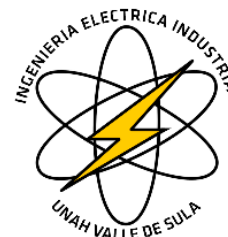




UNAH
UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE HONDURAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS EN EL
VALLE DE SULA-UNAH VS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA INDUSTRIAL

Prototipo PLC con ArduinoATMega para Laboratorio de Ingeniería Eléctrica UNAH Cortés

Seminario de Investigación IE-900

AUTORES:

Eduardo Andrés Contreras Romero

Fernando Josué Alonzo Espino

José Francisco Gutiérrez Membreño

SAN PEDRO SULA, CORTÉS, HONDURAS

Contents

1. Situación Problemática	4
2. Hipótesis	4
3. Variables.....	4
4. Objetivo General	4
4.1 Objetivos Específicos	4
5. Pregunta de Investigación	4
6. Marco Contextual.....	5
6.1 Carrera de Ingeniería Eléctrica.....	5
6.2 Clase y Laboratorio de Control de Máquinas.....	5
7. Marco Teórico	6
7.1 Definición de un PLC.....	6
7.2 Características Principales PLC.....	6
7.3 Funcionamiento Básico.....	8
7.4 Estandarización de los PLC IEC 61131	8
7.5 Microcontroladores.....	10
7.6 Contexto Histórico de los Microcontroladores	10
7.7 Diferencias entre microprocesador y microcontrolador	10
7.8 PLC vs Microcontrolador	11
8. Antecedentes	12
9. Marco Metodológico	13
9.1 Definición de Instrumentos y Población	13
9.2 Aplicación de Instrumento	18
9.3 Análisis de Instrumentos y Parámetros de Diseño	21
10. Diseño de Circuito	23
10.1 Fuente de Alimentación	23
10.2 Bloque de Entrada Digital.....	24
10.3 Bloque de Entrada Analógica	25
10.4 Bloque de Salida Digital	26
10.5 Bloque Salida PWM.....	27
10.6 Conexiones a Pines del Microcontrolador	28

10.7 Diseño del PCB	29
10.8 Presupuesto del Proyecto	29
11. Viabilidad del Diseño	30
12. Justificación	30
13. Conclusiones	31
14. Cronograma	32
15. Glosario	32
16. Bibliografía	34

1. Situación Problemática

En la carrera de Ingeniería Eléctrica (IE) en UNAH-Cortés se llevan a cabo laboratorios de la clase de Control de Máquinas (Control). Estos requieren la utilización de PLCs (Controlador Lógico Programable) para la enseñanza práctica de control y automatización de dispositivos eléctricos. Sin embargo, el laboratorio no cuenta con PLCs en condiciones para que estos se lleven a cabo. El desarrollo de un prototipo de PLC para fines didácticos en el laboratorio permitirá la enseñanza y aprendizaje de estos conceptos.

2. Hipótesis

“Desarrollar un prototipo de PLC permitirá la enseñanza-aprendizaje práctico de control y automatización en laboratorio de Control.”

3. Variables

Variable Independiente: Diseño de Prototipo de PLC

Variable Dependiente: Enseñanza-aprendizaje de control y automatización en el laboratorio de Control

4. Objetivo General

Fortalecer la enseñanza y aprendizaje práctico de los conceptos de control y automatización mediante el prototipo de PLC en el laboratorio.

4.1 Objetivos Específicos

1. Conocer las características mínimas necesarias del PLC para el laboratorio de Control.
2. Diseñar el circuito del PLC.
3. Calcular el costo de componentes y desarrollo total del PLC.

5. Pregunta de Investigación

¿Desarrollar un prototipo de PLC permitirá la enseñanza-aprendizaje de conceptos prácticos de automatización y control en el laboratorio de IE en el 2025?

6. Marco Contextual

6.1 Carrera de Ingeniería Eléctrica

En la carrera de Ingeniería Eléctrica se desarrollan todas las clases que formarán parte del aprendizaje de un ingeniero eléctrico, un profesional capaz de planear, diseñar, instalar y operar distintos sistemas de distribución, comunicaciones, sistemas electrónicos y de control. La carrera cuenta con cuatro orientaciones entre las cuales el estudiante puede elegir: potencia, comunicaciones, electrónica y electromecánica. Además, busca que sus egresados desarrollen pensamiento crítico, habilidades para la resolución de problemas y capacidad administrativa y organizacional, especialmente si deciden formar su propia empresa. La duración esperada de la carrera es de cinco años o menos, dependiendo del avance del estudiante en los diferentes períodos.

6.2 Clase y Laboratorio de Control de Máquinas

La clase de Control de Máquinas (CM) orienta a sus alumnos en el control y automatización de máquinas eléctricas mediante el uso de dispositivos especializados. Está dividida en tres unidades: la primera aborda los dispositivos de protección utilizados, el cálculo de calibres de los cables, entre otros temas. La segunda unidad se centra en la interpretación y elaboración de diagramas de potencia y maniobra para distintos circuitos con necesidades específicas, además de la enseñanza de la simbología utilizada en estos diagramas. Por último, en la tercera unidad se aprende sobre la automatización de motores y máquinas eléctricas mediante el uso de relés inteligentes y PLC, así como los programas empleados para su programación.

