error calculado de la lectura del potenciómetro y los pasos del motor unipolar. Cuando se presiona la tecla de control de potenciómetro, el microcontrolador hace la lectura del potenciómetro lo decodifica y resta los pasos dados por el motor unipolar. Si el error es positivo gira el motor en sentido horario, caso contrario si el error es negativo giro el motor en sentido antihorario, si el error es cero el motor para.



Figura 3.44 Cumplimiento del motor unipolar en función del potenciómetro

A continuación, se presenta en la Tabla 3.25 el cumplimiento de todas las funciones de la sección del módulo de control del motor bipolar.

Tabla 3.25 Cumplimiento de las funciones del módulo de control motor bipolar

Tecla	Función	Motor	Pantalla LCD	Arduino	sensores
Tecla "ON"	Inicialización del motor PAP con cambio de sentido de giro.	✓	✓	✓	-
Tecla "="	Desplazamiento de ángulo potenciómetro.	✓	✓	✓	✓
Tecla "/"	Desplazamiento de ángulo teclado matricial.	✓	✓	✓	-
Tecla "X"	Control de velocidad del PAP.	✓	✓	✓	✓
Tecla "- "	Selección de tipo de marcha del motor.	✓	✓	✓	-

4. Comentarios relevantes sobre la prueba

En la sección del módulo de control del motor bipolar en la pantalla LCD se presenta un destello fuera de lo normal, esto es debido a que se derramó un líquido usado para limpiar contactos, este accidente provoca que se despeguen los contactos de la pantalla LCD y no mostrar los caracteres en el cristal, se procedió a la recuperación del LCD cambiando el cristal de la pantalla por otro que tenía diferente fallo, de ahí el origen del sobre destello de la pantalla en la sección del módulo bipolar.

En la sección del módulo del motor DC puede también trabajar con diferentes fuentes como es la de una batería de 9 (V_{DC}) girando incluso con mayor velocidad.

En la sección del módulo del motor unipolar, dicho motor puede trabajar también como motor bipolar anulando la línea de alimentación directa del nodo común, pero la desventaja es que el motor solo gira en sentido antihorario.

5. Correcciones realizadas de ser necesario

En la sección del módulo de motor DC se calibró el sensor de temperatura, ya que medía valores muy altos respecto a un elemento de referencia, se reescribió la ecuación del sensor y el cálculo del valor promedio para la temperatura.

En la sección del módulo del motor bipolar se presentó el problema de no encerrar las variables luego de terminar alguna función en el algoritmo, provocando que no se activen las demás funciones del motor, se modificó el algoritmo para que cada vez que termina algunas de las funciones puedan encerrarse todas las variables.

El motor bipolar tiene un paso de 0.088° lo que lo vuelve el más preciso, esto desemboca en que deber dar 4076 pasos para dar una vuelta completa, se necesitó reducir el valor del retardo a 10 (ms) y aumentar los pasos a 4076 en el algoritmo.

3.6 Manual de Uso y Mantenimiento

Manual de uso y funcionamiento de la implementación del módulo de control:

Funcionamiento de la implementación del módulo de control de motores DC, Unipolares y Bipolares.



Figura 3.45 Funcionamiento del módulo de control de motores PAP y DC

Enlace: <https://youtu.be/4wUb-KWqEZ0>

Plan de mantenimiento preventivo y correctivo del módulo de control de motores DC, unipolares y bipolares:



Figura 3.46 Plan de mantenimiento del módulo de control de motores PAP y DC.

