

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL CONTROL ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD EN LAZO ABIERTO DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTROMECAÁNICA**

JULIO CÉSAR SARANGO MOLINA

julio.sarango@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. PABLO ANDRÉS PROAÑO CHAMORRO

pablo.proano@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, Julio 2019

DECLARACIÓN

Yo, Sarango Molina Julio César, 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.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Sarango Molina Julio César

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Sarango Molina Julio César, bajo nuestra supervisión.

Ing. Pablo Andrés Proaño Chamorro
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Carlos Orlando Romo Herrera
CODIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme salud y vida para llegar a esta etapa tan importante de mi vida.

A mis padres Samuel Sarango y María Molina, por toda su confianza, paciencia y apoyo incondicional en cada instante de mi crecimiento personal y profesional.

A mis hermanos Francisco y Beatriz quienes han estado en todo momento a mi lado ayudándome y dándome la fuerza necesaria para no rendirme.

A toda mi familia y amigos en general, quienes con sus muestras y palabras de aliento me han dado la motivación para seguir adelante y con cumplir mis objetivos.

A la Escuela Politécnica Nacional y a cada uno de los docentes que impartieron sus conocimientos y experiencias en el transcurso de los años.

Al Ing. Pablo Proaño por su tiempo y dedicación que brindó hacia mi persona y en el desarrollo de este trabajo.

Julio Sarango M.

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a toda mi familia, en especial a mi padre Rodrigo y a mi madre María, quienes son mi fuente de inspiración para seguir superándome y que gracias a todos sus sacrificios y esfuerzos he podido culminar una más de mis metas.

A mis hermanos Francisco y Beatriz con quienes he compartido tantos momentos buenos y malos, que a pesar de las dificultades que se me han presentado nunca me han dejado solo.

A mis sobrinos Lisbeth, Sabine y Edwin quienes son un motivo más para seguir luchando día en día en bienestar de ellos.

Julio Sarango M.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	3
2. METODOLOGÍA.....	14
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
3.1. DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	16
3.2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS.....	24
3.3. PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES	28
3.4. SIMULACIÓN DE CIRCUITOS	30
3.5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PLACAS ELECTRÓNICAS	30
3.6. ESTADOS DE OPERACIÓN.....	31
3.7. UNIFICACIÓN DEL MÓDULO CON LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS	37
3.8. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
4.1. CONCLUSIONES	57
4.2. RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS	62
ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	63
ANEXO B: DIAGRAMAS DE FLUJO	67
ANEXO C: SIMULACIÓN DE CIRCUITOS	70
ANEXO D: CIRCUITOS IMPRESOS	75
ANEXO E: PLACAS ELECTRÓNICAS	79
ANEXO F: DIAGRAMAS DE CONEXIÓN	83
ANEXO G: HOJAS GUÍAS PARA PRÁCTICA.....	86
ANEXO H: MANUAL DEL USUARIO	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Motores de Corriente Continua.....	4
Figura 1.2 Principio de funcionamiento de un motor DC	4
Figura 1.3 Estator de un motor DC	5
Figura 1.4 Rotor Motor DC.....	5
Figura 1.5 Colector Motor DC.....	6
Figura 1.6 Escobillas de un Motor DC	6
Figura 1.7 Diodo Rápido.....	9
Figura 1.8 Esquema eléctrico y aspecto externo de un Optoacoplador.....	9
Figura 1.9 Transistores Bipolares	10
Figura 1.10 Distribución de Pines de un Mosfet	11
Figura 1.11 Estructura de un regulador de voltaje	11
Figura 1.12 Estructura interna de un microcontrolador	12
Figura 1.13 Microcontrolador AVR Atmega 164P	13
Figura 3.1 Contactador Termomagnético de 6 y 16 (A).....	16
Figura 3.2 Dispositivos de Protección.....	17
Figura 3.3 Motor DC AmpFlow E30-150.....	18
Figura 3.4 Vista Isométrica del Módulo del Motor	19
Figura 3.5 Módulo final del Motor DC	20
Figura 3.6 Diseño del módulo didáctico en AutoCad	20
Figura 3.7 Trazado y corte de las piezas del módulo	22
Figura 3.8 Construcción de la estructura principal.....	23
Figura 3.9 Acabado final del módulo didáctico	23
Figura 3.10 Circuito detector de Cruce por Cero	24
Figura 3.11 Circuito para el Control AC - DC.....	25
Figura 3.12 Sistema Maestro - Esclavo	26
Figura 3.13 Fuentes de Voltaje.....	28
Figura 3.14 Programador ProgIsp	29
Figura 3.15 Grabador de Microcontroladores	29
Figura 3.16 Visualización Modo Apagado	31
Figura 3.17 Visualización Control Fase Directa	32

Figura 3.18 Formas de Onda Control Fase Directa	32
Figura 3.19 Visualización Control Chopper.....	33
Figura 3.20 Formas de Onda Control Chopper.....	33
Figura 3.21 Visualización Control Fase Inversa.....	34
Figura 3.22 Formas de Onda Control Fase Inversa.....	35
Figura 3.23 Visualización Control de Ciclo Integral	35
Figura 3.24 Formas de Onda Control por Ciclo Integral	36
Figura 3.25 Visualización Modo Encendido	37
Figura 3.26 Unificación del Proyecto Final.....	37
Figura 3.27 Cableado del Módulo Didáctico	38
Figura 3.28 Partes Principales del Módulo Didáctico.....	38
Figura 3.29 Placa de Fuentes.....	39
Figura 3.30 Placa de Potencia.....	41
Figura 3.31 Placa de Control	42
Figura 3.32 Panel de Control	44
Figura 3.33 Funcionamiento del selector de 2 posiciones	44
Figura 3.34 Conexión de Pulsadores UP y DOWN.....	45
Figura 3.35 Conexión pulsador RESET	45
Figura 3.36 Conexión del Potenciómetro.....	46
Figura 3.37 Pantalla LCD.....	46
Figura 3.38 Luz Piloto	47
Figura 3.39 Transformadores y borneras de Alimentación	47
Figura 3.40 Borneras Jack Banana	48
Figura 3.41 Voltajes Fase Directa.....	54
Figura 3.42 Voltajes Control Chopper.....	54
Figura 3.43 Voltajes Fase Inversa	54
Figura 3.44 Linealización Fase Directa.....	56
Figura 3.45 Linealización Control Chopper.....	56
Figura 3.46 Linealización Fase Inversa	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Características del Motor DC	19
Tabla 3.2. Identificación de materiales de la Estructura Modular	21
Tabla 3.3. Características Mosfet IRFP240.....	26
Tabla 3.4. Características Regulador Lm7805	28
Tabla 3.5. Características Regulador Lm7812	28
Tabla 3.6. Características de los Transformadores.....	48
Tabla 3.7. Voltajes de Alimentación AC y DC	50
Tabla 3.8. Evaluación de funcionalidad del Hardware	50
Tabla 3.9. Evaluación de funcionalidad del Software	52
Tabla 3.10. Valores de Curvas de Voltaje	53
Tabla 3.11. Valores de Linealización	55

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se implementa un módulo didáctico para el control electrónico de velocidad de un motor de corriente continua mediante 2 tipos de controles: chopper y fase directa, sin embargo, se expandió a cuatro controles implementado el control de fase inversa y de ciclo integral para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos propuestos.

Este módulo está orientado a la utilización y manejo por parte de los estudiantes de la carrera de Electromecánica, donde pueden poner en práctica los conocimientos teóricos recibidos en clases que ayuda a la formación y asociación del control de procesos industriales reales.

El trabajo consta de cuatro capítulos para su ejecución, los cuales son detallados a continuación:

El primer capítulo contiene la introducción, planteamiento del problema y objetivos con los que se implementó el módulo, así mismo, se hace referencia al marco teórico sobre conceptos fundamentales de la electrónica de potencia, características de los microcontroladores, principios de funcionamiento del motor de corriente continua y descripción de los tipos de controles implementados.

El segundo capítulo se refiere a la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, análisis de las fases de implementación y descripción de las actividades realizadas para la construcción del módulo.

En el tercer capítulo se determinan los requerimientos técnicos para la implementación del módulo, diseño e implementación de circuitos electrónicos, programación de los microcontroladores Atmega 164P, construcción de placas electrónicas, elaboración de hojas guías para prácticas y realización de pruebas de funcionamiento.

En el cuarto capítulo se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas del funcionamiento del módulo didáctico; aquí se hallan los objetivos alcanzados y sugerencias a ser tomadas en consideración.

Finalmente se incluyen fuentes bibliográficas y anexos que proporcionan información adicional para un mejor entendimiento sobre el funcionamiento del módulo didáctico.

1. INTRODUCCIÓN

Los motores eléctricos tanto de corriente alterna (AC) como de corriente continua (DC) no son más que máquinas que convierten la energía eléctrica en energía mecánica y para eso se sirven de bobinas y campo magnético. Cuando a una bobina se le inyecta una corriente eléctrica se convierte en un imán y atrae o repele a otras bobinas excitadas, generando una fuerza electromagnética que hace que el motor gire. Los motores de corriente continua (DC), utilizan la corriente eléctrica que fluye ininterrumpidamente en un solo sentido.

Los dispositivos modernos de estado sólido permiten rectificar la corriente alterna a corriente continua en forma relativamente sencilla permitiendo así que los motores DC puedan utilizarse en un sin número de aplicaciones principalmente en los diferentes procesos a nivel industrial; como por ejemplo: en máquinas operatrices en general, bombas a pistón, torques de fricción, herramientas de avance, tornos, bobinadoras, fresadoras, máquinas de molienda, máquinas textiles, grúas, vehículos de tracción, prensas, máquinas de papel, tijeras rotativas, industrias químicas, petroquímica, siderúrgicas, hornos, extractores, separadores, cintas transportadoras para la industria de cemento, control de velocidad, entre otras. Además, los motores de corriente continua poseen importantes características que lo destacan en la industria, por ejemplo: amplio rango de variación de velocidad, baja relación peso/potencia, alta eficiencia, bajo nivel de ruido y momento de inercia, alta capacidad a cargas dinámicas, construcción robusta, alta resistencia a vibraciones, óptima calidad de conmutación, etc.

Debido a la aplicación e importancia que tiene los motores de corriente continua en la actualidad, en el presente proyecto se implementó un sistema de control electrónico de velocidad en lazo abierto para un motor de corriente continua (DC), con cuatro tipos de controladores: fase directa, control chopper, fase inversa y ciclo integral, en donde los estudiantes pueden aplicar los conocimientos teóricos recibidos sobre la utilización de dispositivos microprocesados y electrónica de potencia.

Este módulo fue construido con fines didácticos ya que el Laboratorio de Tecnología Industrial no cuenta con motores de corriente continua en donde el estudiante pueda realizar prácticas y visualizar las etapas de control de un motor DC, cabe señalar que el

módulo didáctico incluido el motor son entregados al laboratorio para su posterior utilización permitiendo a los estudiantes efectuar demostraciones sobre la variación de velocidad y generar las formas de ondas producidas por los controles a través de los microcontroladores, familiarizándose así con estos tipos de controles aplicados en procesos industriales.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT), en sus instalaciones por el momento no cuenta con equipamiento donde se pueda visualizar de forma aplicada los distintos controladores electrónicos que usan sistemas microprocesados, ya sea para el control de motores de corriente continua (DC) o de corriente alterna (AC), esto genera un problema en el aprendizaje del estudiante, debido a que estos temas se los trata únicamente de forma teórica y no se puede evidenciar de manera práctica cómo funcionan los mismos.

En la actualidad, la electrónica de potencia es muy usada en la industria y se destaca en procesos electromecánicos especialmente en el control de velocidad de motores, de tal manera que los controladores están incursionando en toda aplicación donde existe un motor y es necesario controlar un proceso. Tal es el ejemplo de la empresa TESOULSING P&B S.A., la cual se dedica a la automatización y control industrial, además, de la creación, arranque y configuración de variadores de velocidad, brindando excelentes soluciones contribuyendo así al desarrollo tecnológico al servicio de la sociedad y del medio ambiente [1].

Por todo lo citado anteriormente, surge la necesidad de construir un módulo didáctico, donde el estudiante pueda visualizar cómo se controla la velocidad en un motor de corriente continua de forma práctica. Para esto se implementaron cuatro tipos de controles: fase directa, chopper, fase inversa y de ciclo integral, los mismos que ayudan a la demostración del funcionamiento de los acoplamientos de voltaje, aislamiento de fuentes, generación de formas de onda y medición de variables eléctricas orientadas al control de velocidad del motor.

1.2. OBJETIVOS

❖ **Objetivo general**

Diseñar e implementar un módulo didáctico para el control electrónico de velocidad en lazo abierto de un motor de corriente continua.

❖ **Objetivos específicos**

- Determinar los requerimientos técnicos para la implementación del módulo electrónico.
- Diseñar el módulo didáctico para el motor de corriente continua.
- Diseñar e implementar los circuitos electrónicos.
- Implementar y unificar el módulo con los circuitos electrónicos.
- Elaborar las guías de las prácticas.
- Realizar pruebas de funcionamiento.

1.3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Se describe los conceptos fundamentales, principios de funcionamiento, características principales de los motores de corriente continua, microcontroladores y dispositivos electrónicos de potencia que se utilizaron en el presente proyecto.

• **MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA**

Los motores DC (Figura 1.1) son máquinas eléctricas con un alto par de arranque que generan potencia mecánica rotativa cuando se lo alimenta eléctricamente con corriente continua. Este tipo de motor puede ser utilizado en muchos procesos donde se requiere velocidad variable, en la tracción eléctrica, equipos industriales y en aplicaciones comunes como el motor de arranque de los automóviles eléctricos [2].

El principal problema de los motores de corriente continua es el mantenimiento, ya que, es muy costoso y laborioso, debido principalmente al desgaste que sufren las escobillas o carbones al entrar en contacto con las delgas.



Figura 1.1 Motores de Corriente Continua [3]

❖ PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Un motor de corriente continua está conformado por dos devanados, uno denominado inductor (estator) y el otro inducido (rotor), el inductor es la parte fija que produce el campo magnético y el inducido es la parte giratoria formado por una espira o conjunto de espiras denominado bobina o devanado.

El motor DC basa su funcionamiento en la reacción que se produce cuando un conductor recorrido por una corriente eléctrica continua se sitúa bajo la influencia de un campo magnético, es decir, si se suministra corriente eléctrica a las espiras del rotor se produce un campo magnético en sentido contrario al campo principal que produce el bobinado de excitación (estator), generándose así el par de rotación [4] y [5].

La Figura 1.2 muestra el principio de funcionamiento de un motor de corriente continua.

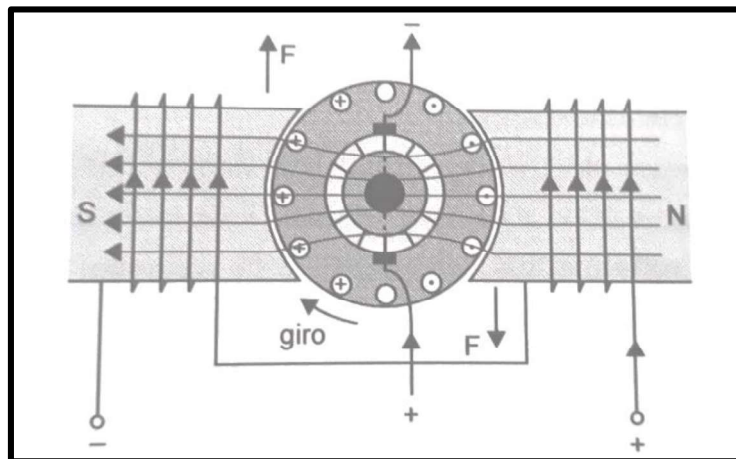


Figura 1.2 Principio de funcionamiento de un motor DC [5]

❖ PARTES PRINCIPALES [6]

-Estator: Es la parte fija del motor DC que genera un campo magnético inductor a través de los bobinados de excitación que se encuentran sobre los polos principales. El estator está constituido por el yugo o carcasa que básicamente es un cilindro esférico el cual no se encuentra sujeto a variables de flujo magnético como se muestra en la Figura 1.3.



Figura 1.3 Estator de un motor DC [3]

-Rotor: Es la parte giratoria del motor de corriente continua, y está conformado por el inducido o armadura y el colector o conmutador. Además, comprende el circuito magnético, el bobinado inducido y el eje del motor, que es el elemento que saca al exterior la potencia mecánica que transforma el motor (Figura 1.4).

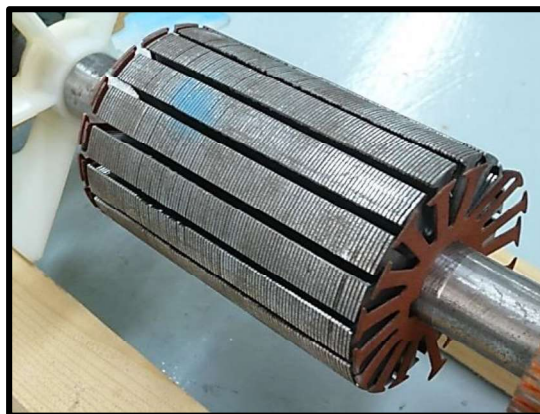


Figura 1.4 Rotor Motor DC [3]

-Colector: Es el conjunto de láminas aisladas (delgas) colocadas sobre un cilindro y a las que se conectan los principios y finales de todas las bobinas del rotor. La Figura 1.4 muestra el colector de un motor DC.



Figura 1.5 Colector Motor DC [7]

-Escobillas: Las escobillas son aquellas que establecen la conexión eléctrica entre la parte fija y la giratoria de un motor, van apoyadas sobre las delgas del colector y permiten la circulación de corriente desde el exterior hacia el bobinado inducido, generalmente se encuentran fabricadas de carbón y grafito tal como se muestra en la Figura 1.6.

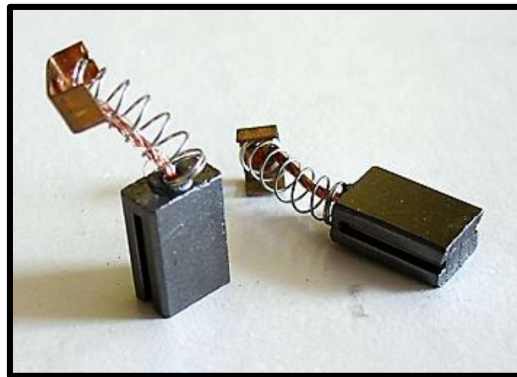


Figura 1.6 Escobillas de un Motor DC [3]

❖ CLASIFICACIÓN

Los motores de corriente continua se clasifican de acuerdo con la forma de conexión entre el devanado de campo y la armadura [2]. De esta manera se tiene los siguientes tipos de motores:

- Motores de excitación independiente.
- Motores Serie.
- Motores derivación (Paralelo).
- Motores Compound.

El motor que se utiliza para el proyecto es un motor de imanes permanentes con escobillas, el cual se describe a detalle en la punto 3.1.

• CONTROL ELECTRÓNICO DE VELOCIDAD

Los motores DC inicialmente se regulaban por medio de reóstatos, dando lugar a la presencia permanente de un operador que controle el funcionamiento en conjunto de la máquina y el motor que la accionaba. Actualmente, los equipos de regulación y control están controlados por dispositivos electrónicos y autómatas programables que permiten mantener los parámetros de velocidad de acuerdo con la programación que se haga [5].

El control de velocidad puede llevarse a cabo mediante transistores y convertidores electrónicos AC/DC para conseguir un control mucho más eficiente y versátil, en donde el voltaje es controlado por medio de modulación de ancho de pulso (PWM) de la señal de encendido del transistor, el cual opera como interruptor, permitiendo el paso de corriente y cortándola abruptamente a alta frecuencia [8].

Si la tensión alterna de entrada tiene una frecuencia y valor eficaz constante, y se pretende conseguir una tensión continua de salida en todo momento, es conveniente utilizar rectificadores no controlados, sin embargo, si la salida debe ser ajustada a diferentes valores, el rectificador debe tener algún tipo de control, por lo tanto, debe usarse un convertidor controlado.

Los tipos de controles que se implementaron para el control de velocidad del motor DC se describen a continuación.

❖ CONTROL DE FASE DIRECTA

El control de fase directa es un método con el que se puede variar el valor de una tensión, en donde por medio de un mosfet se controla el flujo de potencia que va hacia la carga variando el ángulo de disparo proporcionado por un circuito de control, es decir, el mosfet al no conducir actúa como un interruptor abierto, que al no cerrarse el circuito todo el voltaje recae en este elemento, y al conducir actúa como un interruptor cerrado, por lo que no hay voltaje en sus terminales y todo el voltaje va hacia la carga.

❖ CONTROL CHOPPER

El control chopper es un controlador que convierte la tensión de AC en voltaje DC variable, mediante dispositivos de electrónica de potencia como tiristores o Transistores Mosfet, que permiten controlar en qué instante de tiempo conducen o no la corriente a través del circuito, además, este controlador se puede conmutar mediante una señal de control de baja potencia sin necesidad de un circuito de conmutación y el voltaje varía de acuerdo al ancho de pulso.

❖ CONTROL DE FASE INVERSA

En el control de fase inversa, el mosfet se activa al aplicarle un pulso de corriente corto en su compuerta y se desactiva debido a conmutación natural o de línea. Este control de fase inversa funciona al igual que el de fase directa con un circuito de sincronización, con la diferencia que el ángulo de disparo al cual empieza a conducir el mosfet se da desde el cruce por cero de cada ciclo.

❖ CONTROL DE CICLO INTEGRAL

El control por ciclo integral es un controlador que deja pasar un número entero de ciclos completos y bloquea otro número determinado de ciclos de la señal de entrada, este tipo de control es mucho más eficiente con el inconveniente que disminuye la vida útil del motor y para el proyecto se implementó un control de 10 ciclos.

• DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

Son componentes de electrónica de potencia que se utilizaron en los circuitos electrónicos del módulo didáctico.

❖ DIODOS DE RECUPERACIÓN RÁPIDA

Un diodo rápido o de recuperación rápida es un dispositivo de potencia de unión "pn" con dos terminales Ánodo (+) y Cátodo (-), tal como se muestra en la Figura 1.7.

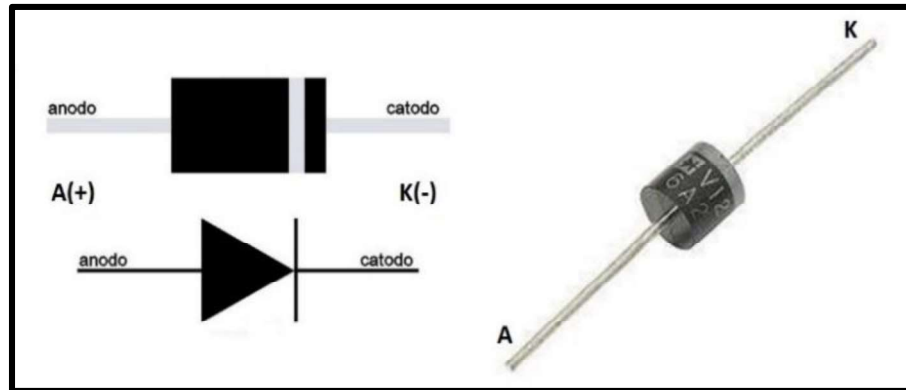


Figura 1.7 Diodo Rápido
Elaboración: Propia

Este tipo de diodo abarca voltajes desde 50 (V) hasta 3 (kV), y de menos de 1 (A) hasta cientos de amperes y es utilizado por lo general en circuitos conversores de tensión donde la velocidad de conmutación es crítica por lo que se requiere de tiempos de recuperación cortos [8].