Enlace: <https://youtu.be/iDGLvliEv6I>

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Para la etapa de potencia se utilizan diferentes tipos de controladores que ayudan a inicializar a los motores. Esta etapa va a depender de la corriente y voltaje que necesite cada motor para funcionar. Estos controladores tienen la capacidad de tener un amplio rango de funcionamiento y la facultad de controlar las funciones principales de los motores a través de pequeños pulsos eléctricos.
- El módulo didáctico para el control de motores DC y PAP tiene una inversión de 253.42 (USD), se puede determinar que el Arduino UNO, las pantallas LCD, el motor bipolar NEMA 17 y el policarbonato son los elementos más costosos del proyecto.
- Para la etapa de diseño de las placas PCB, se crearon empaquetamientos de terminales en el programa de ARES para simbolizar a los actuadores, sensores y potenciómetros debido a que no van a estar fijados en las placas si no en las paredes del módulo.
- Para poner en marcha a los motores paso a paso se tienen tres métodos: el primero es el de paso a paso, el segundo es el de paso doble y el tercero es el del medio paso. Por este motivo se creó una función general, que ayude a seleccionar cada método y poder diferenciarlos.
- Para las conexiones del módulo de control de motores DC, unipolares y bipolares se utilizan los siguientes cables: calibre AWG 24 para interconectar el Arduino con las otras placas electrónicas y la pantalla LCD y calibre 20 AWG para conectar los motores DC y PAP.
- Para la instalación del módulo de control DC se unen todas las tierras para conformar una referencia común y armonizar el circuito eléctrico, esto con el objetivo de conectar a tierra los pocos pines de los puertos de la placa a Arduino que están sin utilizar, de esta manera se puede realizar una buena lectura de señales analógicas y digitales.
- El motor unipolar tiene un acoplamiento mecánico con engranajes que reduce la relación de vueltas de 1 a 64 de tal manera que se deben dar 4076 pasos para realizar una vuelta completa, este motor trabaja a una frecuencia mínima de 1000 (Hz).
- Existen 3 métodos para determinar las bobinas de los motores paso a paso, el primero es midiendo continuidad entre los terminales del motor, el segundo es midiendo la resistencia de la bobina y el tercero es alimentando al motor y verificar qué sentido tiene el desplazamiento.
- En el módulo de control del motor unipolar se instaló otra fuente de 12 (V_{DC}) individual, esto porque la fuente fabricada no brinda la corriente suficiente debido a que está alimentando a 2 motores y estos trabajan con una corriente real de hasta 1.5 (A) averiando el circuito integrado 7812.
- En el módulo de control del motor bipolar se instaló otra fuente de 5 (V_{DC}) individual debido a que la fuente fabricada estaba conectada a las 3 placas de Arduino más el motor bipolar, provocando que cuando el motor se ponga en marcha, esta no suministre la corriente suficiente apagando la pantalla LCD, además, se presentó un sobrecalentamiento del regulador.
- Con la elaboración del plan de uso y mantenimiento se puede alargar la vida útil de módulo de control, además de realizar algunas mejoras posteriores al proyecto como la

instalación de módulos de expansión, activación por bluetooth entre otras mejoras para complementar el diseño del módulo de control de motores.

4.2 Recomendaciones

- Tener mucho cuidado en la elaboración del algoritmo de control, para evitar variables con el mismo nombre, esto se dio en el caso del módulo de control del motor bipolar, en donde existió un conflicto difícil de encontrar.
- Es muy importante revisar que no estén unidas las pistas de la placa PCB cuando se las fabrica, debido a que llegan a provocar problemas de funcionamiento e incluso daños en los circuitos integrados.
- Una vez terminadas las placas PCB probar la continuidad de las pistas de punto a punto para descartar líneas abiertas o fallas de señales eléctricas. Si se detecta algún error se recomienda soldar la pista abierta para unir el material del conductor o con raspar con un estilete para separar las pistas unidas.
- Cuando se realiza una placa PCB por el método de planchado, se debe imprimir el diseño en un papel especial fototransferible y evitar usar papel fotográfico, este último no puede adherirse a la placa de cobre de manera eficiente. Además, cuando se imprima, instalar al menos 3 copias del mismo diseño por hoja para tener la oportunidad de hacer otro nuevo planchado.
- Es importante identificar cuáles van a ser las condiciones a las que se someterá el módulo de control y determinar un plan preventivo y correctivo para futuros mantenimientos.
- Es recomendable realizar un estudio previo, para determinar las condiciones técnicas de trabajo, de esta manera saber los valores de corriente y voltaje que deben tener los actuadores, para así tener un enfoque más claro de todas las posibilidades que se le pueden dar a los motores DC y PAP.
- Realizar un listado de todas las funciones básicas que cumplen los motores DC y PAP, de esta manera se pueden adicionar algunas condiciones que puedan ser necesarias o ciclos más específicos.
- Al momento de adquirir una placa de Arduino se recomienda que sea original debido a que cuando no lo son, la computadora no puede detectar la placa y se deben descargar programas auxiliares.
- Es recomendable utilizar nombres diferentes o acordes a lo que se está programando, de esta manera se evita repetir variables que puedan provocar conflictos en la compilación del programa.
- Se recomienda crear funciones cuando se repitan varias veces las mismas líneas de programación de esta manera el algoritmo es más corto y eficiente.
- Para el diseño de las placas PCB se instalan terminales y borneras que permiten la interconexión con los demás elementos del módulo como controladores, pantallas LCD, sensores, los teclados matriciales y motores.
- Es recomendable realizar pruebas todo tipo al módulo para así determinar el alcance del módulo y generar datos relevantes para determinar las condiciones de trabajo a las que puede operar el módulo.
- Cuando se realizan las pruebas simuladas es muy importante anotar todas las fallas que se van presentando en la simulación, para luego ir corrigiéndolas paulatinamente según se vayan desarrollando los algoritmos.