❖ OPTOACOPLADOR

El optoacoplador es un dispositivo electrónico conformado por un diodo de emisión de luz infrarroja y un fototransistor de silicio que transmite señales eléctricas sin necesidad de que exista una conexión física (Figura 1.8). La señal de entrada se aplica al diodo emisor, mientras que la señal de salida se toma del fototransistor, cuando este dispositivo capta la señal actúa como un interruptor cerrado y cuando se interrumpe actúa como un interruptor abierto permitiendo aislar eléctricamente circuitos de control con circuitos de potencia. [9].

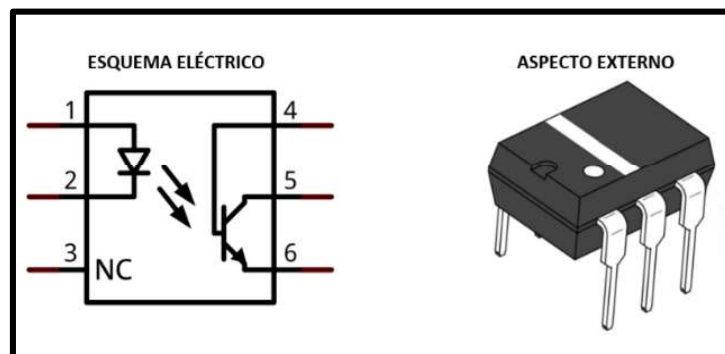


Figura 1.8 Esquema eléctrico y aspecto externo de un Optoacoplador
Elaboración: Propia

❖ TRANSISTORES

El transistor es un dispositivo electrónico semiconductor utilizado para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada y cumple con las funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. Además, tienen características controladas de encendido y apagado, es decir que actúan como interruptores dejando pasar o cortando la corriente que circule por un circuito [8].

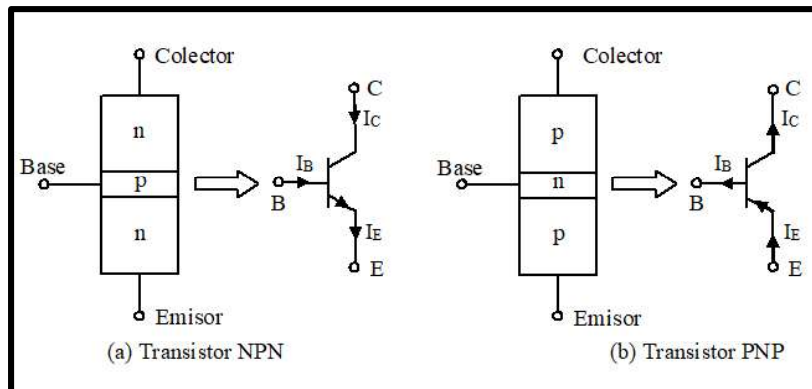


Figura 1.9 Transistores Bipolares [8]

Existen 2 tipos de transistores que dependiendo del tipo de juntura pueden ser NPN y PNP con tres terminales: emisor, base y colector (Figura 1.9), en donde el emisor emite portadores de carga eléctrica, el colector los recibe o recolecta y la base modula el paso de dichos portadores.

❖ MOSFET DE POTENCIA

El mosfet es un dispositivo electrónico de potencia controlado por voltaje que requiere de una pequeña corriente de entrada y es utilizado para amplificar o conmutar señales electrónicas. Está compuesto por 3 terminales: compuerta (G), drenador (D) y fuente (S). Existen 2 clases de MOSFET que pueden ser de tipo "N" o de tipo "P" como el de la Figura 1.10.

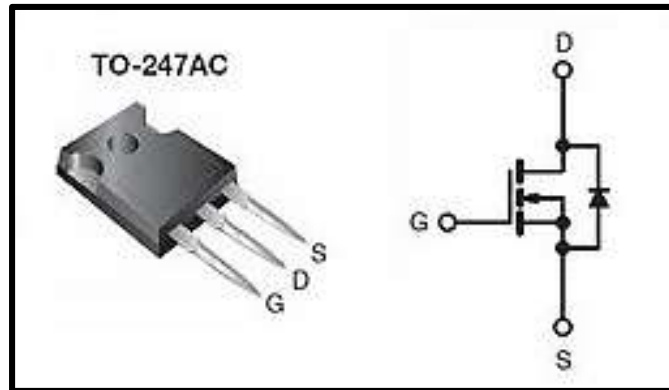


Figura 1.10 Distribución de Pines de un Mosfet [10]

Este dispositivo es encontrado en numerosas aplicaciones de convertidores de baja potencia y alta frecuencia. Sin embargo, tienen problemas de descarga electrostática y requieren de cuidado especial en su manejo, además, son relativamente difícil de protegerlos en condiciones de falla por cortocircuito [8].

❖ REGULADORES DE VOLTAJE

Los reguladores de voltaje son dispositivos electrónicos diseñados para entregar una tensión constante y estable a los circuitos acondicionados en un equipo determinado. Estos dispositivos cuentan con tres terminales: voltaje de entrada, tierra y voltaje de salida, las especificaciones son similares para cada integrado con la única diferencia en la tensión o intensidad de salida suministrada (Figura 1.11), es así que, para el desarrollo del proyecto se utilizó 2 reguladores uno de 5 (V) y otro de 12 (V) de la serie LM78 con una corriente de [11] y [12].

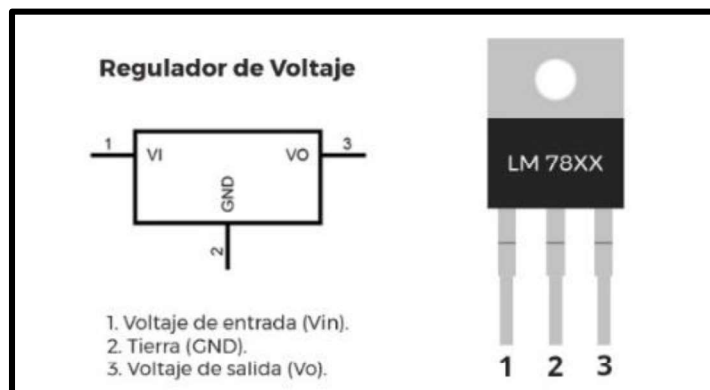


Figura 1.11 Estructura de un regulador de voltaje [12]

• MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un circuito integrado programable capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria y está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica de acuerdo al programa que reside en su memoria, es decir, el programa es quien determina la forma de funcionamiento en donde el CPU se encarga de procesar paso por paso las instrucciones del programa que puede estar escrito en cualquier lenguaje de programación, pero antes de grabar un programa hay que compilarlo a hexadecimal que es el formato con el que funciona el microcontrolador.

La Figura 1.12 muestra la estructura interna de un microcontrolador donde se puede apreciar las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento (CPU), memoria (ROM y RAM) y periféricos de entrada y salida [13].

Un microcontrolador puede usarse para muchas aplicaciones como son: manejo de sensores, juegos, avisos lumínicos, secuenciadores de luces, cerrojos electrónicos, control de motores, relojes, robots, entre otros [14].

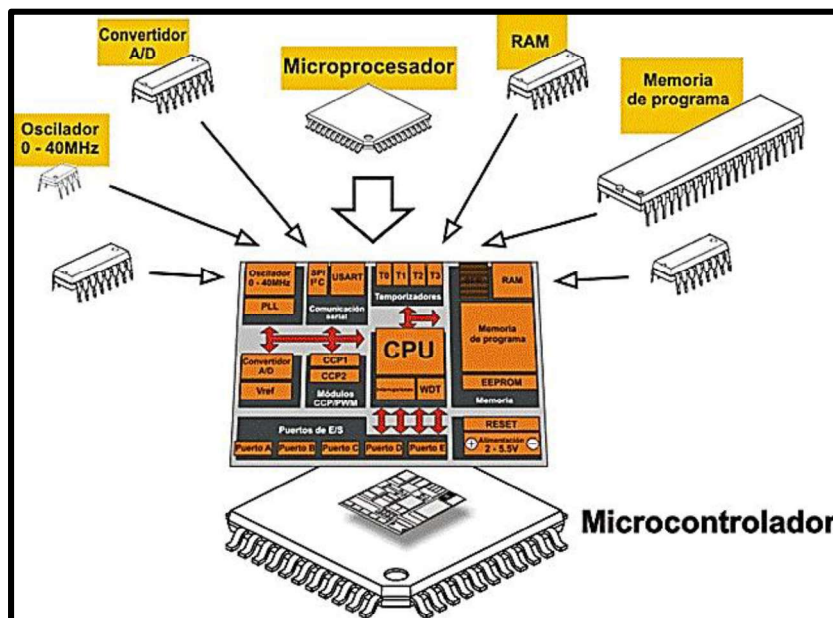


Figura 1.12 Estructura interna de un microcontrolador [13]

❖ MICROCONTROLADOR ATMEL AVR

Los AVR son una familia de microcontroladores del fabricante estadounidense Atmel que usa tecnología CMOS de 8 bits y que basa su arquitectura en RISC, esto implica una

filosofía de diseño de CPU para computadora que está a favor de conjuntos de instrucciones pequeñas y simples que toman menor tiempo para ejecutarse (Figura 1.13).

Este microcontrolador tiene una fuente de información con dos etapas que son cargar y ejecutar, que les permite hacer la mayoría de las instrucciones en un ciclo de reloj [15]. En la siguiente figura se muestra el microcontrolador Atmel que se utilizó para el módulo.

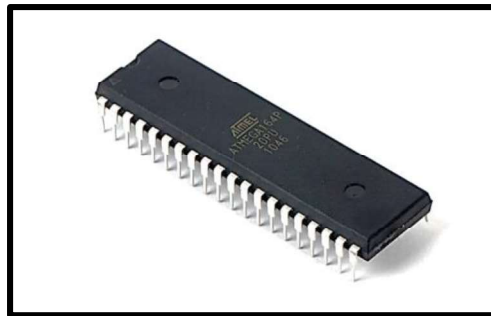


Figura 1.13 Microcontrolador AVR Atmega 164P
Elaboración: Propia

2. METODOLOGÍA

La realización del proyecto se basa en una investigación aplicada que se caracteriza por la necesidad práctica que se desea resolver, es decir, se emplea los conocimientos adquiridos y se los implementa de forma aplicada con el fin de proporcionar una solución fundamentada a los problemas del sector social o productivo. De esta manera cualquier investigación que tiene como objetivo la aplicación de conocimientos o teorías para dar respuesta a un problema o necesidad concreta es de tipo aplicada [16].

Para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo una recopilación de información acerca del control de velocidad y dispositivos electrónicos, los mismos que fueron usados para determinar los requerimientos técnicos necesarios para la construcción e implementación del módulo didáctico, de manera que los estudiantes realicen las prácticas de forma segura.

El proyecto está conformado por 2 módulos, uno para el montaje de todas las partes electrónicas y otro para el motor DC. El diseño de ambas estructuras se lo realizó mediante el software AutoCad, en donde se dibujó a detalle el modelo, dimensiones y distribución de dispositivos, equipos, placas electrónicas y conexiones del módulo para una correcta ubicación de cada uno de los elementos. Los materiales utilizados para la estructura tanto del módulo didáctico como del motor fueron analizados de acuerdo al esfuerzo físico que deben soportar cada uno al momento de su manipulación.

Para el diseño de los circuitos electrónicos, primero se realizó el circuito detector de cruce por cero para el control de fase directa e inversa, con el fin de sincronizar la señal PWM cosenoidal que generará el microcontrolador, luego se implementó el circuito para el circuito de potencia el cual cuenta con un mosfet y un diodo conectado en paralelo con el motor, en donde el diodo se encontrará polarizado inversamente con el fin de descargar la corriente de la bobina del motor cada vez que se apague el sistema, por último se realizó el circuito de control que se basa en un sistema MAESTRO – ESCLAVO a través de 2 microcontroladores que son programados para realizar el proceso de control de velocidad con los diferentes tipos de controles implementados.

Con los circuitos diseñados se los unificó a todos en un solo plano y se los simuló en el software Proteus para verificar el funcionamiento en conjunto del sistema. Posterior a

esto se procedió al diseño de los circuitos impresos y a la elaboración de las placas electrónicas.

Una vez terminado el módulo se realizaron las pruebas de funcionamiento necesarias en donde se verificó que cada componente trabaje correctamente, se obtuvo las formas de onda generadas con cada uno de los tipos de controles a distintos niveles de voltaje y finalmente, se elaboraron las guías de prácticas con las cuales el estudiante puede hacer uso del módulo y demostrar en forma aplicada lo estudiado teóricamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

En esta sección se hace referencia a aspectos fundamentales que fueron tomados en consideración para la implementación del módulo electrónico como son: condiciones necesarias del laboratorio, necesidades requeridas por el módulo y el motor, además, del diseño de la estructura modular para su posterior construcción.

• CONDICIONES DEL LABORATORIO

Para conocer las condiciones del Laboratorio de Tecnología Industrial se hizo una evaluación a las instalaciones eléctricas de las mesas de trabajo disponibles para la realización de prácticas, en donde se verificó que cuenten con el voltaje, corriente y protecciones necesarias para el funcionamiento del módulo didáctico.

Cada mesa tiene diferentes voltajes de alimentación de acuerdo con la necesidad de la práctica a desarrollar, es así que para el módulo se requiere de 120 (V_{AC}) cuyo valor si se encuentra disponible en el laboratorio. En cuanto a protecciones se dispone de dos diferenciales termomagnéticos de 6 (A) y 16 (A) que actúan desconectando el suministro de electricidad a la instalación cuando se establece un contacto con un equipo por defecto eléctrico (Figura 3.1), por lo tanto, el valor de los termomagnéticos determina el límite máximo de consumo de corriente utilizable para la selección del motor DC.

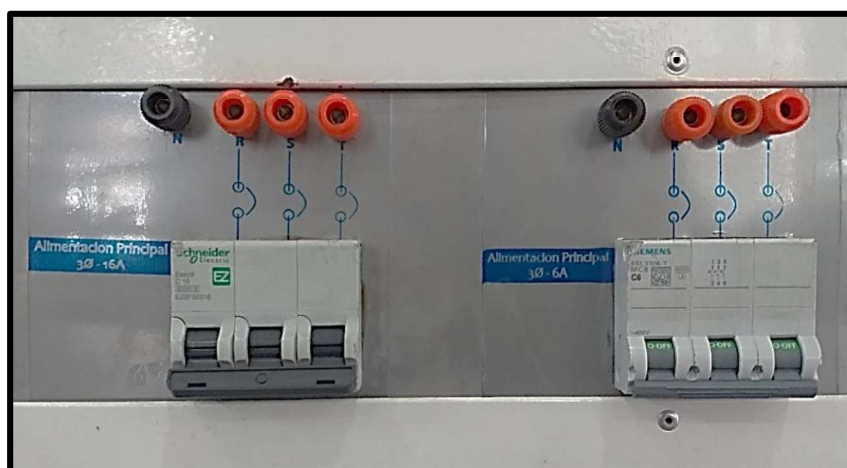


Figura 3.1 Contactor Termomagnético de 6 y 16 (A)
Elaboración: Propia

• NECESIDADES DEL SISTEMA

El módulo didáctico es un sistema en lazo abierto en el cual se va variando la velocidad de un motor de corriente continua por medio de cuatro tipos de controles, los mismos que son comandados por microcontroladores, en donde uno de estos se encarga de enviar una señal PWM al mosfet y este a su vez genera los pulsos necesarios para aumentar o disminuir la velocidad del motor.

El sistema se basa en dos módulos uno para albergar el motor y otro para el montaje de la parte electrónica. Cada una de las estructuras es de material resistente debido a que deben soportar el peso de todos los elementos, así como también, los esfuerzos físicos que se producen al momento de manipularlos o cuando se los moviliza de un lugar a otro, además, de esta forma el motor puede ser utilizado independiente en la realización de otras prácticas sin necesidad que se encuentre conectado al módulo electrónico.

Los requerimientos principales son: una fuente de alimentación de 120 (V_{AC}) para el módulo didáctico, dos transformadores para las fuentes de voltaje continuo de 5 y 12 (V) respectivamente y uno para el motor DC, tres placas electrónicas, elementos de maniobra para el inicio de operación del sistema de control de velocidad y un motor de corriente continua. Además, se necesita medios de protección para lo cual se precisa de un selector de 2 posiciones para el encendido y apagado del módulo (Figura 3.2a), así como también fusibles ubicados en cada placa que soportan el paso de corriente suficiente para el funcionamiento de las mismas (Figura 3.2b).



Figura 3.2 Dispositivos de Protección
Elaboración: Propia

Las placas deben ser de fácil acceso de manera que puedan ser retiradas y tratadas si existen daños, se encuentra algún elemento quemado, hay conexiones inadecuadas o identificar puntos flojos de contacto en el cableado.

De acuerdo a las necesidades del sistema se implementó un módulo con componentes estándares y disponibles comercialmente, lo que facilita el mantenimiento de los mismos y del módulo en general.

• REQUERIMIENTOS DEL MOTOR

Para la implementación del módulo didáctico se requiere de un motor de corriente continua con alto torque de arranque y que brinde el mayor nivel de rendimiento en cuanto al funcionamiento, debido a que su uso es exclusivamente a nivel educativo.



Figura 3.3 Motor DC AmpFlow E30-150
Elaboración: Propia

La Figura 3.3 muestra el motor DC que se utiliza para cumplir con los requerimientos mencionados, el cual es un motor de imanes permanentes con peso, tamaño y potencia suficiente para el desarrollo de las prácticas propuestas, además la corriente que consume está dentro de los valores permisibles por Laboratorio de Tecnología Industrial y las características principales del motor se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Características del Motor DC

MODELO	VOLTAJE (V _{DC})	CORRIENTE (A)	POTENCIA (HP)	RPM
AmpFlow E30-150	12, 24 y 36	2.1	1	5600

Elaboración: Propia.

❖ MÓDULO DEL MOTOR

Este módulo se lo diseñó en el software AutoCad, el cual cuenta con una parte frontal donde se encuentran ubicadas las borneras de conexión para la alimentación del motor DC y una base horizontal donde va acoplado dicho motor. Las dimensiones de la estructura son en base al tamaño y peso del motor como se muestra en la Figura 3.4.

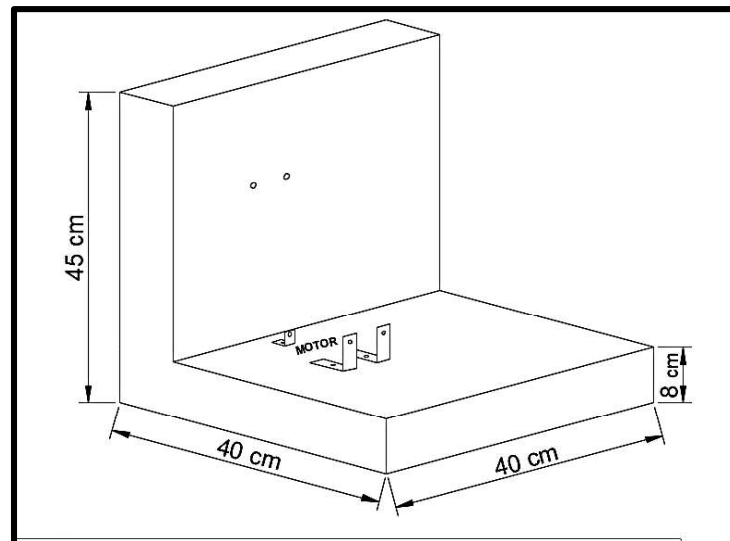


Figura 3.4 Vista Isométrica del Módulo del Motor
Elaboración: Propia

De acuerdo al diseño de la figura 3.4 se procedió a la construcción del módulo, el cual está hecho de madera de 2 (cm) de espesor para que presente robustez y soporte el montaje y funcionamiento del motor.

La estructura fue pintada en su totalidad y se realizó el diseño del adhesivo para la parte frontal en el cual lleva el nombre del proyecto e identificación de terminales para una mejor presentación del módulo final del motor como se muestra en la Figura 3.5.



Figura 3.5 Módulo final del Motor DC
Elaboración: Propia

• CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO

El diseño del módulo se elaboró en el software AutoCAD en donde la estructura está formada por una parte frontal y una base horizontal, en la parte frontal se encuentran los elementos de maniobra que conforman el panel de control para el funcionamiento del módulo, mientras que en la base horizontal se encuentran ubicados las borneras de alimentación para el módulo y el motor, transformadores para fuentes y placas electrónicas distribuidas en 3 niveles, se determinó el lugar y espacio que cada elemento ocupa y finalmente se dimensionó el tamaño total del módulo didáctico (Figura 3.6).

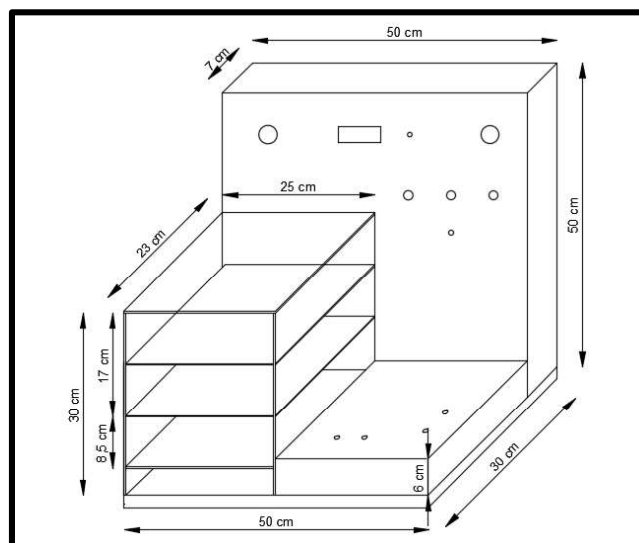




Figura 3.6 Diseño del módulo didáctico en AutoCad
Elaboración: Propia

Con el diseño de la figura anterior se analizó el tipo de material a ser utilizado para la construcción, es así que para la parte frontal y la base del módulo se utilizó madera de diferentes espesores debido a que en estas partes van montados los elementos de maniobra y acoplados los transformadores por lo que se necesita de una mayor estabilidad y firmeza, las bases para las placas electrónicas, los soportes de los costados y la cubierta de los niveles son de acrílico que permite una mayor visibilidad de todos los componentes de las placas, además, que son materiales dieléctricos, tienen alta resistencia, durabilidad y son de menor peso.

Los materiales empleados se muestran en la Tabla 3.2, en la cual se detalla las características y dimensiones que se requiere para la construcción del módulo electrónico, en esta lista se encuentra incluido el material utilizado para el módulo del motor.

Tabla 3.2. *Identificación de materiales de la Estructura Modular*

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	DETALLE
1 tablero	Madera 90 x 90 x 2 (cm)	
1 tablero	Madera 100 x 60 x 1 (cm)	
1 tablero	Madera 100 x 100 x 0,5 (cm)	
2 láminas	Acrílico 30 x 25 x 0,4 (cm) Transparente	

1 lámina	Acrílico 25 x 23 x 0,3 (cm) Transparente	
3 láminas	Acrílico 24 x 22 x 0,2 (cm) Oscuro	
1 canaleta	15 x10 x 0,55 (mm) con adhesivo	

Elaboración: Propia.

En base al esquema de la Figura 3.6 y con la lista de materiales de la Tabla 3.2 se inició la construcción del módulo electrónico, donde en primer lugar se trazó las medidas en la madera, se hizo el corte de cada pieza, se realizó las respectivas perforaciones de acuerdo a la posición determinada para los elementos de maniobra, borneras de alimentación y cables que conectan las placas entre sí como se muestra en la Figura 3.7.



Figura 3.7 Trazado y corte de las piezas del módulo
Elaboración: Propia

Con las piezas cortadas, se armó la estructura principal, se acopló los soportes laterales, la cubierta y se ubicaron las bases móviles para las placas, las cuales se desplazan libremente a través de una canaleta plástica (Figura 3.8).



Figura 3.8 Construcción de la estructura principal
Elaboración: Propia

En la Figura 3.9 se muestra el acabado final del módulo didáctico, en donde con la ayuda de un soplete se pintó toda la estructura y se diseñó el adhesivo para el panel de control donde va identificado la acción que cumple cada uno de los elementos ubicados en este módulo.



Figura 3.9 Acabado final del módulo didáctico
Elaboración: Propia

3.2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

En esta sección se describe el diseño de cada uno de los circuitos electrónicos que se requieren para el funcionamiento del módulo didáctico.

• CIRCUITO DETECTOR DE CRUCE POR CERO

El circuito de cruce por cero está diseñado con la finalidad de conectarlo a una entrada del microcontrolador y generar un pulso de disparo en sincronismo con la frecuencia de red para poder controlar la tensión de línea cada vez que esta pasa por cero en el control de fase directa e inversa.

Este circuito cuenta con un puente de diodos que rectifica la señal de entrada, una resistencia de potencia para limitar el paso de la corriente a los demás elementos cuando se enciende el módulo y un sistema de doble transistor para amplificar la señal de sincronización (SS) que entrega el circuito como se muestra en la Figura 3.10.

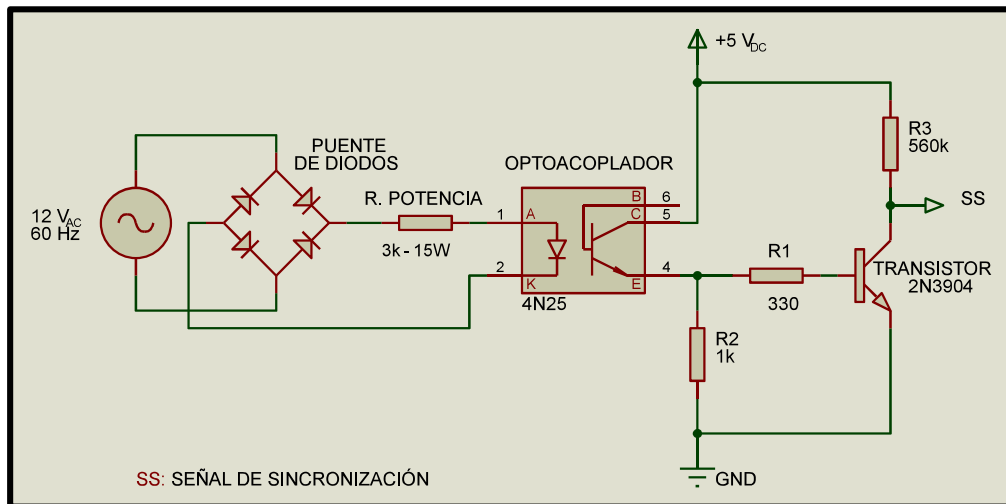


Figura 3.10 Circuito detector de Cruce por Cero
Elaboración: Propia

• CIRCUITO DE POTENCIA

Este circuito se diseñó con elementos de potencia, los cuales fueron dimensionados de acuerdo a la corriente que circula por el sistema, el circuito dispone de un puente de diodos para rectificar y hacer la conversión AC/DC de la señal de entrada, un mosfet que se dispara por medio de una señal PWM que le entrega el microcontrolador, un diodo de

potencia para la descarga del bobinado del motor y una resistencia de potencia para la medición de las formas de onda, además, cuenta de una etapa de optoacoplación para fuentes, que aísla el circuito de control con en el potencia, tal como se muestra en la Figura 3.11.

El control de fase directa e inversa utilizan una señal PWM cosenoidal sincronizada con la red con el fin de linealizar el control y evitar corrientes parasitas que distorsionen la señal que se desea obtener a la salida del sistema. Por medio de este control se puede evidenciar que mientras el ángulo de disparo es menor el voltaje es mayor o viceversa.

Para el control chopper y el control de ciclo integral se utiliza una PWM sin sincronización con la red, en el control chopper se observa que cuando el ángulo de disparo es mayor el voltaje también es mayor y si el ángulo de disparo es menor el voltaje es menor con el inconveniente que presenta más corrientes parasitas en el sistema.

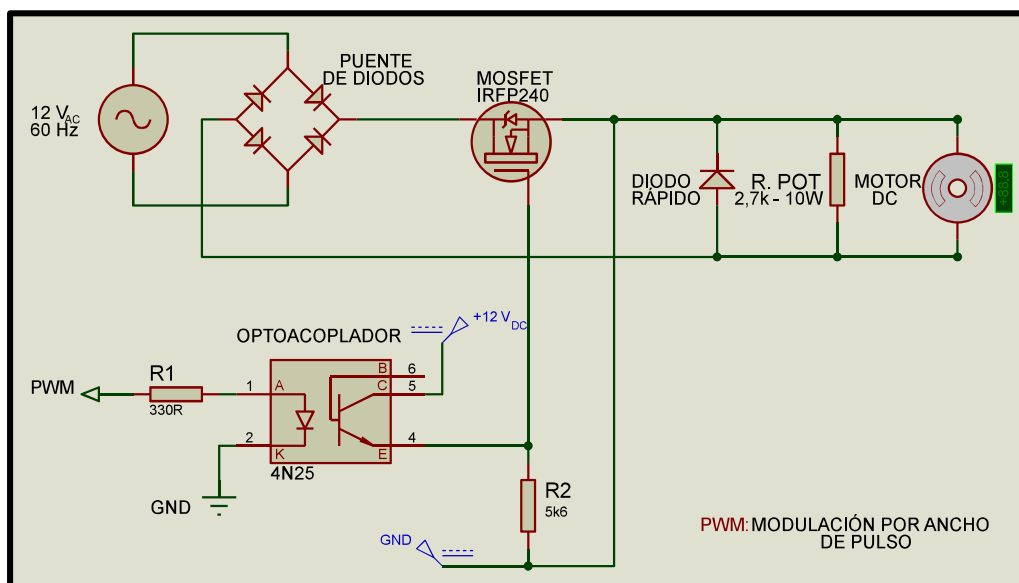


Figura 3.11 Circuito para el Control AC - DC
Elaboración: Propia

El mosfet que se utilizó para este circuito es el IRFP240 que tiene un amplio rango de amperaje y soporta la corriente de arranque del motor que se seleccionó, el mosfet cuenta con su respectivo disipador de calor que transfiere el calor que se genera en exceso hacia el exterior del circuito evitando que se produzca daños en este elemento semiconductor.

En la Tabla 3.3 se muestran las características principales del mosfet que se utilizó para el diseño e implementación de este circuito.

Tabla 3.3. Características Mosfet IRFP240 [10]

PARÁMETROS	SIMBOLOGÍA	LÍMITE	UNIDAD
Tensión disruptiva entre drenaje y fuente	V_{DS}	200	(V)
Tensión entre puerta y fuente	V_{GS}	20	
Corriente de drenaje continua	I_D	25 °C	20
		100 °C	12
Corriente de drenaje pulsada	I_{DM}	80	(A)
Resistencia entre drenaje y fuente	R_{DS}	180	(mΩ)
Disipación de potencia	D_P	150	(W)
Tiempo típico de demora de encendido	$t_{d(on)}$	14	(ns)
Tiempo de retardo de apagado típico	$t_{d(off)}$	45	

• CIRCUITO DE CONTROL

El circuito de control cuenta con un sistema Maestro – Esclavo el cual se lleva a cabo por medio de 2 microcontroladores conectados por pines digitales, una pantalla LCD en donde se presenta la información, un potenciómetro que receipta la señal analógica para variar el voltaje y pulsadores para la selección del tipo de control y reseteo del sistema como se muestra en la Figura 3.12.

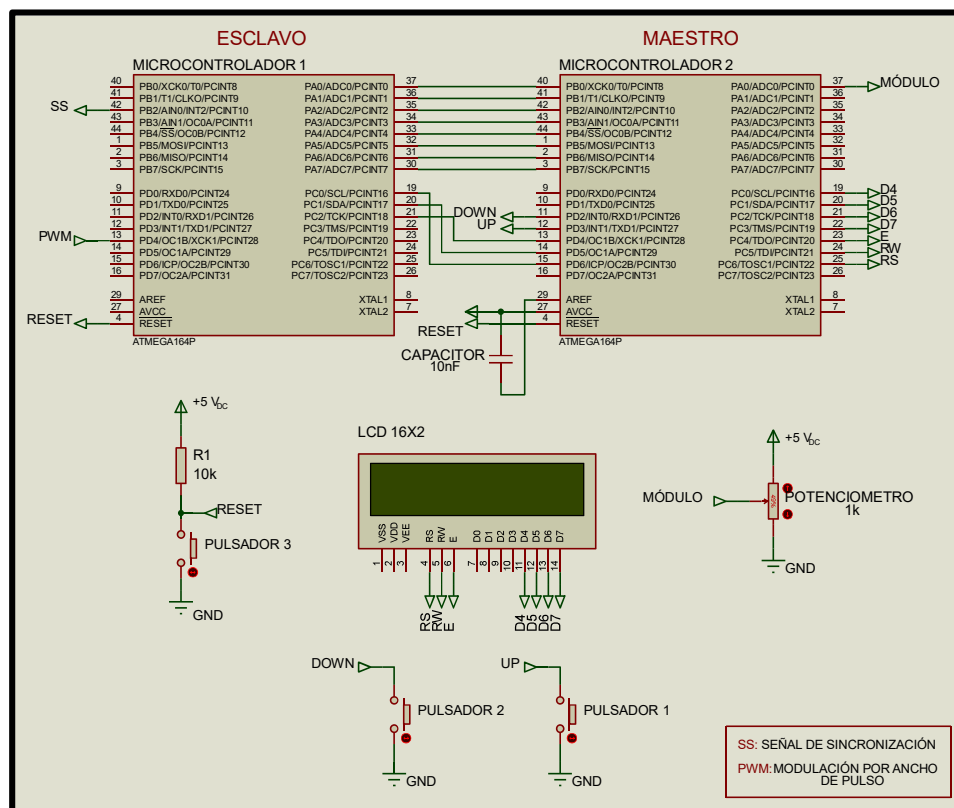


Figura 3.12 Sistema Maestro - Esclavo
Elaboración: Propia

El sistema Maestro – Esclavo se lo realizó debido a que el tiempo que tiene el micro para realizar el proceso de control, muestreo y visualización está limitado por los cruces por cero de la red, es decir, las actividades que tiene que hacer el microcontrolador las debe ejecutar cada 8,33 (ms) por tal motivo se utiliza este sistema, en donde a un microcontrolador se lo denomina Maestro mientras que a el otro se lo llama Esclavo.

❖ FUNCIONES DEL MAESTRO

- Escribir el LCD.
- Lectura del canal analógico para el ancho de pulso.
- Comando de los pulsadores (Up, Down y Reset).

❖ FUNCIONES DEL ESCLAVO

- Generar la PWM cosenoidal sincronizada con la red para el control de Fase Directa e Inversa.
- Generar la PWM lineal sin sincronización para el control Chopper.

• CIRCUITOS PARA FUENTES DE VOLTAJE

Para la alimentación continua (DC) de los elementos electrónicos se necesita 2 fuentes de voltaje de 5 y 12 voltios. Los 5 (V_{DC}) alimentan los dispositivos del circuito de sincronización y control, mientras que los 12 (V_{DC}) alimentan dispositivos del circuito de potencia como se observa en la Figura 3.13.

Los voltajes DC se obtienen a través del circuito de fuentes, donde cada una de las fuentes cuenta con transformador que convierte la energía eléctrica AC de la red en energía AC de otro nivel de voltaje, un puente de diodos que rectifica la señal proveniente del secundario del transformador, capacitores electrolíticos para eliminar el rizado que proviene de la etapa de rectificación y un regulador de voltaje que mantiene constante la señal de salida.

Los reguladores de voltaje utilizados en este circuito son el 7805 para la fuente de 5 (V) y 7812 para la de 12 (V) cuyas características se muestran en la Tabla 3.4 y 3.5.

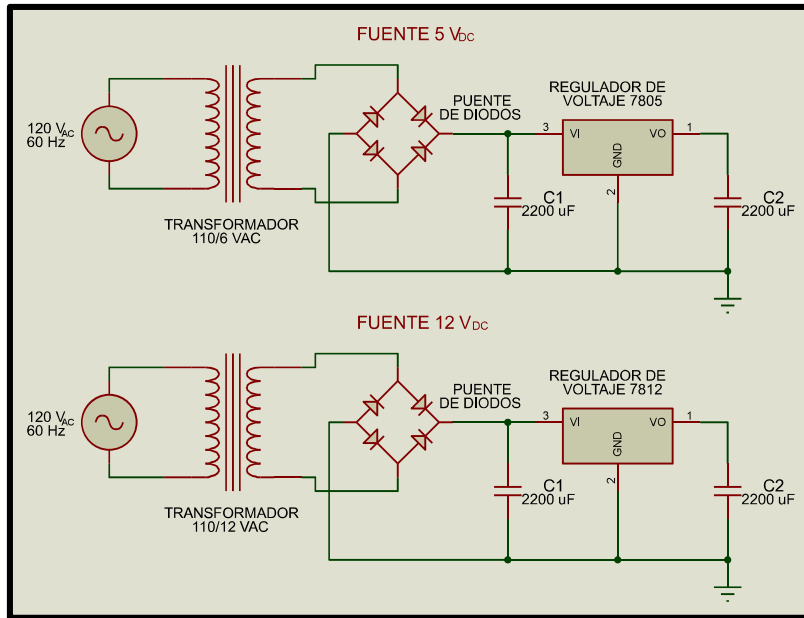


Figura 3.13 Fuentes de Voltaje
Elaboración: Propia

Tabla 3.4. Características Regulador Lm7805 [17]

PARÁMETROS	SIMBOLOGÍA	LÍMITE	UNIDAD
Tensión de entrada	V_{in}	2,2 - 30	(V)
Tensión de salida	V_{out}	5	(V)
Corriente máxima de salida	$I_{m\acute{a}x}$	1	(A)
Temperatura de operación	T_j	125	(°C)

Tabla 3.5. Características Regulador Lm7812 [17]

PARÁMETROS	SIMBOLOGÍA	LÍMITE	UNIDAD
Tensión de entrada	V_{in}	2,5 - 23	(V)
Tensión de salida	V_{out}	12	(V)
Corriente máxima de salida	$I_{m\acute{a}x}$	1	(A)
Temperatura de operación	T_j	125	(°C)

3.3. PROGRAMACIÓN DE MICROCONTROLADORES

La programación de los microcontroladores se la hizo en el software Atmel Studio 7.0, el cual ofrece un entorno relativamente fácil de usar para la realización y depuración de los programas. Este software se lo puede vincular sin ningún problema a programadores que admiten dispositivos AVR como el ProgIsp que es un grabador con comunicación

USB, el cual puede conectarse directamente a los pines de programación del microcontrolador sin necesidad de circuitería adicional (Figura 3.14).

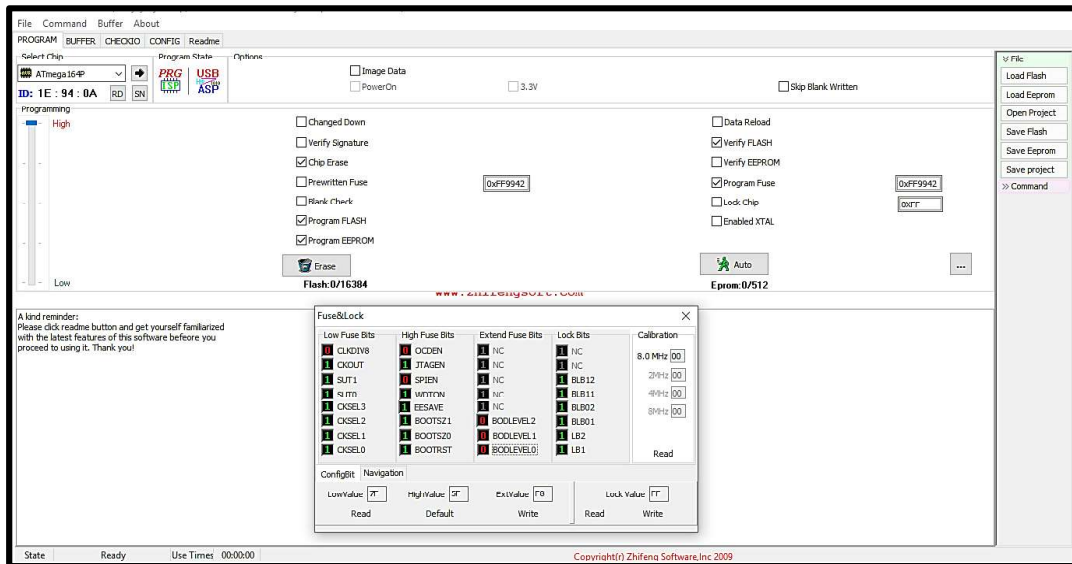


Figura 3.14 Programador Progisp
Elaboración: Propia

Para grabar los microcontroladores se utilizó el grabador de la Figura 3.15, en donde por medio del software Progisp se configuró los “fusebits” y se cargó el archivo HEX de los programas desarrollados.

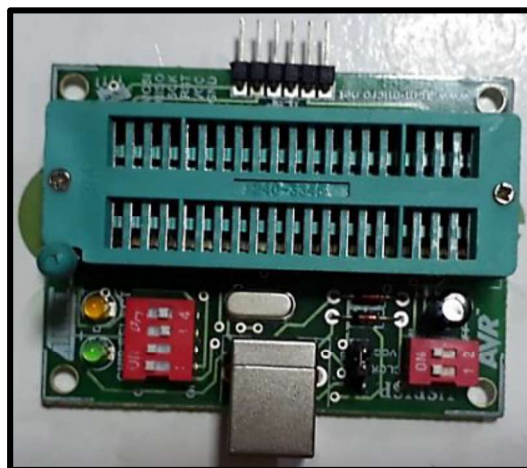


Figura 3.15 Grabador de Microcontroladores
Elaboración: Propia

Los programas de los microcontroladores se encuentran escritos en lenguaje C, los mismos que se muestran a través de los diagramas de flujo de los estados de operación que realiza el módulo para el control del motor DC (ANEXO B).

3.4. SIMULACIÓN DE CIRCUITOS

La simulación fue realizada en el software Proteus ISIS, en este programa se implementó el modelo esquemático de los circuitos diseñados anteriormente, se situó los componentes necesarios en un espacio determinado y se fue realizando las conexiones entre circuitos por medio de conectores proporcionados por el software que generan un mejor manejo del espacio.

Para verificar el funcionamiento de controles se cargó los programas desarrollados en los microcontroladores y con la ayuda del osciloscopio virtual se observó las formas de ondas que cada uno de los controles generan, además, en el LCD se puede visualizar el modo de operación del motor y el valor del voltaje expresado en porcentaje tal como se muestra en las láminas del ANEXO C para los cuatro tipos de controles.

3.5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PLACAS ELECTRÓNICAS

Para la implementación de las placas previamente se armó los circuitos electrónicos en un protoboard para verificar su correcto funcionamiento y determinar los elementos definitivos que conforman cada una de las placas.

El diseño se fue realizado en el software Proteus ARES, donde se situó los elementos de manera conveniente para que al momento de generar las pistas no haya cruces entre líneas y se produzcan errores. Además, de acuerdo con la corriente que circula por los componentes se escogió el ancho de pista suficiente para las placas electrónicas.

Los elementos fueron ubicados tomando en consideración el tamaño real de cada uno y puesto que este viene dado por defecto a través del programa ARES, se tuvo que diseñar el espacio para la ubicación de elementos adicionales que no se encuentran disponibles y otros fueron reemplazados por componentes que tienen el tamaño del elemento que se necesita y así conseguir el circuito impreso de cada placa (ANEXO D).

La construcción de las placas se las realizó a través de los circuitos impresos, los cuales fueron transferidos sobre una baquelita con dimensión de 20 x 10 (cm) para cada una de las placas, se soldó cada elemento conforme a lo diseñado y finalmente se obtuvo las placas electrónicas necesarias para el proyecto (ANEXO E).

3.6. ESTADOS DE OPERACIÓN

Los estados de operación son las etapas o fases de funcionamiento con las que el motor DC trabaja de acuerdo con la programación que se encuentra almacenada en los registros del microcontrolador, el sistema entra a operar siempre con el Estado 0, luego de esto al pulsar el botón UP los controles empiezan desde el Estado 1 al Estado 5, caso contrario si se pulsa el botón DOWN se empieza descendentemente desde el Estado 5 hasta el Estado 1, de esta forma se puede adelantar o regresar al control que se requiere utilizar.

El valor de porcentaje del voltaje para los controles se da a través de la señal emitida por la perilla de velocidad que se encuentra en el panel de control y si el motor permanece encendido u operando con alguno de los tipos de controles este puede ser interrumpido en cualquier instante al pulsar el botón RESET, poniendo así al motor en espera.

❖ ESTADO 0: MODO APAGADO

Es la fase con la cual inicia el módulo cuando es energizado, es decir el motor no entra en funcionamiento hasta que se accione uno de los pulsadores UP o DOWN. En la pantalla LCD se visualiza Modo Apagado y Motor en Espera como se muestra en la Figura 3.16.



Figura 3.16 Visualización Modo Apagado
Elaboración: Propia

❖ ESTADO 1: CONTROL DE FASE DIRECTA

Es la fase donde entra a operar el primer tipo de control que es el de fase directa al pulsar el botón UP y por medio de una perilla se va variando el voltaje el cual se encuentra expresado en porcentaje. Esta operación se visualiza en el LCD tal como se muestra en la Figura 3.17.



Figura 3.17 Visualización Control Fase Directa
Elaboración: Propia

Las formas de onda de la Figura 3.18 muestran el comportamiento del control de fase directa funcionando al 25%, 50% y 75% del voltaje nominal.