5 REFERENCIAS

- [1] F. Conti, «book google,» 29 Abril 2013. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=Ycd6jgEACAAJ&dq=inauthor:%22Francisco+Conti%22&hl=es&sa=X&redir_esc=y. [Último acceso: 01 Agosto 2021].
- [2] V. Garcia, «EPA "electronica practica aplicada",» 19 noviembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/motores-bipolares>. [Último acceso: 21 Octubre 2021].
- [3] I. c. Canto, «Motores paso a paso,» [En línea]. Available: http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/21_MOTOR.PDF. [Último acceso: 15 Agosto 2021].
- [4] E. J. Carletti, «Robots Didácticos,» 25 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://robots-argentina.com.ar/didactica/motores-paso-a-paso-caracteristicas-basicas/>. [Último acceso: 01 Septiembre 2021].
- [5] V. Garcia, «EPA Electronica practica aplicada,» 19 marzo 2014. [En línea]. Available: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/el-puente-h-h-bridge>. [Último acceso: 05 Noviembre 2021].
- [6] Promoco, «Datasheet PDF,» [En línea]. Available: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/917199/promoco/RF-370/1>. [Último acceso: 04 noviembre 2021].
- [7] S. electric, «Quick Reference NEMA size 17 1.8°,» 03 Marzo 2015. [En línea]. Available: http://www.autoflexible.com/file_upload/product/attach/NEMA%2017.pdf. [Último acceso: 25 enero 2022].
- [8] H. MOTOR, «ALLDATASHEET,» [En línea]. Available: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1245086/ETC1/28BYJ48/111/1/28BYJ48.html>. [Último acceso: 25 ENERO 2022].
- [9] S. Microelectronics, «alldatasheet,» Enero 200. [En línea]. Available: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/22440/STMICROELECTRONICS/L298N/21107/13/L298N.html>. [Último acceso: 02 Septiembre 2021].
- [10] T. INSTRUMENTS, «ALLDATASHEET,» 2004. [En línea]. Available: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/112910/TI/L293D/470/17/L293D.html>. [Último acceso: 20 Diciembre 2021].
- [11] «Inventable,» 09 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.inventable.eu/2018/02/09/uln2003-driver-salida-microcontroladores/#:~:text=El%20ULN2003%20es%20un%20circuito,tensi%C3%B3n%20o%20tiras%20de%20leds..> [Último acceso: 20 octubre 2021].
- [12] T. INSTRUMENTS, «ALLDATASHEET,» ENERO 2016. [En línea]. Available: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1083722/TI1/ULN2003A/63/1/ULN2003A.html>. [Último acceso: 4 DICIEMBRE 2021].

- [13] I. A. Oña, «ELECTÓNICA DE POTENCIA,» de *ELECTÓNICA DE POTENCIA*, QUITO, 2018.
- [14] I. A. Oña, «Máquinas eléctricas,» de *Transformadores*, Quito, 2018.
- [15] I. P. Pablo, «Instalaciones Eléctricas,» de *Dimencionamiento de conductores*, Quito, 2017.
- [16] «club ensayos,» 03 Diciembre 2012. [En línea]. Available: <https://www.clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/Calculo-De-Calibre-Para-Una-Instalacion-Elctrica/465429.html>. [Último acceso: 20 Diciembre 2021].
- [17] c. technologies, «dataSheetpdf,» mayo 2013. [En línea]. Available: <https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/HC-SR04.pdf>.
- [18] T. Instrument, «Alldatasheet,» 1998. [En línea]. Available: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/89353/TI/L293D/115/5/L293D.html>.
- [19] E. Componets, «TEN,» 08 septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/#:~:text=El%20motor%20paso%20a%20paso,eje%20cada%201%2C8%C2%B0..> [Último acceso: 10 diciembre 2021].