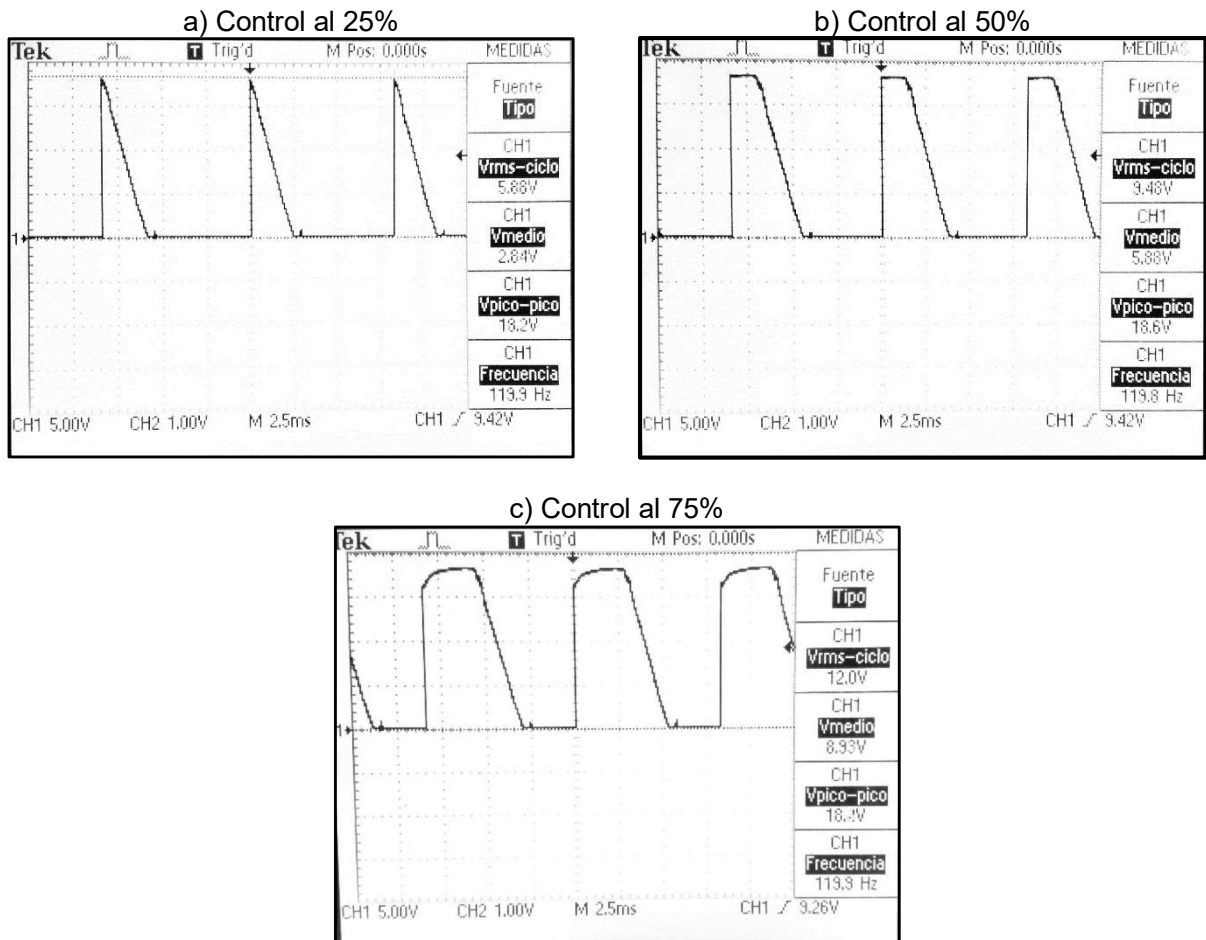


Figura 3.18 Formas de Onda Control Fase Directa
Elaboración: Propia

❖ ESTADO 2: CONTROL CHOPPER

El control chopper es el segundo control implementado, el cual se pone en funcionamiento al pulsar nuevamente el botón UP, que al igual que el control anterior el

voltaje se va variando por medio de una perilla que se encuentra en el panel de control y en el LCD se muestra el tipo de control y el valor del voltaje en porcentaje como se ve en la Figura 3.19.



Figura 3.19 Visualización Control Chopper
Elaboración: Propia

La Figura 3.20 muestra las formas de onda del funcionamiento del control chopper a 25%, 50% y 75% del voltaje nominal.

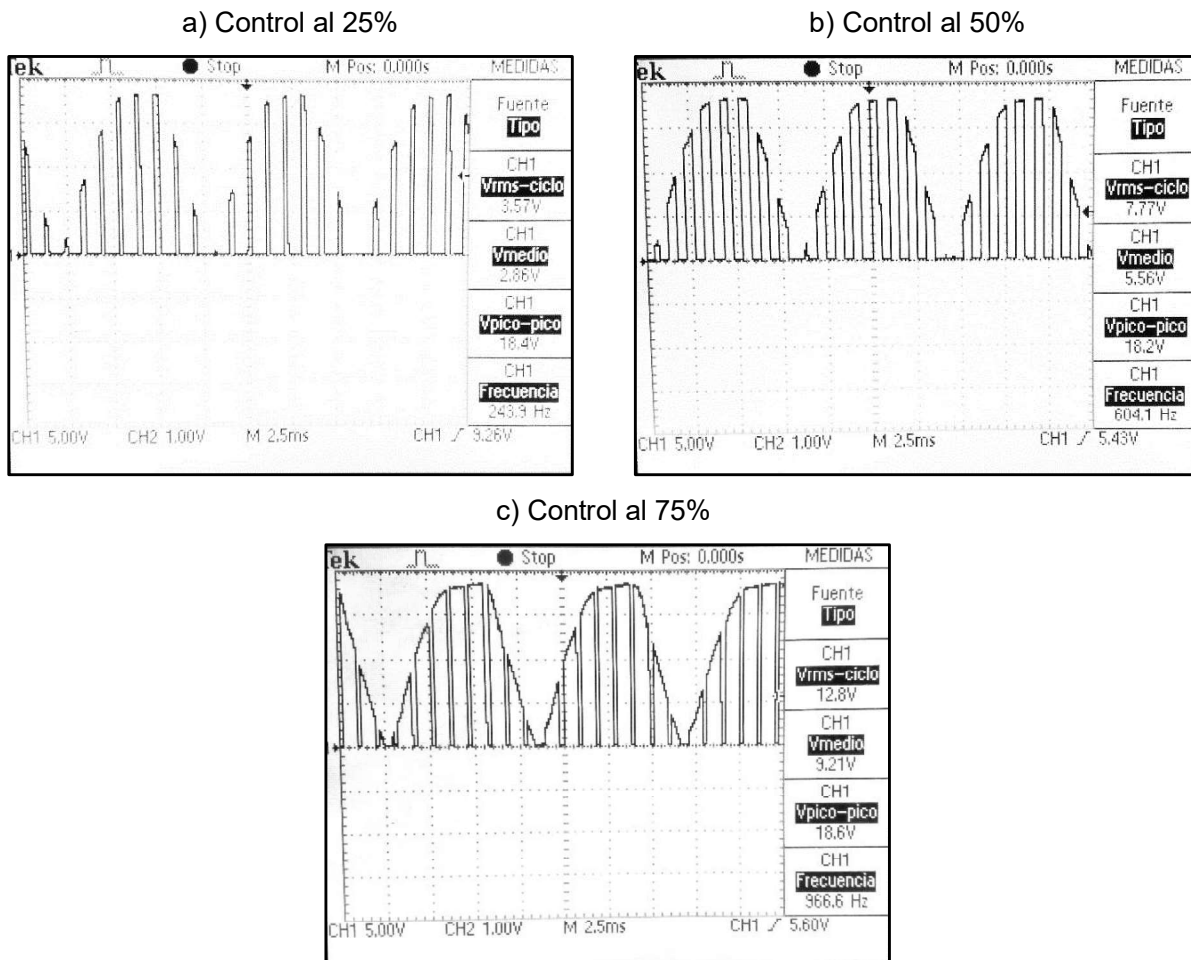


Figura 3.20 Formas de Onda Control Chopper
Elaboración: Propia

El control de fase directa y el control chopper son los controladores principales propuestos para el desarrollo del proyecto, sin embargo, se optó por implementar 2 controles adicionales como son el control de fase inversa y el de ciclo integral, con los cuales se puede observar de mejor manera el comportamiento del motor DC, familiarizando al estudiante sobre las aplicaciones y limitaciones de estos circuitos en el campo industrial.

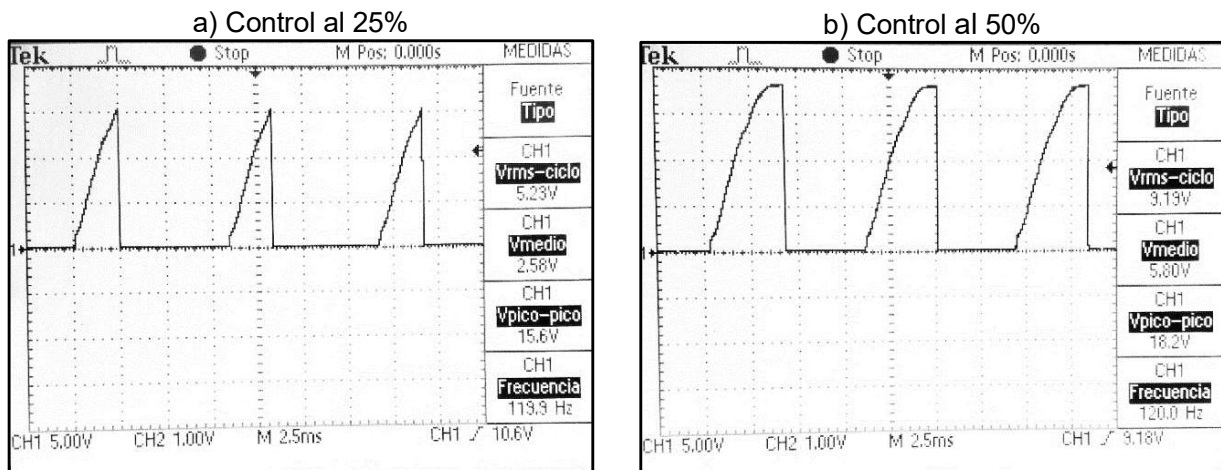
❖ ESTADO 3: CONTROL DE FASE INVERSA

Al pulsar el botón UP por tercera vez se pasa al control de fase inversa, el cual es controlado a través de la perilla de velocidad que es la encargada de ir variando el voltaje que determina el porcentaje al que trabaja el motor. Esta operación se visualiza en el LCD como se muestra en la figura 3.21.



Figura 3.21 Visualización Control Fase Inversa
Elaboración: Propia

En la Figura 3.22 se observa las formas de onda del control de fase inversa funcionando al 25%, 50% y 75% del voltaje nominal.



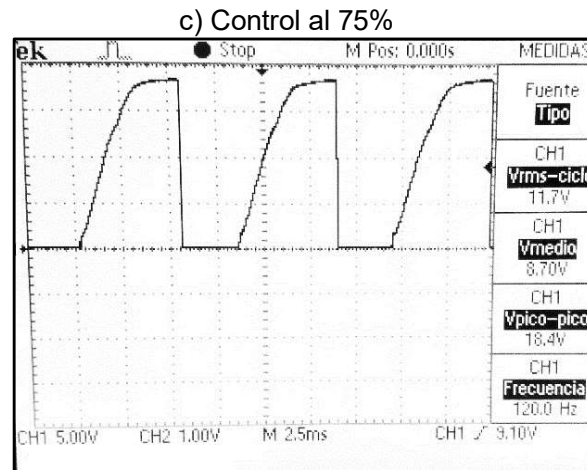


Figura 3.22 Formas de Onda Control Fase Inversa
Elaboración: Propia

❖ ESTADO 5: CONTROL DE CICLO INTEGRAL

En esta fase se pone en ejecución el cuarto control que es el de ciclo integral al pulsar una vez más el botón UP, el voltaje es controlada por la perilla ubicada en el panel de control y su valor se encuentra expresado en ciclos. El número de ciclos varía de 1 a 10 y toda esta operación se visualiza en el LCD (Figura 3.23).



Figura 3.23 Visualización Control de Ciclo Integral
Elaboración: Propia

El comportamiento de este tipo de control se muestra a través de las formas de onda de la Figura 3.24 a 3, 5 y 7 ciclos de la señal de entrada.

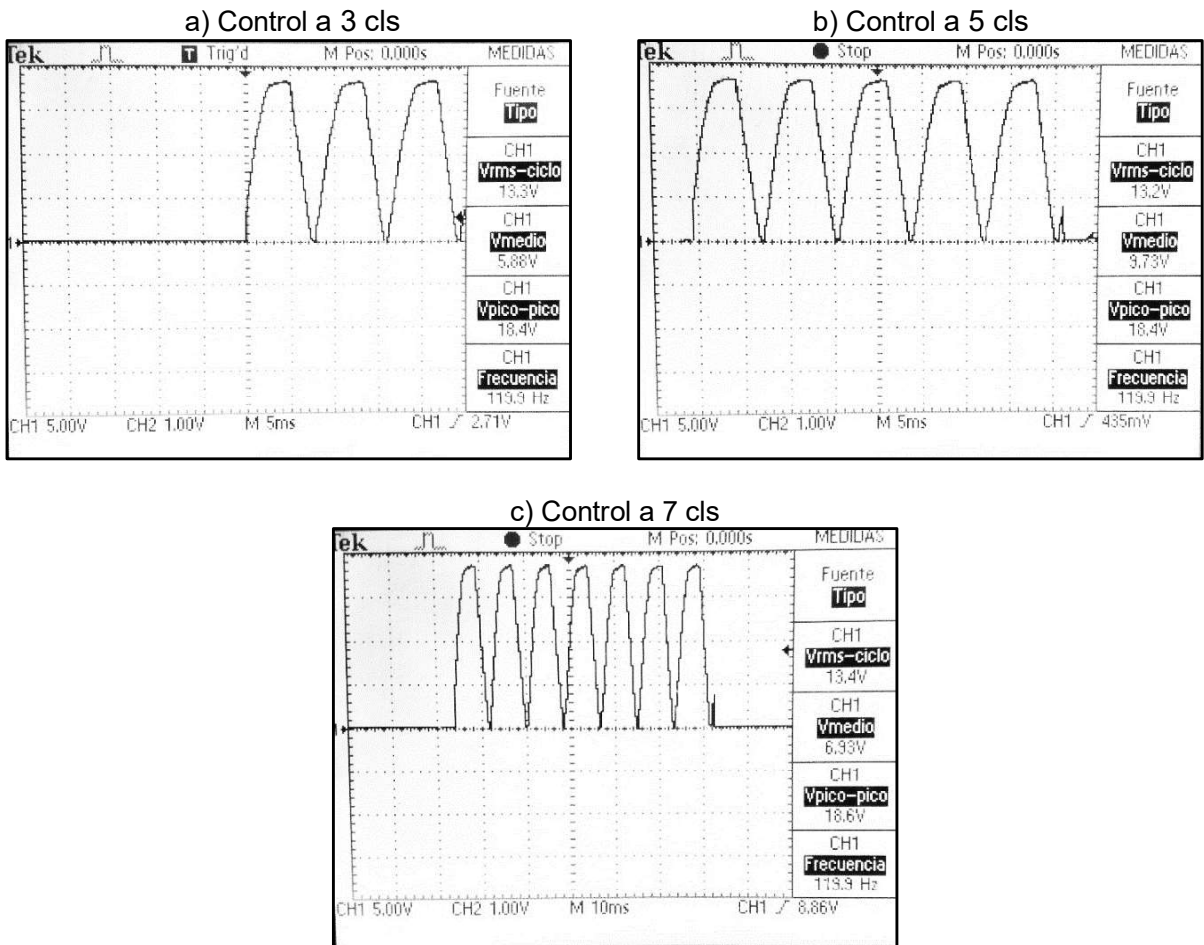


Figura 3.24 Formas de Onda Control por Ciclo Integral
Elaboración: Propia

❖ **ESTADO 6: MODO ENCENDIDO**

En esta fase al pulsar otra vez el botón UP el motor empieza a funcionar, pero sin ser comandado por cualquiera de los tipos de control mencionados anteriormente, por lo tanto, el motor se encuentra trabajando siempre con el voltaje nominal ya que al mover la perilla de velocidad el voltaje permanece constante y no se presentan cambios en el sistema. En la pantalla LCD se muestra el mensaje “Modo encendido” y “Motor en Espera” como se observa en la Figura 3.25.



Figura 3.25 Visualización Modo Encendido
Elaboración: Propia

3.7. UNIFICACIÓN DEL MÓDULO CON LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

En esta sección se llevó a cabo la unificación e implementación de todos los elementos que conforman el módulo electrónico, se hizo las conexiones de placas, transformadores, borneras y elementos de maniobra para la terminación del proyecto, como se muestra en la Figura 3.26 y cuyas conexiones tanto de la parte frontal como de la parte posterior se encuentran en las láminas del ANEXO F.

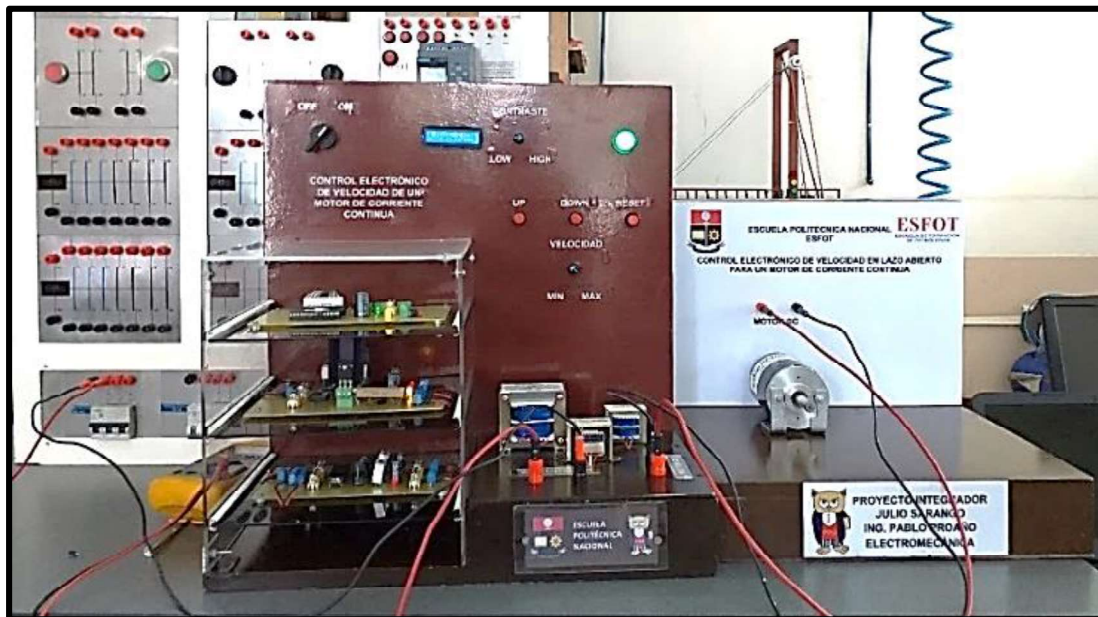


Figura 3.26 Unificación del Proyecto Final
Elaboración: Propia

• CONEXIÓN Y SEÑALETICA

Las conexiones de la parte frontal del sistema se realizan a través de cables 14 AWG (Figura 3.26) donde se conecta el módulo didáctico al motor de corriente continua y a la mesa de trabajo del Laboratorio de Tecnología Industrial para la utilización por parte de los estudiantes.

El cableado y conexión de todos los componentes se encuentran en la parte posterior del módulo donde cada conexión está cubierta con manguera espiral negra flexible con el fin de que los cables queden organizados de mejor manera, así mismo estos se encuentran debidamente identificados lo que hace que se pueda encontrar fácilmente la conexión de algún elemento por si se producen fallas en el sistema (Figura 3.27).

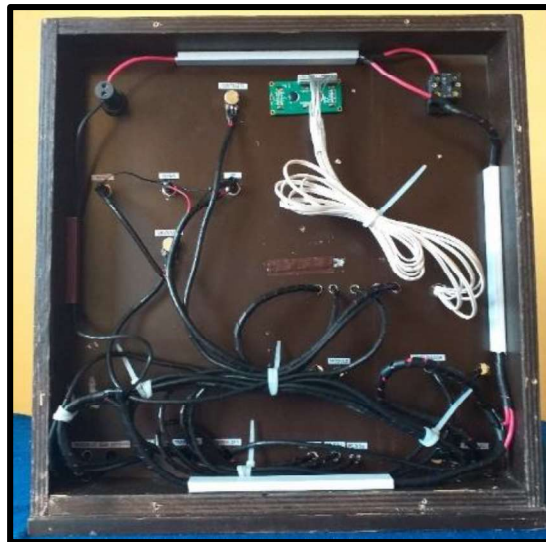


Figura 3.27 Cableado del Módulo Didáctico
Elaboración: Propia

• PARTES PRINCIPALES DEL MÓDULO DIDÁCTICO



Partes:

1. Placa de Fuentes.
2. Placa de Potencia.
3. Placa de Control.
4. Panel de Control.
5. Transformadores y borneras de alimentación.

Figura 3.28 Partes Principales del Módulo Didáctico
Elaboración: Propia

Las partes principales del módulo didáctico se muestran en la Figura 3.28, las mismas que son descritas a detalle para su mejor entendimiento

❖ PLACA DE FUENTES

La placa de fuentes es la encargada de generar los voltajes de 5 y 12 (V_{DC}) permanentemente para que funcionen los demás circuitos. Cada fuente cuenta con alimentación común, pero con tierras independientes.

Para esta placa se utiliza dos transformadores uno de 110/6 (V_{AC}) y otro de 110/12 (V_{AC}), donde a través de los puentes de diodos se rectifica la corriente alterna a corriente continua que sale de los transformadores, luego esta señal pasa por medio de un condensador de 2200 (μF) que reduce el rizado emitido por el puente, seguido pasa por el regulador de voltaje 7805 y 7812, para estabilizar los voltaje de 5 y 12 (V_{DC}) respectivamente, finalmente pasa por otro capacitor de 2200 (μF) para que la corriente que circula por el circuito sea más pura, es decir los capacitores ayudan a purificar más la corriente continua de salida (Figura 3.29).

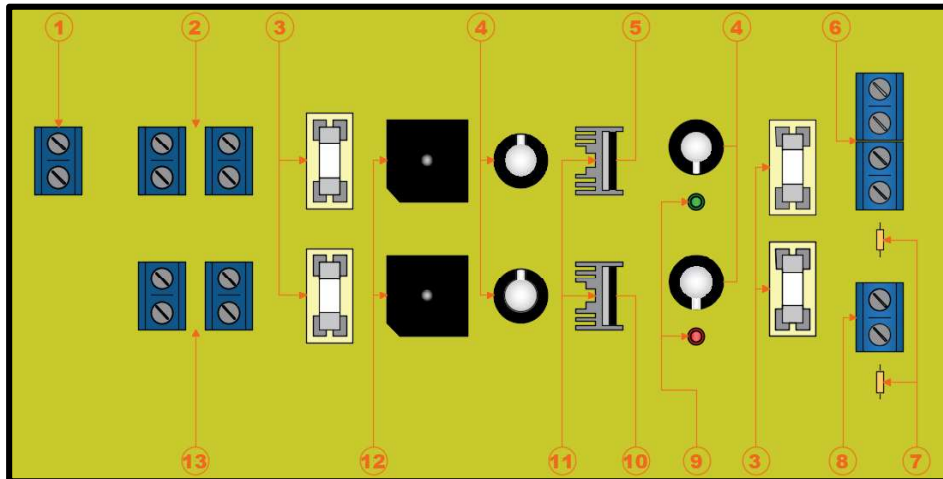


Figura 3.29 Placa de Fuentes
Elaboración: Propia

Partes componentes:

1. Bornera de alimentación 120 (V_{AC}).
2. Borneras para transformador 110/6 (V_{AC}).
3. Fusibles de 2 (A).

4. Capacitores electrolíticos de 2200 (μF).
5. Regulador de voltaje 7805.
6. Borneras de salida 5 (V_{DC}).
7. Resistencias de 330 (Ω).
8. Bornera de salida 12 (V_{DC}).
9. Diodos led.
10. Regulador de voltaje 7812.
11. Disipadores de calor.
12. Puente de diodos de 10 (A).
13. Borneras para transformador 110/12 (V_{AC}).

El dimensionamiento de los fusibles se hizo con base a los dispositivos utilizados y ya que estos no consumen demasiada corriente se colocó fusibles de 2 (A) que es un valor conveniente para la protección de los circuitos.

❖ PLACA DE POTENCIA

La placa de potencia es la encargada de controlar la velocidad del motor DC mediante el encendido y apagado del mosfet, el mismo que se dispara por medio de una señal PWM que le entrega el microcontrolador. Esta placa está conformada por 2 circuitos: el de sincronización con la red y el de potencia, los cuales se encuentran conectados a través de una bornera común por la cual se alimenta a la placa con 12 (V_{AC}) como se muestra en la Figura 3.30.

El circuito de sincronización está formado por un puente de diodos que rectifica el voltaje de entrada, la señal pasa por una resistencia de 3 ($k\Omega$) a 15 (W) y es entregada al diodo emisor del optoacoplador el cual conmuta la señal de la onda cada vez que esta cruza por cero, finalmente la señal pasa por medio de un transistor y se tiene la señal de salida amplificada que va conectada a uno de los microcontroladores.

El circuito de potencia rectifica el voltaje de entrada a través del puente de diodos, pasa por el mosfet y luego por un diodo rápido de 6 (A) que se encuentra conectado inversamente en paralelo con la resistencia de potencia y el motor, en donde, por medio

del diodo se descarga la corriente que queda almacenada en la bobina del motor cada vez que se resetea o se apaga el módulo.

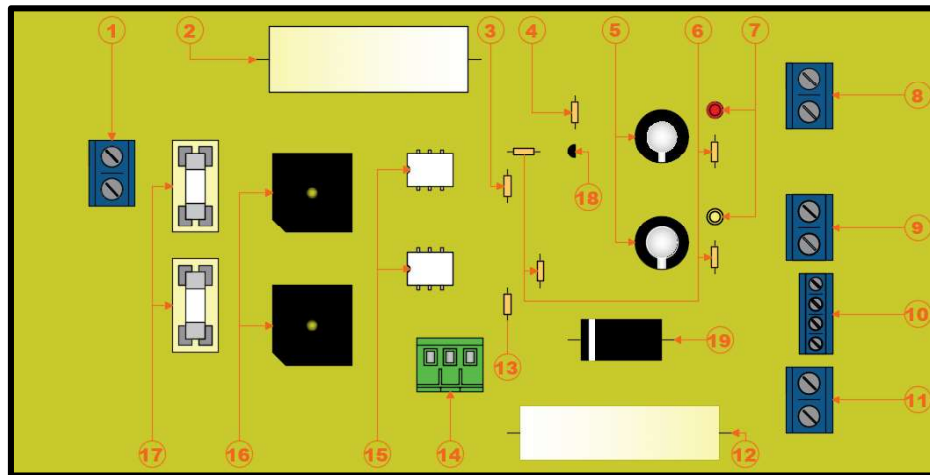


Figura 3.30 Placa de Potencia
Elaboración: Propia

Partes componentes:

1. Bornera de alimentación 12 (V_{AC}).
2. Resistencia de potencia de 3 (kΩ) – 15 (W).
3. Resistencia de 1 (kΩ).
4. Resistencia de 560 (kΩ).
5. Capacitores electrolíticos de 2200 (μF).
6. Resistencias de 330 (Ω).
7. Diodos led.
8. Bornera de alimentación 5 (V_{DC}).
9. Bornera de alimentación 12 (V_{DC}).
10. Bornera para la potencia.
11. Bornera de alimentación para motor DC.
12. Resistencia de potencia 2.7 (kΩ) – 10 (W).
13. Resistencia de 5.6 (kΩ).
14. Mosfet IRFP240.
15. Optoacopladores 4n25.
16. Puente de diodos de 10 (A).
17. Fusible de 5 (A).

18. Transistor 2N3904.

19. Diodo rápido de 6 (A).

Para esta placa se colocó 2 fusibles de diferente valor, uno de 2 (A) para la sincronización con la red puesto que los dispositivos utilizados en este circuito no consumen mucho corriente y otro de 5 (A) para el circuito de potencia debido a que en este circuito va conectado el motor DC por tal motivo se necesita de un mayor valor de corriente que soporte el funcionamiento y arranque del motor.

❖ PLACA DE CONTROL

La placa de control es la encargada de ordenar, administrar y regular el comportamiento de todo el sistema mediante la utilización y programación de los microcontroladores, es decir en esta etapa se carga y ejecuta todas las instrucciones que se van a realizar en el menor tiempo posible, las mismas que se visualizan por medio del dispositivo LCD.

Para el sistema Maestro - Esclavo se utilizó 2 microcontroladores Atmega 164P que es un microcontrolador de alto rendimiento y baja potencia, tiene 8 kbytes de flash programable con capacidad para lectura y escritura (Figura 1.13).

La placa cuenta con un capacitor electrolítico de 2200 (μ F) para la filtración de ruidos y distorsiones producidas en el LCD (Figura 3.31).

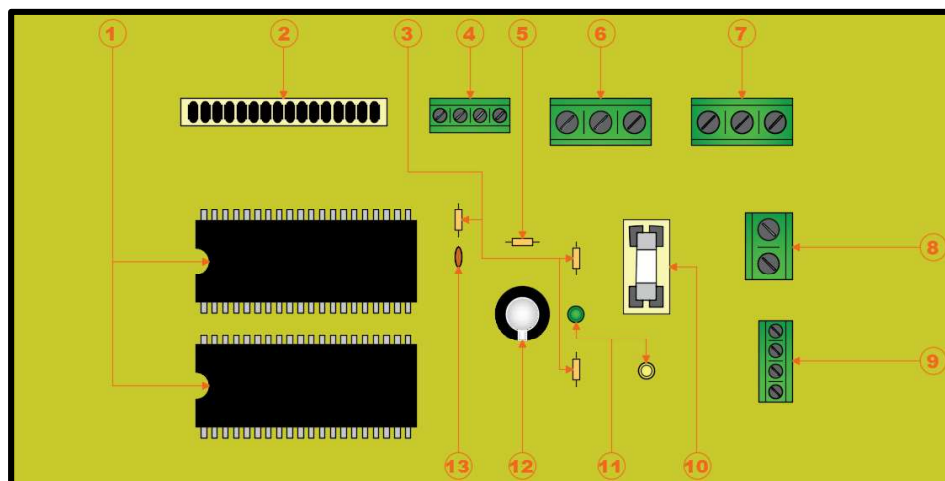


Figura 3.31 Placa de Control
Elaboración: Propia

Partes componentes:

1. Microcontroladores Atmega 164P.
2. Conectores del LCD.
3. Resistencias de 330 (Ω).
4. Bornera para pulsadores.
5. Resistencia de 1 ($k\Omega$).
6. Bornera para contraste de LCD.
7. Bornera para control de velocidad del módulo.
8. Bornera de alimentación de 5 (V_{DC}).
9. Bornera para la potencia.
10. Fusible de 2 (A).
11. Diodos led.
12. Capacitor electrolítico de 2200 (μF).
13. Capacitor cerámico de 1 (μF).

Para esta placa al igual que en los circuitos anteriores se estimó la corriente total consumida por los dispositivos utilizados por lo que se colocó un fusible de 2 (A) que es el suficiente para la protección de la placa.

Cada una de las placas cuenta con diodos led que indican el correcto funcionamiento de las mismas y las características de los dispositivos electrónico principales se encuentran especificadas en la sección 3.2.

❖ PANEL DE CONTROL

El panel de control es el encargado de comandar el sistema a través de los dispositivos de maniobra instalados en el mismo como se muestra en la Figura 3.32.

Partes componentes:

1. Selector On / Off.
2. Pulsadores (UP, DOWN y RESET).
3. Perilla de variación de velocidad.
4. Perilla de contraste LCD.
5. Pantalla LCD (16x2).

6. Luz piloto.

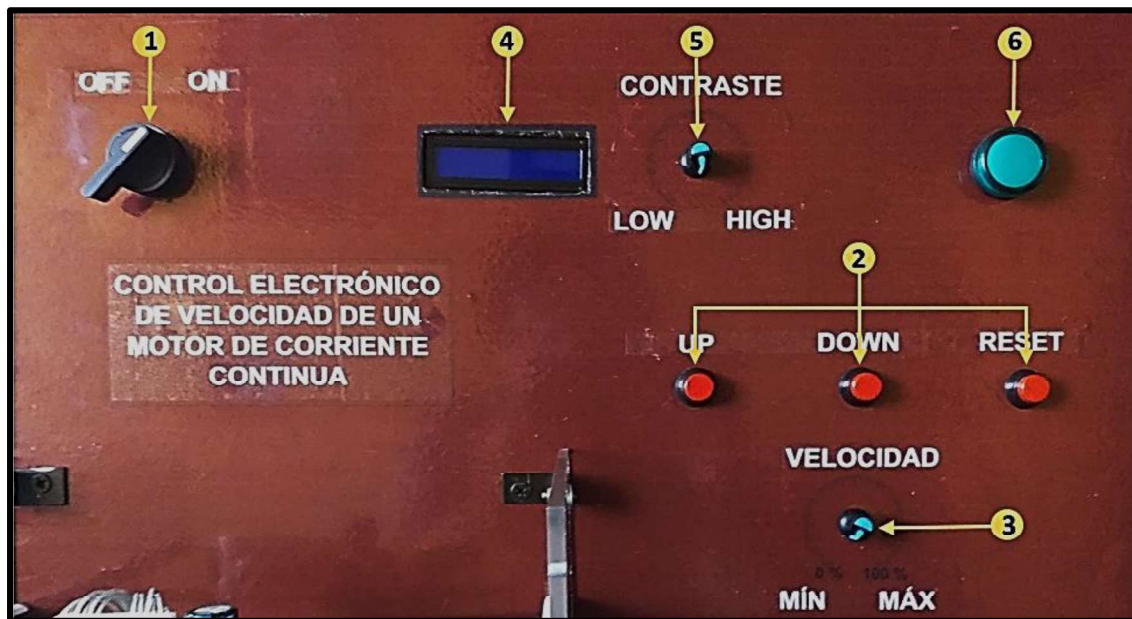


Figura 3.32 Panel de Control
Elaboración: Propia

- **Selector On / Off:** Es el encargado de encender o apagar el módulo para esta acción se usó un selector de 2 posiciones, cuya función principal es abrir o cerrar contactos de acuerdo a una posición seleccionada de manera manual.

El selector recibe la alimentación de 120 (V_{AC}) pero no pasará voltaje a las placas mientras este en la posición 0 (Off) y el módulo solo empieza a funcionar cuando se cambie el selector a la posición 1 (On). En la figura 3.33 se muestra el funcionamiento del selector de 2 posiciones utilizado en el módulo.

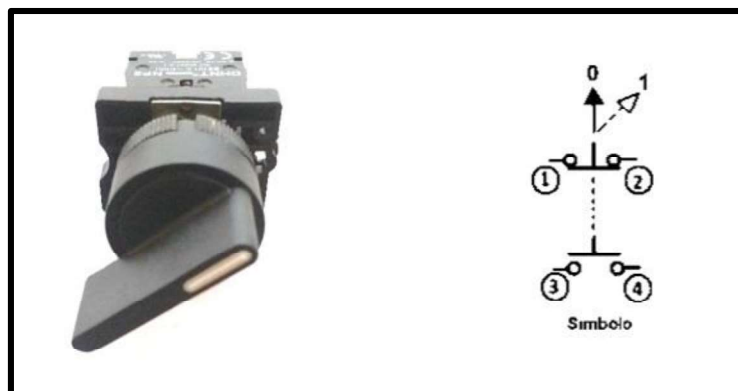


Figura 3.33 Funcionamiento del selector de 2 posiciones
Elaboración: Propia

- **Pulsador Up:** Cuando el módulo está encendido, este botón cumple con la función de iniciar las acciones de operación del motor, empezando por el modo apagado, cambia a control de fase directa, luego a control chopper, control de fase inversa, modo encendido y finalmente a control de ciclo integral, estas acciones se realizan pulsando el elemento una sola vez para cambiar a los diferentes estados (Figura 3.34).

- **Pulsador Down:** Este botón cumple con la función de regresar las acciones que se inició con el botón up o iniciar las acciones del motor descendentemente desde el modo encendido y al igual que el anterior botón, se debe ir pulsando una sola vez para ir cambiando de estado. Para estos botones se utilizó pulsadores de panel normalmente abiertos, cuya conexión se muestra en la Figura 3.34.



Figura 3.34 Conexión de Pulsadores UP y DOWN
Elaboración: Propia

- **Pulsador Reset:** Mediante este botón se resetea al microcontrolador en cualquier momento de funcionamiento del motor, de esta forma el sistema vuelve a las condiciones iniciales donde el motor se encuentra apagado, para esta acción se utilizó un pulsador de panel normalmente abierto y su conexión se muestra en la Figura 3.35.



Figura 3.35 Conexión pulsador RESET
Elaboración: Propia

- **Perilla de velocidad:** Selecciona el porcentaje de voltaje al cual trabaja el motor cuando se utiliza cualquiera de los tipos de controles, regulando entre 0% a 100% a excepción del control integral que opera por ciclos, para estas funciones se utilizó un potenciómetro de 1 k Ω , la conexión se muestra en la Figura 3.36.

- **Perilla de contraste:** Regula la tonalidad de iluminación del LCD a través de un potenciómetro de 1 k Ω , donde se puede ir variando su intensidad desde bajo (low) hasta máximo (high). El potenciómetro está cubierto por una perilla para un mejor ajuste como se muestra en la Figura 3.36.



Figura 3.36 Conexión del Potenciómetro
Elaboración: Propia

- **LCD:** Ayuda a la lectura y visualización de los diferentes estados que trabaja el motor, así como también el valor del voltaje que va variando con los tipos de controles implementados. Se utilizó una pantalla LCD de 16x2 (16 caracteres y 2 líneas), el cual se muestra en la Figura 3.37.

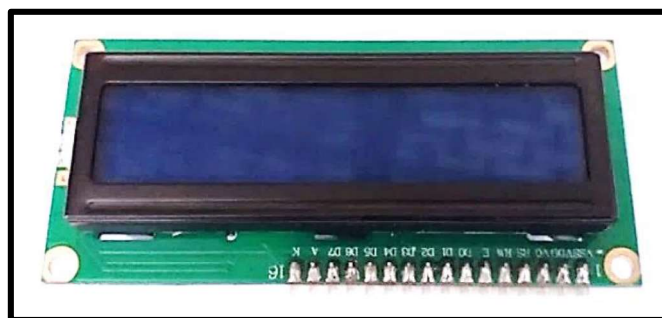


Figura 3.37 Pantalla LCD
Elaboración: Propia

- **Luz Piloto:** Tiene como función indicar cuando está conectado y encendido el módulo didáctico, para su posterior utilización. Para esta función se utilizó una lampara piloto led verde de 29 (mm) como el de la Figura 3.38.



Figura 3.38 Luz Piloto
Elaboración: Propia

❖ TRANSFORMADORES Y BORNERAS

Los transformadores son los utilizados para las fuentes de alimentación de placas electrónicas y las borneras son los terminales de alimentación para el módulo didáctico y el motor de corriente continua (Figura 3.39).

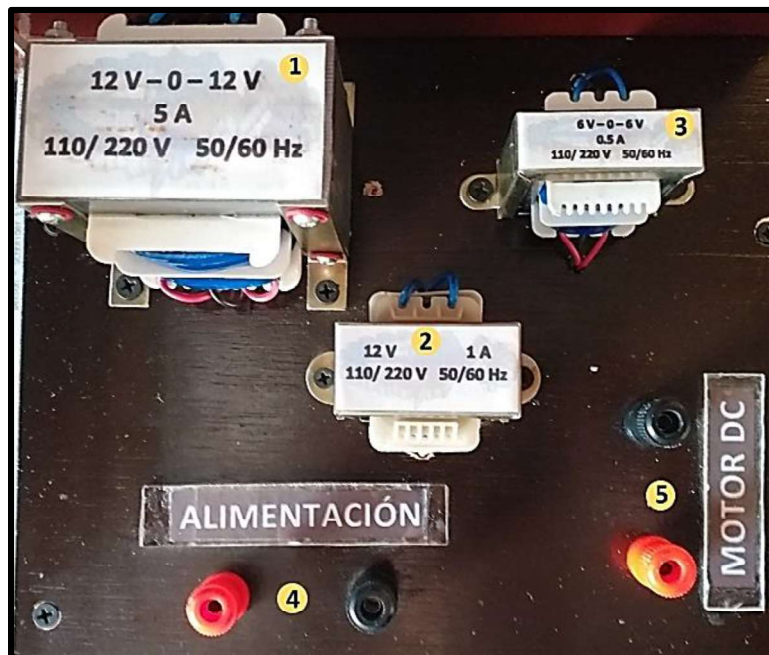


Figura 3.39 Transformadores y borneras de Alimentación
Elaboración: Propia

Partes componentes:

1. Transformador para el motor DC.
2. Transformador para la fuente de 12 (V_{DC}).
3. Transformador para la fuente de 5 (V_{DC}).
4. Borneras de Alimentación del módulo.
5. Borneras de conexión para el Motor DC.

Para las fuentes de voltaje y el motor DC se utilizó 3 transformadores de diferentes características como se indica en la Tabla 3.6, mientras que para los terminales de conexión se usó 2 pares de borneras hembra del tipo Jack banana (Figura 3.30).



Figura 3.40 Borneras Jack Banana
Elaboración: Propia

Tabla 3.6. Características de los Transformadores

TRANSFORMADOR	PRIMARIO	SECUNDARIO	CORRIENTE	FRECUENCIA
1	110 /220 (V)	12/24 (V)	5 (A)	50/60 (Hz)
2	110 /220 (V)	12 (V)	1 (A)	50/60 (Hz)
3	110 /220 (V)	6 /12 (V)	0,5 (A)	50/60 (Hz)

Elaboración: Propia.

Como se mencionó anteriormente el sistema requiere de 3 transformadores y de acuerdo a las cargas estimadas para cada placa (sección 3.7), se seleccionó el valor de la corriente de cada transformador, por lo tanto para las fuentes de voltaje se utiliza los transformadores de 12 y 6 voltios con una corriente de 0,5 y 1 (A) y para la parte de potencia se utiliza el otro transformador de 12 (V) con corriente de 5 (A) puesto que este

circuito es acondicionado para el funcionamiento del motor y por ende existe mayor consumo de corriente.

3.8. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas de funcionamiento se realizaron con el fin de lograr el cumplimiento de los objetivos establecidos, para lo cual se evaluó la funcionalidad del módulo didáctico mediante las siguientes pruebas.

- Pruebas de voltaje de Alimentación.
- Funcionamiento del Hardware.
- Funcionamiento del Software
- Linealización de Voltajes

• VOLTAJES DE ALIMENTACIÓN

Esta prueba consiste en verificar los valores de las tensiones AC y DC necesarias para el funcionamiento del proyecto, se comparó las fuentes de alimentación reales con las fuentes de alimentación ideales para cada circuito, con el fin de que cada voltaje utilizado sea el adecuado ya que si un valor no está dentro de un rango de error tolerable puede dañar o quemar los circuitos y elementos de las placas electrónicas. Para el cálculo del margen de error se utilizó la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Error} = \frac{\text{Valor ideal} - \text{Valor real}}{\text{Valor ideal}} \times 100\% \quad \text{Ec.1}$$

Los valores ideales son los voltajes que se necesita para alimentar a los circuitos y placas del módulo didáctico, mientras que los valores reales son los voltajes medidos de forma práctica, los mismos que se los obtiene por medio de un multímetro, tal como se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Voltajes de Alimentación AC y DC

ALIMENTACIÓN	VOLTAJE IDEAL	VOLTAJE REAL	ERROR (%)
Módulo	120 (V _{AC})	121,2 (V _{AC})	± 1
Motor DC	12 (V _{DC})	11,48 (V _{DC})	± 4,3
Placa de potencia	12 (V _{DC})	11,90 (V _{DC})	± 0,83
Placa de control y potencia	5 (V _{DC})	4,98 (V _{DC})	± 0,4

Elaboración: Propia.

Los valores de voltajes de 12 (V_{DC}) indicados en la Tabla 3.7 no son tomados desde una misma fuente, ya que para cada caso se utilizó una fuente de alimentación diferentes como se indicó en la descripción de transformadores de la sección 3.7.

• FUNCIONAMIENTO DEL HARDWARE

La prueba consiste en la verificación de funcionamiento de todos los componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos y electromecánicos del módulo didáctico con los cuales se comanda al motor. Esta prueba se aplica una vez encendido el módulo en donde se testea a cada uno de los componentes y se establece si cumplen o no con su función específica, tal como se muestra en la Tabla 3.8 de la evaluación del hardware.

Tabla 3.8. Evaluación de funcionalidad del Hardware

ELEMENTO (HARDWARE)	FUNCIÓN	CUMPLE	
		SI	NO
Selector de 2 posiciones	Enciende y apaga el módulo una vez que se encuentra energizado.	✓	
Pulsador UP	Inicia las acciones de funcionamiento del motor con los diferentes tipos de controles.	✓	
Pulsador DOWN	Inicia las acciones del sistema o regresa al control que se inició con el botón Up.	✓	

Pulsador RESET	Reinicia las acciones del módulo en cualquier momento de funcionamiento del motor.	✓	
Perilla de velocidad	Varía la velocidad del motor cuando trabaja con cualquiera de los controles.	✓	
Perilla de contraste	Regula la intensidad de iluminación del LCD.	✓	
Pantalla LCD	Muestra el tipo de control que se está utilizando y el valor del voltaje expresado en porcentaje.	✓	
Luz Piloto	Indica cuando el módulo está conectado y encendido.	✓	
Placa de Fuentes	Entrega los voltajes necesarios de 5 y 12 (V_{DC}).	✓	
Placa de Potencia	Controla la velocidad del motor DC mediante los pulsos que le envía el mosfet.	✓	
Placa de Control	Controla el comportamiento de todo el sistema a través de los microcontroladores.	✓	

Elaboración: Propia.

• FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE

Esta prueba consiste en la revisión de la forma de actuación de los programas desarrollados para el control de velocidad del motor en donde se comprueba si el funcionamiento de cada tipo de control es el esperado. La prueba cumple además con el propósito de encontrar posibles fallos de implementación y funcionalidad del módulo en general, con lo cual se garantiza que la utilización de este sea de forma segura para la ejecución de las prácticas en el laboratorio. Para esta prueba se hizo una evaluación del software con las diferentes funciones que debe cumplir el módulo tal como se muestra en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Evaluación de funcionalidad del Software

SISTEMA (SOFTWARE)	FUNCIÓN	CUMPLE	
		SI	NO
MAESTRO - ESCLAVO	Módulo empieza en Modo Apagado.	✓	
	Motor trabaja en Control de Fase Directa.	✓	
	Motor trabaja en Control Chopper.	✓	
	Motor trabaja en Control de Fase Inversa.	✓	
	Motor trabaja en Control de Ciclo Integral.	✓	
	Motor trabaja en Modo Encendido.	✓	
	Escritura del LCD.	✓	
	Lectura del canal analógico para el ancho de pulso.	✓	
	Comando de los pulsadores (Up, Down y Reset).	✓	
	Generación de PWM sincronizada con la red.	✓	

• **LINEALIZACIÓN DE VOLTAJE**

Esta prueba consiste en la verificación del comportamiento del motor cuando se varía el voltaje de los tipos de controles implementados, con el fin de que el funcionamiento del motor sea lo más estable posible. La prueba solo se aplicó para el control de fase directa, chopper e inversa puesto que para el de ciclo integral no es necesario, debido que para funcionamiento de este tipo control la curva de voltaje ya será lineal.

En primer lugar, se puso el módulo en modo encendido y con la ayuda de un multímetro se midió el voltaje en los terminales de conexión del motor DC, luego se calculó el valor del voltaje desde 0% a 100% con intervalos de 5%.

Para conocer la variación de voltaje cada 5% se tomó como referencia el voltaje nominal del motor y se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_{5\%} = \frac{11,48 \times 5\%}{100\%} = 0,57 \text{ (V)} \quad \text{Ec.2}$$

Con los valores calculados se cambia de estado de operación del módulo y con la perilla de velocidad se establece uno a uno los voltajes en el multímetro y se determina los valores porcentuales del nivel de voltaje del control utilizado como se muestra en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10. *Valores de Curvas de Voltaje*

Voltaje		N. VOLTAJE (%)		
(%)	(V)	F. DIRECTA	CHOPPER	F. INVERSA
0	0	0	0	0
5	0,57	43	-	3
10	1,14	48	1	7
15	1,71	52	4	10
20	2,28	56	7	13
25	2,85	58	10	16
30	3,42	61	14	18
35	3,99	64	17	21
40	4,56	66	20	23
45	5,13	68	24	25
50	5,70	71	28	27
55	6,27	73	31	29
60	6,84	75	35	32
65	7,41	78	39	34
70	7,98	80	43	37
75	8,55	82	47	40
80	9,12	85	52	42
85	9,69	88	57	45
90	10,26	90	62	49
95	10,83	94	69	54
100	11,48	100	100	60

Elaboración: Propia.

Las Figuras 3.41, 3.42 y 3.43 muestran las curvas de voltaje de los controles de fase directa, chopper y fase inversa antes de ser linealizados.

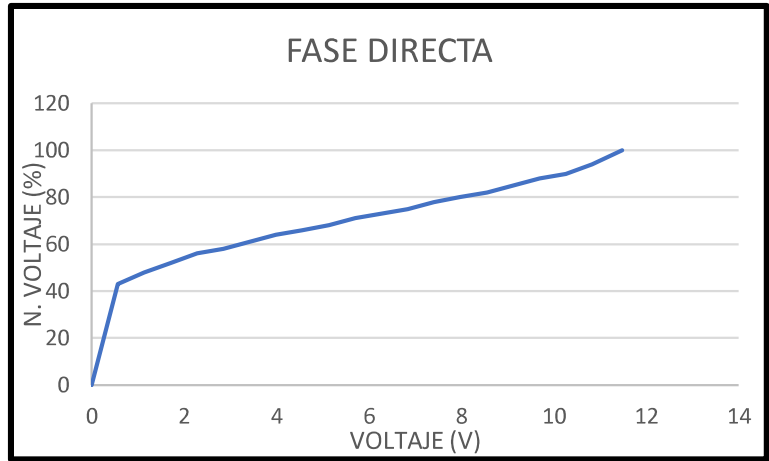


Figura 3.41 Voltajes Fase Directa
Elaboración: Propia

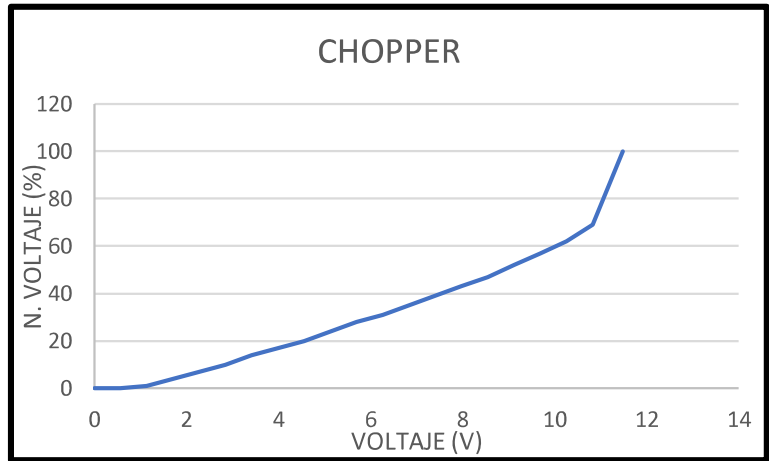


Figura 3.42 Voltajes Control Chopper
Elaboración: Propia

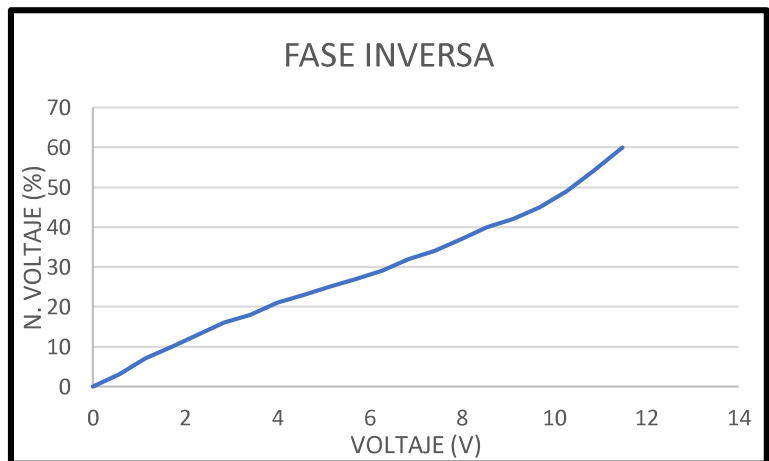


Figura 3.43 Voltajes Fase Inversa
Elaboración: Propia

Para el sistema de linealización se dividió cada una de las curvas en 2 partes en donde se aplicó una línea de tendencia para cada sección, se tomó las ecuaciones correspondientes y se las introdujo en el programa del Maestro, luego se realizó la medición de valores como en el procedimiento anterior y finalmente se insertó las gráficas para cada tipo de control como se muestra en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11. *Valores de Linealización*

Voltaje		N. VOLTAJE (%)		
(%)	(V)	F. DIRECTA	CHOPPER	F. INVERSA
0	0	0	0	0
5	0,57	5	0	5
10	1,14	9	9	12
15	1,71	15	13	18
20	2,28	21	21	23
25	2,85	26	28	28
30	3,42	31	34	33
35	3,99	36	38	37
40	4,56	41	43	42
45	5,13	46	48	47
50	5,70	50	52	52
55	6,27	55	56	56
60	6,84	60	61	61
65	7,41	64	64	66
70	7,98	69	69	70
75	8,55	74	72	76
80	9,12	78	76	82
85	9,69	83	80	86
90	10,26	89	84	91
95	10,83	96	89	96
100	11,48	100	100	100

Elaboración: Propia.

La linealización ayuda al mejor rendimiento del motor de corriente continua sin embargo no se encuentran en su totalidad debido a los armónicos que entrega cada tipo de control y por tal motivo no llegan a ser 100% lineales, así mismo se puede observar que en el control chopper no se alcanza a medir valores muy bajos, pero esto es normal debido al comportamiento propio del control. En las gráficas 3.44, 3.45 y 3.46 se muestra la linealización para los 3 tipos de controles.

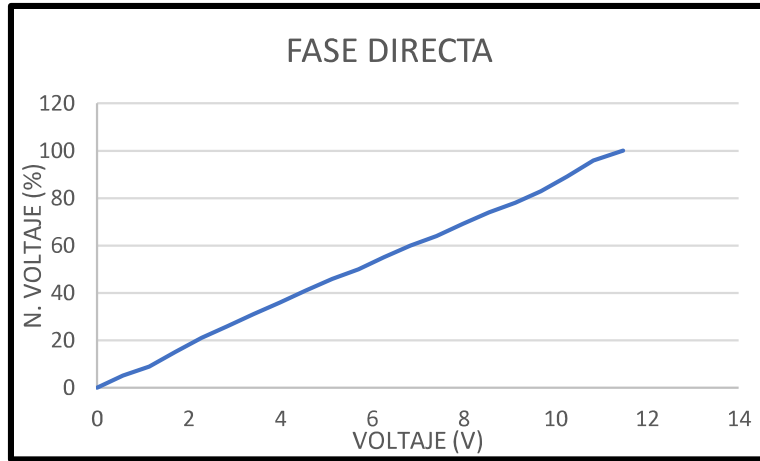


Figura 3.44 Linealización Fase Directa
Elaboración: Propia

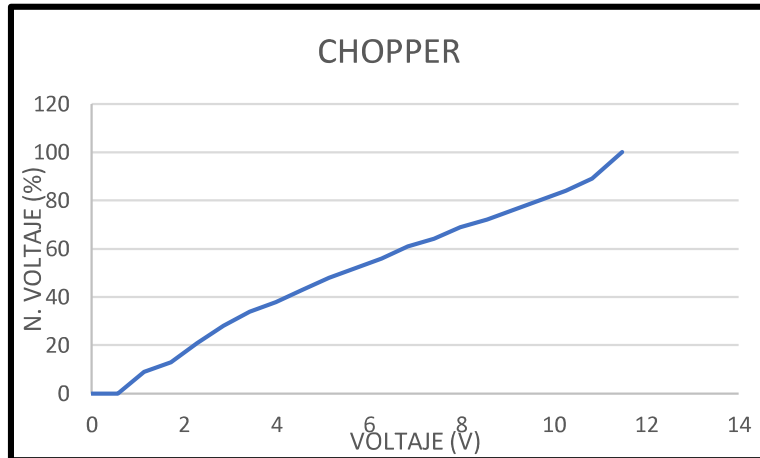


Figura 3.45 Linealización Control Chopper
Elaboración: Propia

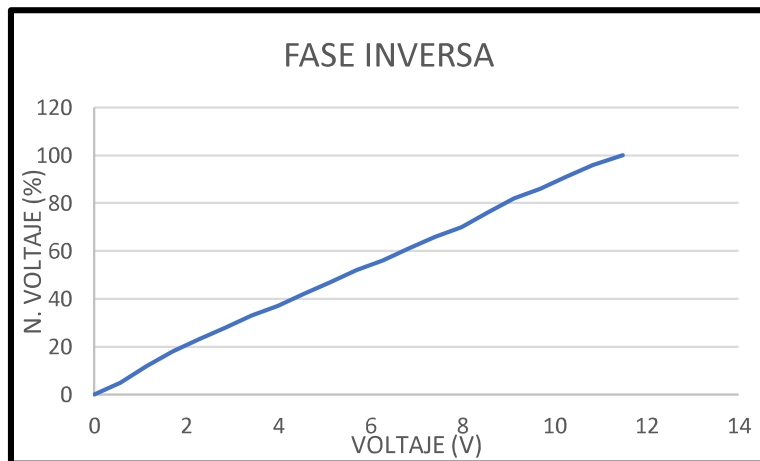


Figura 3.46 Linealización Fase Inversa
Elaboración: Propia

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se cumple con el objetivo general al diseñar e implementar un módulo didáctico para el control electrónico de velocidad en lazo abierto de un motor de corriente continua con 4 tipos de controles: fase directa e inversa, chopper y ciclo integral, el mismo que se construyó en un plazo de 6 meses.
- Se logró cumplir con los objetivos específicos al diseñar los circuitos electrónicos, construir las placas para el control del motor y determinar los requerimientos técnicos necesarios de los componentes que intervienen en la construcción del módulo didáctico.
- Fue necesario hacer cambios en el circuito de sincronización con la red puesto que el sistema de doble transistor que se puso debe acoplarse a los niveles de voltaje manejados ya que no se utiliza las mismas resistencias para 120 (V) que para 12 (V).
- Para los disipadores de calor de los elementos semiconductores, no fue necesario el dimensionamiento ya que se trabaja con voltajes bajos por lo que se optó por colocar disipadores lo suficientemente fuertes, además que el módulo cuenta con un sistema de ventilación que mantiene en constante enfriamiento a los dispositivos electrónicos.
- La etapa de programación es la que demanda mayor tiempo en cuanto a la implementación del módulo, esto debido a las continuas modificaciones que se realizan con el fin de optimizar el funcionamiento del sistema.
- Al variar la velocidad se puede observar que para valores muy bajos de voltaje el motor no produce el torque suficiente para que se produzca la rotación del eje.
- El control Chopper presenta más distorsiones y armónicos en el sistema que los otros 3 controles, lo que dificulta establecer valores de voltaje pequeños para sacar de la inercia al motor.
- El control de Ciclo Integral se caracteriza porque cuando se alimenta el sistema deja pasar un número entero de ciclos y bloquea otro cierto número de ciclos contados a partir desde el cruce por cero de la señal de entrada, siendo este el control más utilizado en procesos industriales.

- Los controles de fase directa e inversa requieren de sincronización con la red para que detecte los cruces por cero y se produzca el ángulo de disparo proporcionado por el mosfet.
- En las pruebas de funcionamiento se pudo observar que las salidas de voltaje no eran lineales debido al propio comportamiento de los controladores, por lo que se insertó un sistema de linealización en la programación de los microcontroladores.
- El sistema de linealización ayuda a que el motor tenga un mayor rendimiento ya que al no contar con este sistema la tensión aplicada para un mismo valor de voltaje la variación de velocidad será muy diferente para cada caso.
- El módulo didáctico se encuentra en perfecto estado y opera correctamente debido a las pruebas de funcionalidad que se realizó, lo que garantiza el buen desarrollo de las practicas propuestas en el ANEXO G.

4.2. RECOMENDACIONES

- Leer el manual de funcionamiento mostrado en el ANEXO H antes de manipular el módulo con el fin de hacer un correcto uso del mismo y evitar daños o fallas en los componentes del módulo cuando se lo ponga en operación.
- Al momento de grabar los microcontroladores verificar que estén colocados correctamente y que la configuración de “fusebits” sea la adecuada ya que se puede bloquear o quemar al microcontrolador.
- Verificar que los cables que alimentan al módulo del motor estén bien sujetos a las borneras y que no estén cerca del eje ya que estos podrían soltarse o envolverse provocando accidentes en los estudiantes y daños en el módulo.
- Tener bien en claro los conceptos sobre cuál es el ángulo de disparo y el ángulo de conducción para poder entender el comportamiento de los controles implementados.
- No tener mucho tiempo en funcionamiento el control de ciclo integral ya que este puede causar daños en el sistema y reducir la vida útil del motor, debido a que este control fue implementado para demostraciones a nivel estudiantil y al ser un sistema en lazo abierto está propenso a perturbaciones exteriores que pueden perjudicar en el rendimiento del mismo.

- Realizar posibles modificaciones en el módulo acoplado un sensor de velocidad (encoder) al motor, que ayude a la toma de las lecturas de los valores de la velocidad al variar el voltaje en el sistema.
- Considerar los lineamientos y mejoras a futuro en el módulo como el cambio del motor por uno de mayor voltaje y potencia por lo que se debe revisar las características técnicas de los dispositivos electrónicos utilizados, las cuales se encuentran especificadas en el ANEXO A.
- Realizar las tareas de mantenimiento respectivas en el módulo didáctico que permitan prolongar la vida útil de los dispositivos electrónicos utilizados para el control de velocidad de un motor DC.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tesoulsing P&B S.A., «Tesoulsing P&B S.A.» 2014. [En línea]. Available: <http://yaskawaecuador.wixsite.com/tesoulsing-1>.
- [2] G. Enríquez Harper, Curso de Máquinas de Corriente Continua, Limusa, 2005.
- [3] E-Ducativa Catedu, «Motores de Corriente Continua - Constitución,» [En línea]. Available:http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//4750/4933/html/43_constitucin.html.
- [4] S. Chapman, Máquinas Eléctricas, Quinta ed., México: McGraw-Hill, 2012.
- [5] J. R. Vilorio, Motores de Corriente Continua, Madrid: Paraninfo, 2014.
- [6] G. Henriquez Harper, Manual de instalaciones electromecánicas, México, D.F.: Limusa, 2004.
- [7] I. Mecafenix, «Electricidad Industrial,» [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-corriente-continua/>.
- [8] M. Rashid, Electrónica de Potencia, México: Pearson, 2015.
- [9] I. Mecafenix, «Electrónica y Electricidad,» [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/optoacoplador/>.
- [10] Alldatasheet, «Electronic Components Datasheet Search,» [En línea]. Available: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/251412/VISHAY/IRFP240.html>.
- [11] Molina, «Reguladores Integrados de Tensión,» [En línea]. Available: http://www.profesormolina.com.ar/electronica/componentes/fuente_reg/reg_int.htm.
- [12] Tectronixs, «Reguladores de Voltaje,» [En línea]. Available: <http://www.tectronixs.com/single.blog.php?id=4>.
- [13] Atmel, «Aprendiendo Arduino/Microcontroladores,» [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/atmel/>.
- [14] S. Hernández, «Microcontroladores,» [En línea]. Available: <http://sherlin.xbot.es/microcontroladores>.

- [15] R. Chilig y F. Malla, «Diseño e implementación de un prototipo de un sistema de monitoreo y bloqueo del motor de vehículos vía mensajes de texto,» 2013. [En línea].
- [16] B. Duoc, «Investigación Aplicada,» [En línea]. Available: <http://www.duoc.cl/biblioteca/crai/definicion-y-proposito-de-la-investigacion-aplicada>.
- [17] EcuRed, «Circuitos Integrados,» [En línea]. Available: www.ecured.cu/Circuito_Integrado_Im7805.
- [18] Alldatasheet, «Electronic Componentes Datasheet Search,» [En línea]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/155897/STMICROELECTRONICS/2N3904.html>.
- [19] DigChip, «Base de Datos de Componentes Electrónicos,» [En línea]. Available: <https://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/1820/4N25-pdf.php>.
- [20] P. Proaño, «Programación de Micros en Lenguaje C,» Quito, 2014.
- [21] I. Domotics, «Progisp-Configuración de Fuses--AVR,» [En línea].
- [22] I. Dogan, Programación de Microcontroladores, Barcelona: Marcombo, 2007.
- [23] B. J, Variador de Velocidad de un motor de corriente continua, Quito, 2011.
- [24] N. Mohan, T. Underland y W. Robbins, Electrónica de Potencia/Convertidores, aplicación y diseño, Tercer ed., Pearson.
- [25] Formación Industria, «Motores de Corriente Continua,» [En línea]. Available: [https://automatismoindustrial.wordpress.com/motores/1-3-5-motores-de-corriente-continua/..](https://automatismoindustrial.wordpress.com/motores/1-3-5-motores-de-corriente-continua/)

ANEXOS

ANEXO A: Especificaciones Técnicas.

ANEXO B: Diagramas de Flujo.

ANEXO C: Simulación de Circuitos.

ANEXO D: Circuitos Impresos.

ANEXO E: Placas Electrónicas.

ANEXO F: Diagramas de Conexión.

ANEXO G: Hojas Guías para Prácticas

ANEXO H: Manual del Usuario.

ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DATOS TÉCNICOS OPTACOPLADOR 4N25

4N25, 4N26, 4N27, 4N28

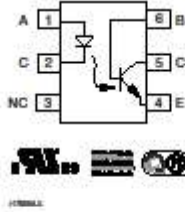
Vishay Semiconductors



Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

AGENCY APPROVALS

- UL1577, file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO: EN 60950, EN 60065, EN 60335

DESCRIPTION

The 4N25 family is an industry standard single channel phototransistor coupler. This family includes the 4N25, 4N26, 4N27, 4N28. Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

ORDER INFORMATION	
PART	REMARKS
4N25	CTR > 20 %, DIP-6
4N26	CTR > 20 %, DIP-6
4N27	CTR > 10 %, DIP-6
4N28	CTR > 10 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V _R	5	V
Forward current		I _F	60	mA
Surge current	t ≤ 10 μs	I _{FSM}	3	A
Power dissipation		P _{diss}	100	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V _{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V _{EB0}	7	V
Collector current		I _C	50	mA
	t ≤ 1 ms	I _C	100	mA
Power dissipation		P _{diss}	150	mW

DATOS TÉCNICOS TRANSISTOR 2N3904



2N3904

SMALL SIGNAL NPN TRANSISTOR

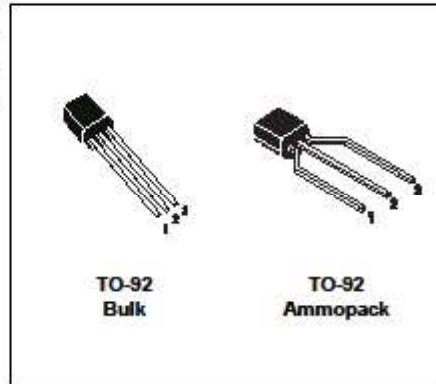
PRELIMINARY DATA

Ordering Code	Marking	Package / Shipment
2N3904	2N3904	TO-92 / Bulk
2N3904-AP	2N3904	TO-92 / Ammopack

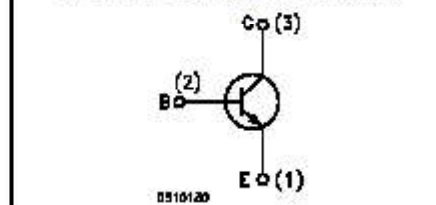
- SILICON EPITAXIAL PLANAR NPN TRANSISTOR
- TO-92 PACKAGE SUITABLE FOR THROUGH-HOLE PCB ASSEMBLY
- THE PNP COMPLEMENTARY TYPE IS 2N3906

APPLICATIONS

- WELL SUITABLE FOR TV AND HOME APPLIANCE EQUIPMENT
- SMALL LOAD SWITCH TRANSISTOR WITH HIGH GAIN AND LOW SATURATION VOLTAGE



INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CB0}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)	60	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)	40	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)	6	V
I_C	Collector Current	200	mA
P_{tot}	Total Dissipation at $T_C = 25^\circ\text{C}$	625	mW
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150	$^\circ\text{C}$
T_j	Max. Operating Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$

February 2003

1/5

DATOS TÉCNICOS MOSFET IRFP240



IRFP240, SiHFP240

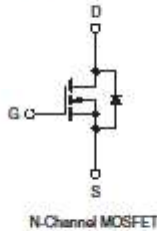
Vishay Siliconix

Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY

V _{DS} (V)	200	
R _{DS(on)} (Ω)	V _{GS} = 10 V	0.18
Q _g (Max.) (nC)	70	
Q _{gs} (nC)	13	
Q _{gd} (nC)	39	
Configuration	Single	

TO-247AC



FEATURES

- Dynamic dV/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC



RoHS*
COMPLIANT

DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247AC package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220AB devices. The TO-247AC is similar but superior to the earlier TO-218 package because its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distances between pins to meet the requirements of most safety specifications.

ORDERING INFORMATION

Package	TO-247AC
Lead (Pb)-free	IRFP240PbF SiHFP240-E3
SnPb	IRFP240 SiHFP240

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_C = 25 °C, unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	V _{DS}	200	V
Gate-Source Voltage	V _{GS}	± 20	V
Continuous Drain Current	I _D	V _{GS} at 10 V, T _C = 25 °C	20
		T _C = 100 °C	12
Pulsed Drain Current ^a	I _{DM}	80	A
Linear Derating Factor		1.2	W/°C
Single Pulse Avalanche Energy ^b	E _{AS}	510	mJ
Repetitive Avalanche Current ^a	I _{AR}	20	A
Repetitive Avalanche Energy ^a	E _{AR}	15	mJ
Maximum Power Dissipation	P _D	150	W
Peak Diode Recovery dV/dt ^c	dV/dt	5.0	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	T _J , T _{stg}	- 55 to + 150	°C
Soldering Recommendations (Peak Temperature)		300 ^d	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw	10	lbf - in
		1.1	N - m

Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- V_{DD} = 50 V, starting T_J = 25 °C, L = 1.9 mH, R_θ = 25 Ω, I_{AS} = 20 A (see fig. 12).
- I_{DD} ≤ 18 A, dI/dt ≤ 150 A/μs, V_{DD} ≤ V_{DS}, T_J ≤ 150 °C.
- 1.6 mm from case.

* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

Document Number: 81210
S11-0445-Rev. B, 21-Mar-11

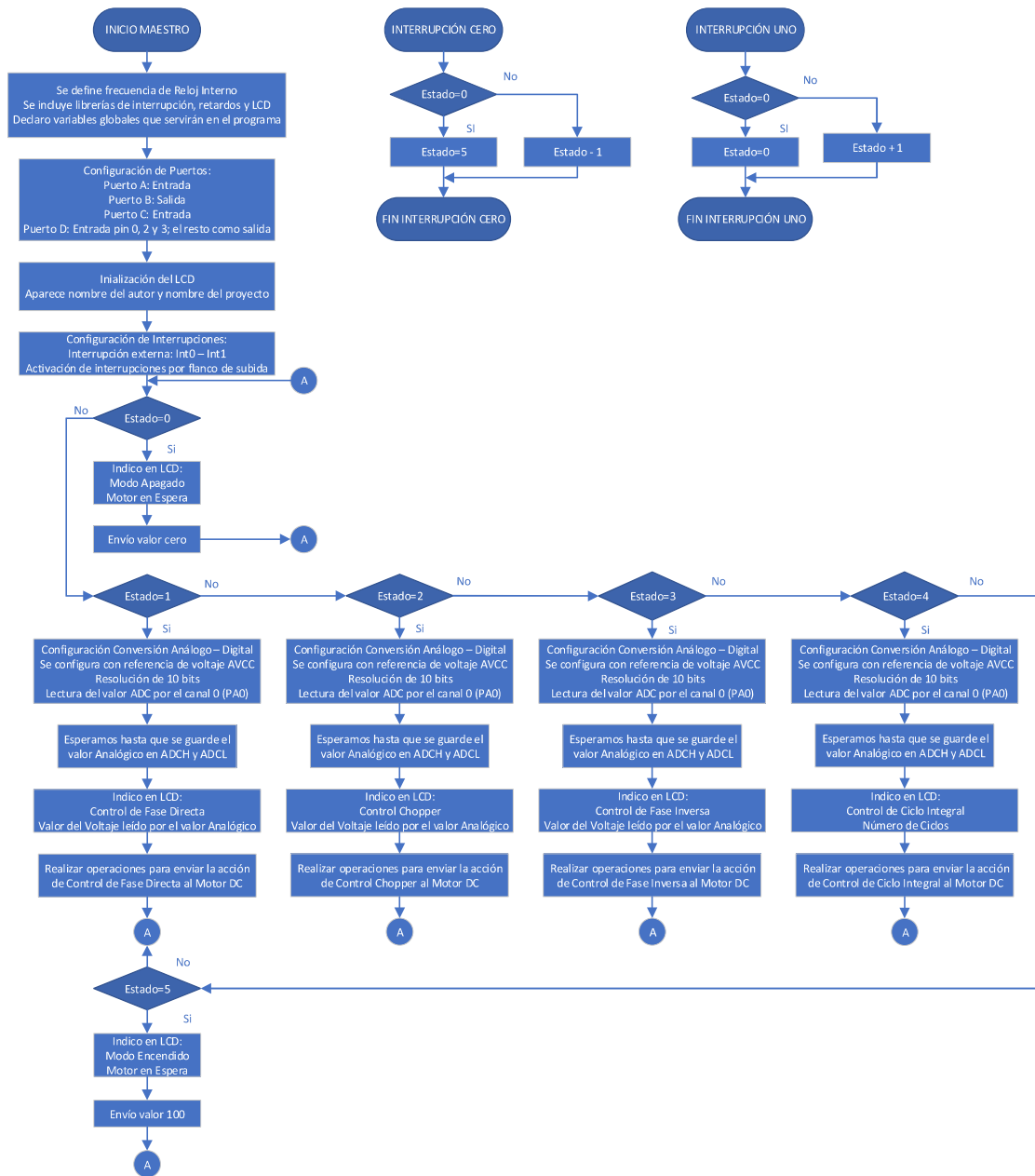
www.vishay.com
1

This datasheet is subject to change without notice.
THE PRODUCT DESCRIBED HEREIN AND THIS DATASHEET ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc791000

ANEXO B: DIAGRAMAS DE FLUJO

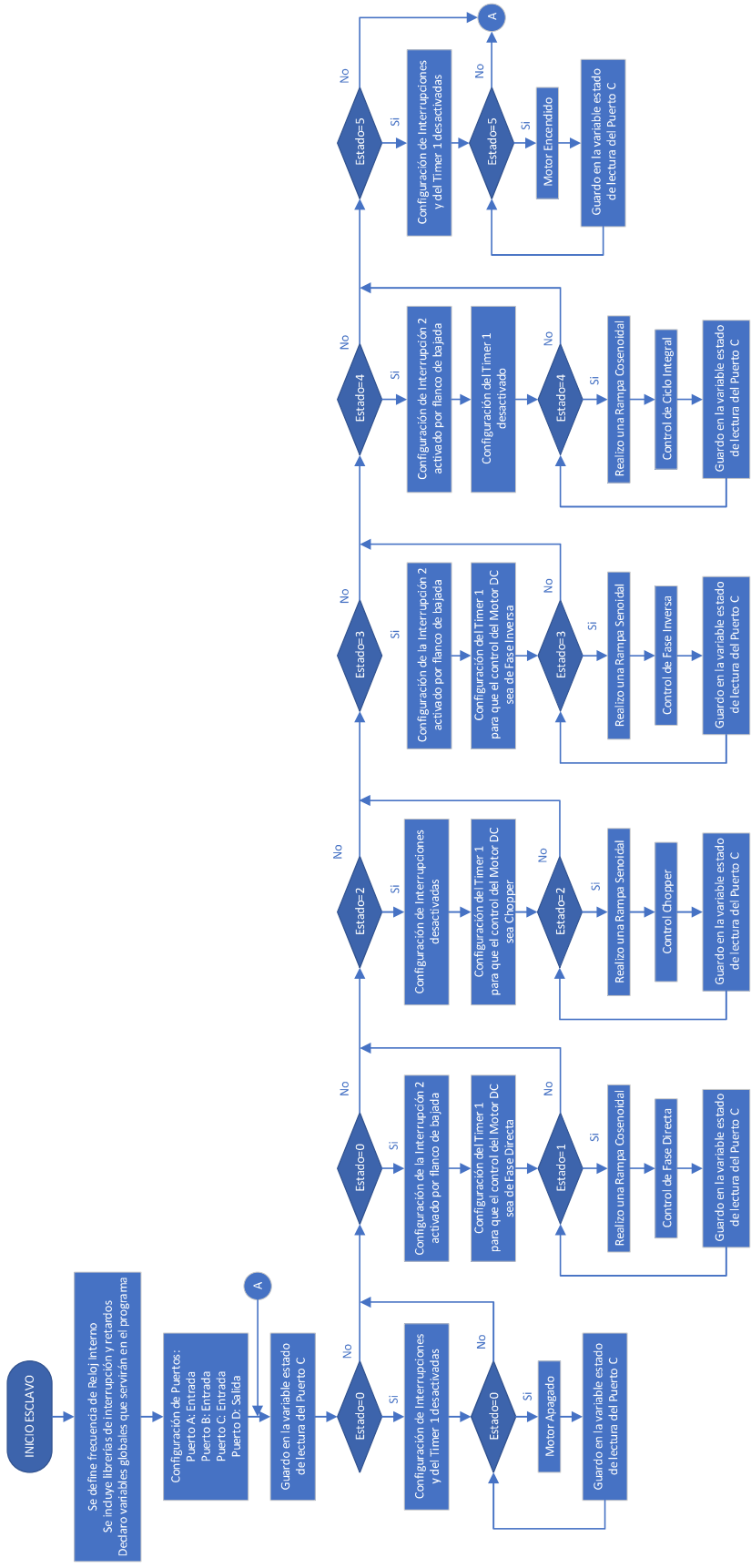
ANEXO B1

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MAESTRO



ANEXO B2

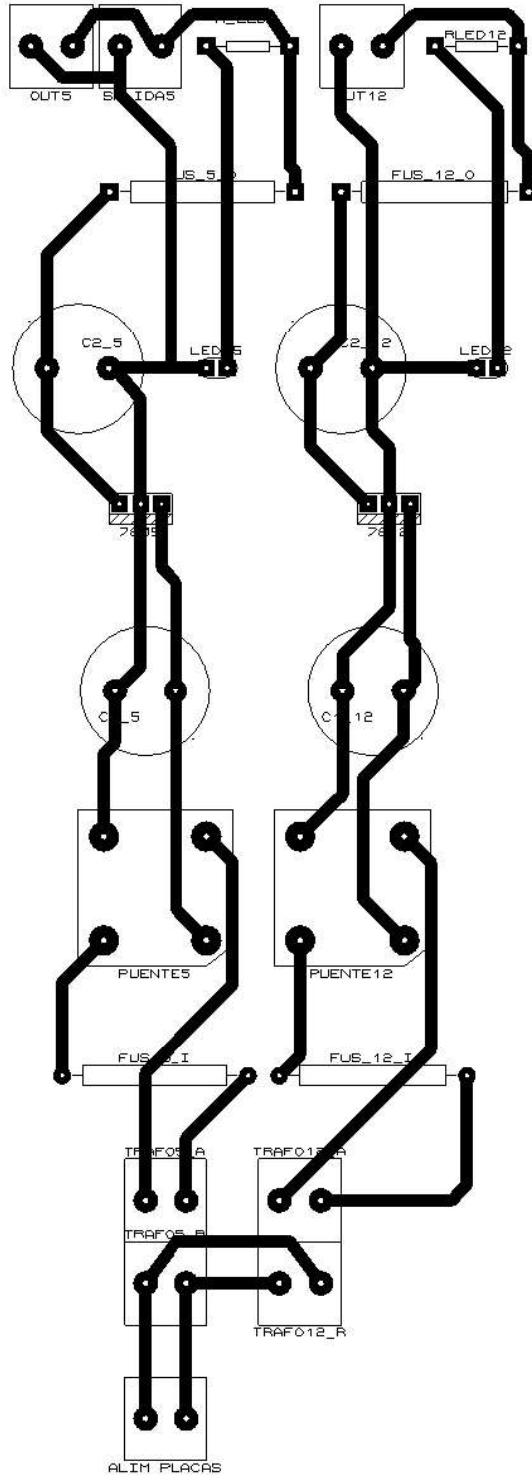
DIAGRAMA DE FLUJO DEL ESCLAVO



ANEXO C: SIMULACIÓN DE CIRCUITOS

ANEXO D: CIRCUITOS IMPRESOS

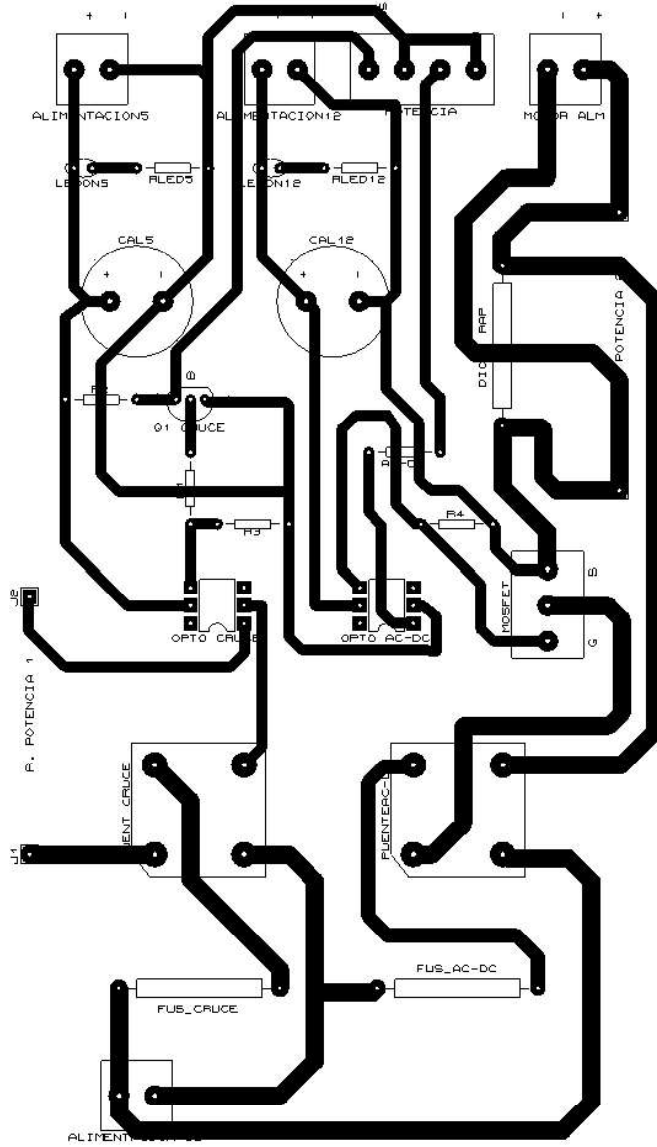
FUENTES



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

TÍTULO : CIRCUITO IMPRESO PLACA DE FUENTES	DIBUJADO POR: JULIO SARANGO	E/M
	REVISADO POR : ING. PABLO PROAÑO	LÁMINA N° :
	FECHA : 2019/03/25	D1

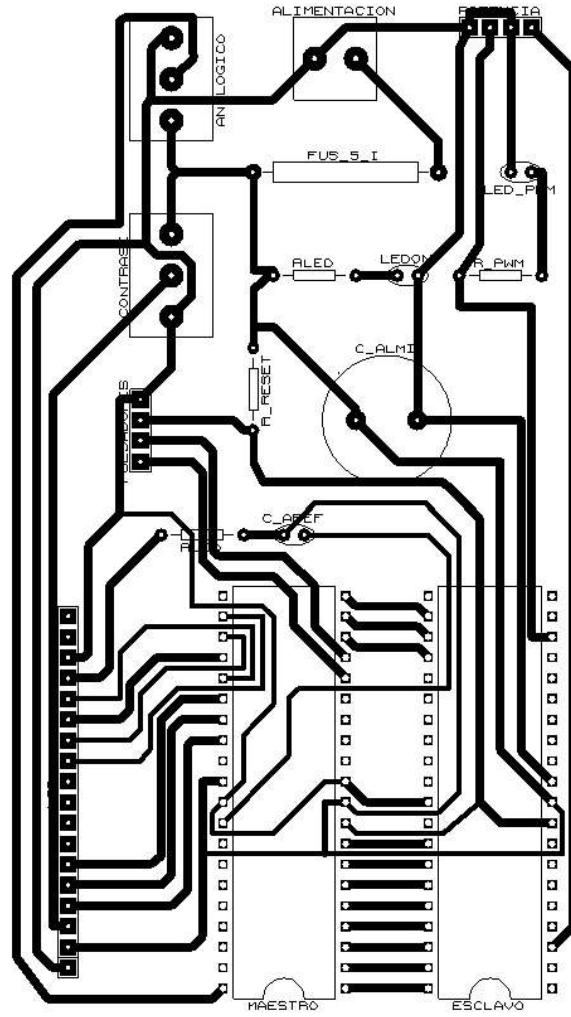
POTENCIA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

TÍTULO : CIRCUITO IMPRESO PLACA DE POTENCIA	DIBUJADO POR: JULIO SARANGO	E/M
	REVISADO POR : ING. PABLO PROAÑO	LÁMINA N° :
	FECHA : 2019/03/25	D2

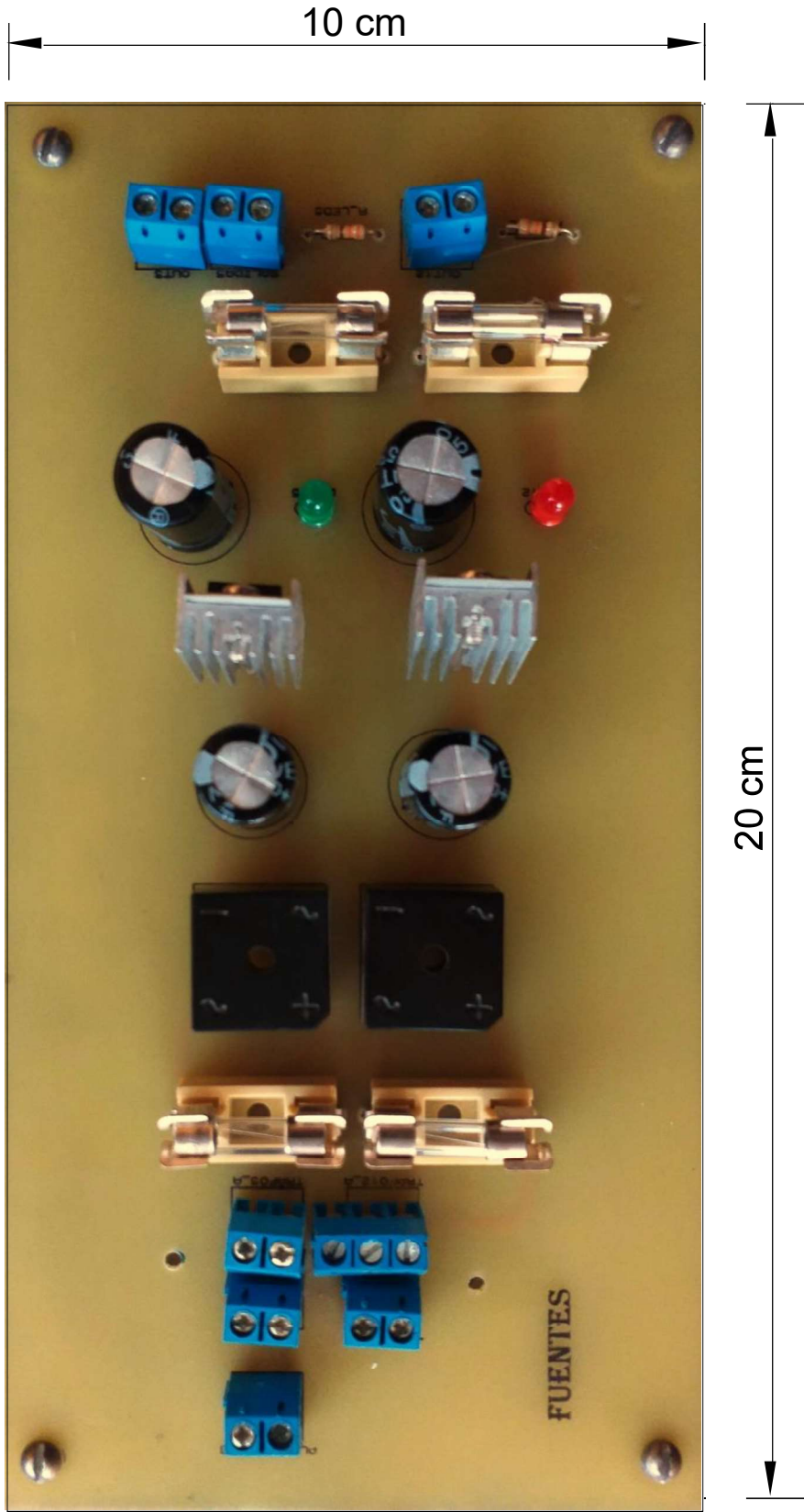
CONTROL



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

TÍTULO : CIRCUITO IMPRESO PLACA DE CONTROL	DIBUJADO POR:	JULIO SARANGO	E/M
	REVISADO POR :	ING. PABLO PROAÑO	LÁMINA N° :
	FECHA :	2019/03/25	D3

ANEXO E: PLACAS ELECTRÓNICAS



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

TÍTULO : PLACA DE FUENTES	DIBUJADO POR:	JULIO SARANGO	E/M
	REVISADO POR :	ING. PABLO PROAÑO	LÁMINA N° :
	FECHA :	2019/03/25	E1

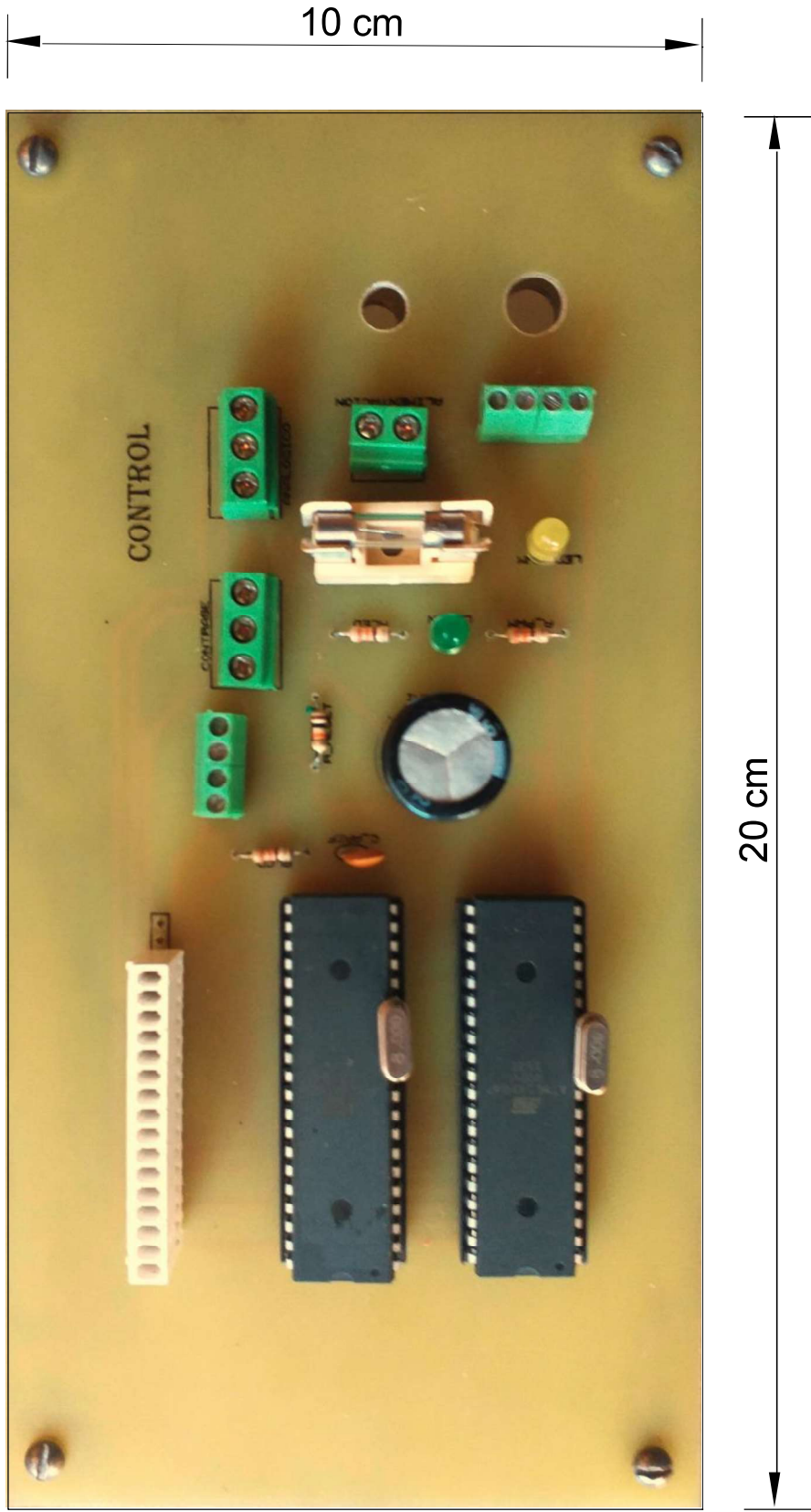


10 cm

20 cm

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

TÍTULO : PLACA DE POTENCIA	DIBUJADO POR:	JULIO SARANGO	E/M
	REVISADO POR :	ING. PABLO PROAÑO	LÁMINA N° :
	FECHA :	2019/03/25	E2



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL			
TÍTULO : PLACA DE CONTROL	DIBUJADO POR:	JULIO SARANGO	E/M
	REVISADO POR :	ING. PABLO PROAÑO	LÁMINA N° :
	FECHA :	2019/03/25	E3

ANEXO F: DIAGRAMAS DE CONEXIÓN

ANEXO G: HOJAS GUÍAS PARA PRÁCTICA

PRACTICA No 1: CONVERSION AC/DC CON CONTROL DE FASE DIRECTA

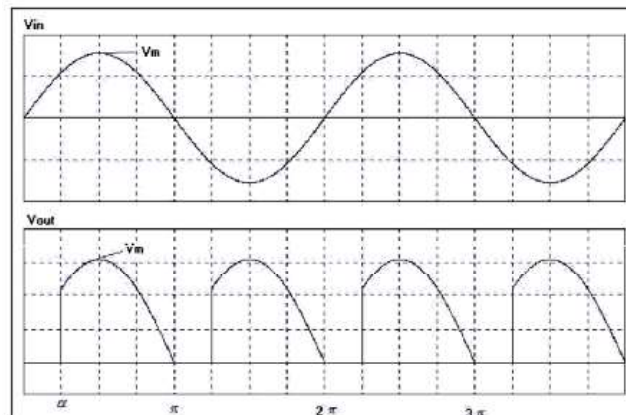
Docentes: _____

Fecha: _____

Carrera _____

Introducción

El control de fase directa es uno de los métodos con el que se puede variar el valor de una tensión, en donde por medio de un mosfet se controla el flujo de potencia que va hacia la carga variando el ángulo de disparo proporcionado por el elemento semiconductor, es decir, el mosfet al no conducir actúa como un interruptor abierto, que al no cerrarse el circuito todo el voltaje recae en este elemento, y al conducir actúa como un interruptor cerrado, por lo que no hay voltaje en sus terminales, y todo el voltaje va hacia la carga.



Forma de Onda Típica

Objetivo General

Medir las magnitudes más relevantes en un rectificador controlado con control de fase directa.

Objetivos Específicos

1. Visualizar la PWM sincronizada con la red y la señal de sincronización.
2. Medir los voltajes del conversor
3. Visualizar las formas de onda del conversor

Materiales

- 1 módulo de control
- 1 osciloscopio
- 1 multímetro

Trabajo Preparatorio

1. Consultar el funcionamiento de un rectificador con control por fase directa
2. Diseñar un circuito PWM con sincronización con la red
3. Leer el manual de módulo a usar para la práctica disponible en el Laboratorio.

Procedimiento

- i. Use el módulo de control disponible en el laboratorio y configúrelo para trabajar en modo: "Fase Directa"
- ii. Mida con el osciloscopio la forma de onda de los pulsos sincronizados con la red.
- iii. Mida con el osciloscopio la PWM sincronizada con la red para tres valores de ancho de pulso diferentes.
- iv. Mida el voltaje y las formas de onda a la salida para 5 valores diferentes de modulación.

Informe

- i. Presentar los oscilogramas obtenidos en la práctica.
- ii. Obtenga de forma teórica el voltaje DC en las formas de onda implementadas en la práctica.
- iii. Consulte acerca de las aplicaciones y limitaciones de estos circuitos.

Referencias

- [1] <https://www.uv.es/emaset/iep00/IEP6-06-0607.pdf>

PRACTICA No 2: CONVERSOR AC/DC CON CONTROL CHOPPER

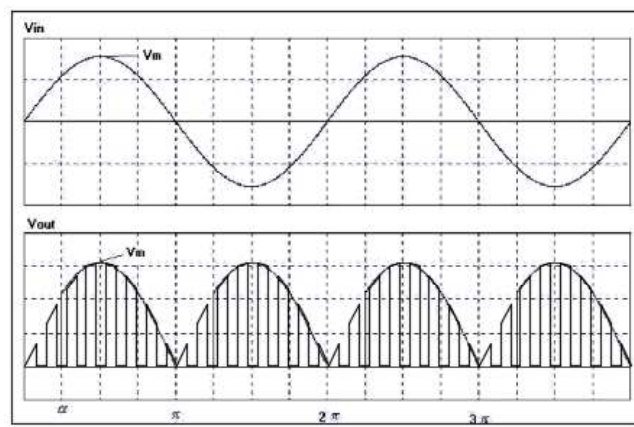
Docentes: _____

Fecha: _____

Carrera _____

Introducción

El control chopper es un controlador que convierte la tensión de AC en voltaje DC variable, mediante dispositivos de electrónica de potencia como tiristores o transistores Mosfet, que permiten controlar en qué instante de tiempo conducen o no la corriente a través del circuito, este tipo controlador se puede conmutar mediante una señal de control de baja potencia sin necesitan de un circuito de conmutación y el voltaje varía de acuerdo al ancho de pulso.



Forma de Onda Típica

Objetivo General

Medir las magnitudes más relevantes en un rectificador controlado con control chopper.

Objetivos Específicos

1. Visualizar la PWM sin sincronización con la red.
2. Medir los voltajes del conversor.
3. Visualizar las formas de onda del conversor.

Materiales

- 1 módulo de control
- 1 osciloscopio
- 1 multímetro

Trabajo Preparatorio

1. Consultar el funcionamiento de un rectificador con control Chopper.
2. Leer el manual de módulo a usar para la práctica disponible en el Laboratorio.
3. Elabore una hoja de datos para las mediciones.

Procedimiento

- i. Use el módulo de control disponible en el laboratorio y configúrelo para trabajar en modo: "Control Chopper"
- ii. Mida con el osciloscopio la PWM de la red para tres valores de ancho de pulso diferentes.
- iii. Mida el voltaje y las formas de onda a la salida para 5 valores diferentes de modulación.

Informe

- i. Presentar los oscilogramas obtenidos en la práctica.
- ii. Obtenga de forma teórica el voltaje DC en las formas de onda implementadas en la práctica.
- iii. Consulte acerca de las aplicaciones y limitaciones de estos circuitos.

Referencias

- [1] http://docentes.uto.edu.bo/ocondoric/wp-content/uploads/TEMA_6.pdf

PRACTICA No 3: CONVERSION AC/DC CON CONTROL DE FASE INVERSA

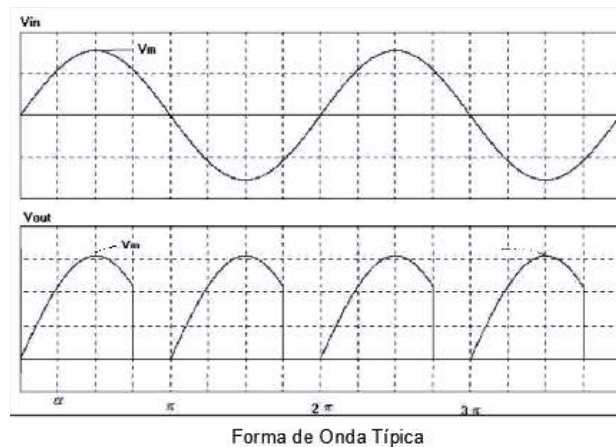
Docentes: _____

Fecha: _____

Carrera _____

Introducción

El control de fase directa funciona similar al control de fase directa, en donde el mosfet se activa al aplicarle un pulso de corriente corto en su compuerta y se desactiva debido a conmutación natural o de línea. Para este control se utiliza un circuito de sincronización, con la diferencia que el ángulo de disparo empieza a conducir desde el cruce por cero de cada ciclo.



Objetivo General

Medir las magnitudes más relevantes en un rectificador controlado con control de fase inversa.

Objetivos Específicos

1. Visualizar la PWM sincronizada con la red y la señal de sincronización.
2. Medir los voltajes del convertor.
3. Visualizar las formas de onda del convertor.

Materiales

- 1 módulo de control
- 1 osciloscopio
- 1 multímetro

Trabajo Preparatorio

1. Consultar el funcionamiento de un rectificador con control por fase inversa.
2. Diseñar un circuito PWM con sincronización con la red.
3. Leer el manual de módulo a usar para la práctica disponible en el Laboratorio.

Procedimiento

- i. Use el módulo de control disponible en el laboratorio y configúrelo para trabajar en modo: "Fase Inversa".
- ii. Mida con el osciloscopio la forma de onda de los pulsos sincronizados con la red.
- iii. Mida con el osciloscopio la PWM sincronizada con la red para tres valores de ancho de pulso diferentes.
- iv. Mida el voltaje y las formas de onda a la salida para 5 valores diferentes de modulación.

Informe

- i. Presentar los oscilogramas obtenidos en la práctica.
- ii. Obtenga de forma teórica el voltaje DC en las formas de onda implementadas en la práctica.
- iii. Consulte acerca de las aplicaciones y limitaciones de estos circuitos.
- iv. Realice un cuadro comparativo entre el control de fase directa y el de fase inversa.

PRACTICA No 4: CONVERSION AC/DC CON CONTROL DE CICLO INTEGRAL

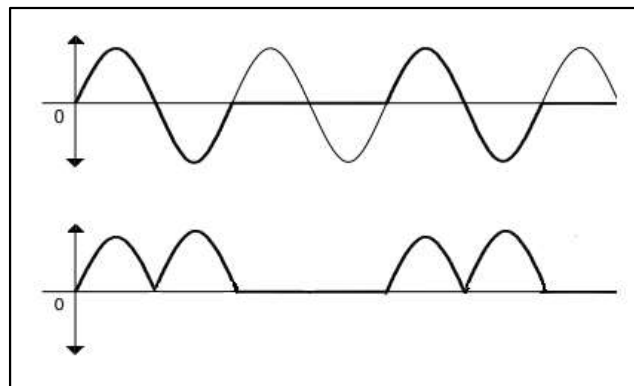
Docentes: _____

Fecha: _____

Carrera _____

Introducción

El control por ciclo integral es un controlador que deja pasar un número entero de ciclos completos y se bloquea otro número determinado de ciclos, este tipo de control es mucho más eficiente con el inconveniente que disminuye la vida útil del motor.



Objetivo General

Medir las magnitudes más relevantes en un rectificador controlado con control de ciclo integral.

Objetivos Específicos

1. Visualizar la PWM en el conversor.
2. Medir los voltajes del conversor.
3. Visualizar las formas de onda del conversor

Materiales

- 1 módulo de control
- 1 osciloscopio
- 1 multímetro

Trabajo Preparatorio

1. Consultar el funcionamiento de un rectificador con control por ciclo integral.
2. Leer el manual de módulo a usar para la práctica disponible en el Laboratorio.
3. Elabore una hoja de datos para las mediciones.

Procedimiento

- i. Use el módulo de control disponible en el laboratorio y configúrelo para trabajar en modo: "Control Chopper"
- ii. Mida con el osciloscopio la PWM de la red para tres valores de ancho de pulso diferentes.
- iii. Mida el voltaje y las formas de onda a la salida para 5 valores diferentes de modulación.

Informe

- i. Presentar los oscilogramas obtenidos en la práctica.
- ii. Obtenga de forma teórica el voltaje DC en las formas de onda implementadas en la práctica.
- iii. Consulte acerca de las aplicaciones y limitaciones de estos circuitos.

Referencias

- [1] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/mendez_s_j/capitulo2.pdf

ANEXO H: MANUAL DEL USUARIO

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DIDÁCTICO

1. INTRODUCCIÓN

El presente manual permite informar al usuario sobre el correcto funcionamiento del sistema de control de velocidad de un motor DC utilizando microcontroladores, así como también mostrar las acciones preventivas y correctivas que se deben ejecutar para mantener los equipos en óptimas condiciones, ya que son herramientas de aprendizaje y deben estar a plena disposición para los estudiantes en cada realización de las prácticas.

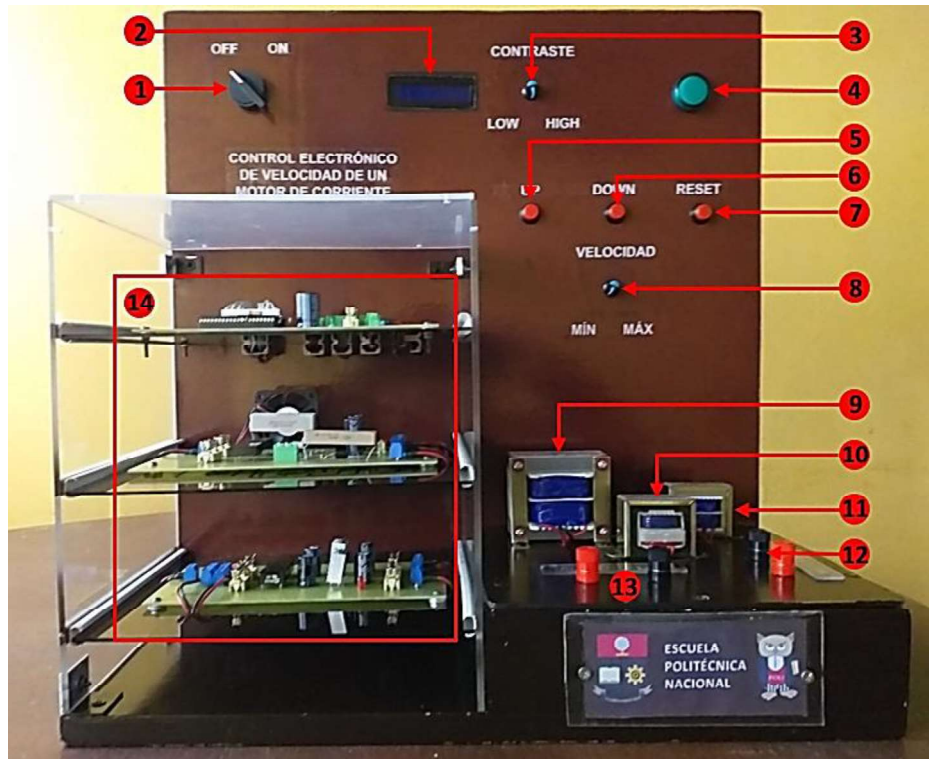
2. NORMAS DE SEGURIDAD

- Ingresar ordenadamente al laboratorio de control y aguardar en la mesa de trabajo, a la espera de las indicaciones del instructor.
- Durante el funcionamiento del motor DC evitar directamente el contacto con el eje, así como también el uso de anillos, cadenas, pulseras, etc. mientras se esté operando el módulo.
- Evitar la manipulación de cables, borneras o cualquier otro elemento cuando esté energizado el módulo.
- Antes de desconectar los cables asegurarse que tanto el módulo como la mesa de trabajo estén desenergizados.
- Realizar la limpieza del módulo y mesa, colocando todo lo utilizado en su respectivo lugar.

3. PARTES COMPONENTES

El módulo didáctico se encuentra conformado por las siguientes partes:

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. Selector de 2 posiciones. | 8. Perilla de variación de velocidad |
| 2. Pantalla LCD. | 9. Transformador 110/24 (V_{AC}). |
| 3. Perilla de contraste LCD. | 10. Transformador 110/12 (V_{AC}). |
| 4. Luz piloto. | 11. Transformador 110/6 (V_{AC}). |
| 5. Pulsador UP. | 12. Borneras de conexión del motor DC. |
| 6. Pulsador DOWN. | 13. Borneras de alimentación del módulo. |
| 7. Pulsador RESET. | 14. Placas electrónicas. |



- **Selector de 2 posiciones:** Sirve para encender o apagar el módulo una vez que se encuentra energizado.
- **Pantalla LCD:** Muestra el tipo de control que se está utilizando en el sistema, así como el valor del voltaje expresado en porcentaje.
- **Perilla de contraste:** Regula la intensidad de iluminación del LCD, a través de un potenciómetro de 1 (k Ω).
- **Luz Piloto:** Indica cuando el módulo está conectado y encendido, para su posterior utilización.
- **Pulsador Up:** Inicia las acciones de funcionamiento del motor al pulsar el botón una sola vez para cambiar a los diferentes controles.
- **Pulsador Down:** Inicia las acciones del sistema o regresa al control que se inició con el botón up, al igual que el anterior se debe pulsar una sola vez para cambiar de modo de operación.
- **Pulsador Reset:** Resetea al microcontrolador en cualquier momento de funcionamiento del motor, reestableciendo el sistema a las condiciones iniciales.

- **Perilla de velocidad:** Varía la velocidad del motor cuando trabaja en cualquiera de los tipos de controles, regulando el voltaje entre 0 % a 100 %.
- **Transformador 110/12 (V_{AC}):** Transforma el voltaje de entrada para la alimentación de la placa de potencia.
- **Transformador 110/12 (V_{AC}):** Transforma el voltaje de entrada de 110 a 12 (V_{AC}) para la fuente de 12 (V_{DC}).
- **Transformador 110/6 (V_{AC}):** Transforma el voltaje de entrada de 110 a 6 (V_{AC}) para la fuente de 5 (V_{DC}).
- **Borneras Motor DC:** Sirven para la conexión entre el módulo didáctico y los terminales del módulo del motor.
- **Borneras de Alimentación:** Sirven para la conexión entre la mesa de trabajo y el módulo, energizándolo con 120 (V_{AC}).
- **Placas Electrónicas:** Son las encargadas del funcionamiento del sistema las mismas que cumplen con una función específica tal como se indicó en la descripción de cada una de las placas de FUENTES, POTENCIA y CONTROL del módulo didáctico.

4. FUNCIONAMIENTO

El sistema de control electrónico del motor DC funciona a través de los tipos de controles de velocidad diseñados que tienen como objetivo la variación de velocidad del motor, y para lo cual se debe ejecutar las siguientes acciones:

- Realizar la conexión entre la mesa de trabajo con el módulo didáctico y alimentarlo con 120 (V_{AC}) a través de cables 14 AWG.
- Conectar el módulo didáctico con el módulo del motor DC mediante cables número 14 AWG.

MARCHA (ON)

El módulo didáctico se energiza al activar el interruptor termomagnético de la mesa de trabajo al que se encuentra conectado, se prende el módulo a través del selector de 2 posiciones y el sistema empieza a funcionar al pulsar uno de los 2 botones UP o DOWN con lo cual el motor DC se pone en marcha dependiendo del tipo de control que se seleccione.

APAGADO (OFF)

Parar el apagado se debe primeramente parar el motor seleccionando la opción “motor en espera” con la ayuda de los pulsadores o reseteando el sistema con el botón RESET, luego de esto girar el selector a la posición OFF y finalmente desactivar el interruptor de la mesa de trabajo.

5. PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento se lo debe hacer cada 6 meses verificando el estado actual de las placas electrónicas para identificar si no existen perdidas de continuidad en los circuitos o si existen desgastes en las pistas impresas de las placas.

Revisar cada tres meses las conexiones de todo el módulo didáctico para verificar si no existen cables o puntos flojos, y en caso de existir proceder a realizar los respectivos ajustes de los mismos para el buen funcionamiento del sistema.

Además, para garantizar el buen desarrollo de cada práctica se deben realizar ajustes y acciones al sistema cuando se encuentra energizado y sin energizar.

Sin Energizar

- Verificar que todos las borneras estén bien ajustadas y que el motor se encuentre fijamente sujeta a la base del módulo para evitar vibraciones.
- Limpiar el polvo de los módulos, motor y especialmente de las placas electrónicas.

Energizado

- Medir voltaje de alimentación del módulo en los terminales de entrada de placa de fuentes 120 (V_{AC}).
- Comprobar voltajes de salida de 12 y 5 (V_{DC}) en la placa de fuentes.
- Medir voltajes de alimentación de 12 (V_{AC}), 12 y 5 (V_{DC}) en la placa de potencia.
- Medir voltajes de alimentación en la placa de control de 5 (V_{DC}).
- Comprobar si existe voltaje de salida 12 (V_{DC}) de la placa de potencia para la alimentación del motor DC.
- Medir el voltaje de alimentación al motor 12 (V_{DC}) en los terminales del módulo del motor.

En caso de no cumplir las con estas verificaciones se puede consultar en la sección AVERIAS en donde se puede ver la falla y solucionarla sin mayor inconveniente.

6. AVERIAS DEL SISTEMA

Las principales averías que se pueden presentar en el módulo en la mayoría de los casos son exteriores y se encuentran en las placas electrónicas, entre estas tenemos las siguientes:

AVERÍA	CAUSA	SOLUCIÓN
La velocidad del motor DC no se regula.	El mosfet IRFP 240 esta averiado o quemado.	Reemplazar por uno nuevo o de similares características.
El motor DC no funciona.	Los fusibles de la placa de potencia están quemados.	Cambiar por nuevos o unos de mayor amperaje.
La visualización de las lecturas del LCD no es clara o no aparece.	El microcontrolador (Maestro) está averiado.	Reemplazar por uno nuevo.
	La pantalla LCD esta quemada.	Cambiar la pantalla LCD por una nueva.