Por otro lado, el laboratorio de CM busca aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en la clase a través de la experimentación práctica. Está dividido en seis laboratorios, impartidos tanto en modalidad presencial como virtual. El primer laboratorio refuerza conocimientos generales sobre máquinas eléctricas e introduce a los estudiantes a los distintos dispositivos de control utilizados en el laboratorio. El segundo laboratorio enseña sobre la lógica cableada mediante el uso del simulador CadeSimu. En el tercer y cuarto laboratorio se realizan los montajes de arranque directo de motores y arranque estrella-delta con resistencias estáticas. El quinto laboratorio (actualmente el último impartido) introduce a los estudiantes al variador de frecuencia (VFD), un dispositivo utilizado para modificar la frecuencia en un motor. El instructor presenta los distintos comandos y funciones de este

dispositivo. El sexto laboratorio está dedicado al PLC; sin embargo, actualmente no se encuentra en funcionamiento debido a la falta de un PLC operativo.

7. Marco Teórico

7.1 Definición de un PLC

Un Controlador Lógico Programable o Programable Logic Circuit, PLC por sus siglas en inglés, es sistema embebido con microprocesador análogo a una computadora que se especializa en monitorear distintas salidas y entradas I/O (Inputs/Outputs) para el control de procesos industriales y complejos sistemas de automatización. Un PLC es programado para la lectura de señales de entrada y, a través de un lenguaje programación procesa esas señales mediante una secuencia lógica que finalmente activa o desactiva salidas de control.

Los PLC juegan un rol fundamental en una industria que está en constante cambio, con situaciones que se tornan cada vez más complicadas y que requieren soluciones ingenieriles de alta complejidad, precisión y fiabilidad. Estos controladores son el eje primordial en los sistemas de automatización industrial que permiten el control secuencial, monitoreo y sincronización de procesos de manera eficaz y confiable. Los PLC pueden formar parte de un SCADA en grandes sistemas con alta necesidad de automatización y control. Sin embargo, el uso de los PLC no se limita a la industria ya que puede ser utilizado en muchas otras aplicaciones como en la manufactura, energía, domótica, robótica, etc.

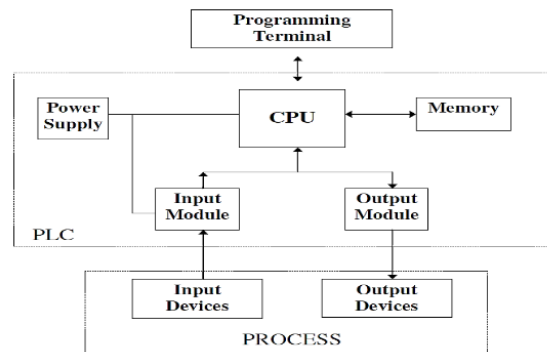
7.2 Características Principales PLC

Un PLC cuenta con módulos similares a una computadora convencional, pero con algunos cambios especializados para su función industrial.

CPU y Memoria: El módulo CPU cuenta con un procesador central, memoria ROM y RAM. La memoria ROM incluye el sistema operativo, los controladores y los programas de aplicación. La RAM se utiliza para almacenar programas y datos. La CPU es el cerebro del PLC, con un microprocesador octal o hexadecimal y se encarga de controlar todos los procesos y ejecutar la lógica que el usuario programa. [8]

Al ser uso de un procesador, este se encarga de hacer toda la lógica que anteriormente se le atribuía a los relés, temporizadores y contadores. Así

que solamente se necesitan de entradas y salidas para programar la lógica de un PLC.



Módulos de Salida y Entrada: Son los encargados de recibir las señales de del entorno de los aparatos eléctricos conectados al PLC y de proveer las señales de salida para el control de otros dispositivos. Los más importantes son:

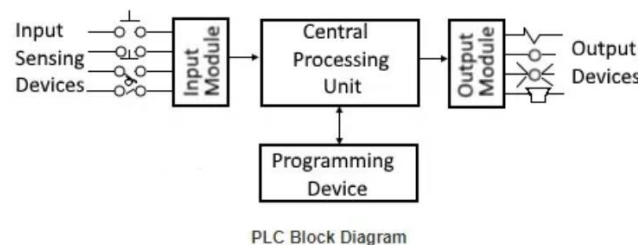
- Entradas digitales (DI): Para la detección de señales de dos estados o dos niveles de voltaje (encendido/ apagado). Ejemplo: botones, interruptores, sensores de proximidad.
- Entradas analógicas (AI): Reciben señales continuas de voltaje o corriente que se transforman en señales de una resolución para ser interpretadas por el PLC. Ejemplo: sensores de temperatura (0-10V, 4-20mA), transductores de presión.
- Entradas de alta velocidad: Captura pulsos rápidos de encoders o sensores de conteo.
- Salidas digitales (DO): Envían señales de dos estados o dos niveles de voltaje (encendido/ apagado). para activar relés, contactores, luces, motores, etc.
- Salidas analógicas (AO): Generan señales continuas de voltaje o corriente (0-10V, 4-20mA) para variar la velocidad de motores, controlar válvulas, etc.
- Salidas a relé: Usadas para activar cargas mayores, pero con menor velocidad de conmutación.

Interfaces de Comunicación: Los PLC son capaces de conectarse a una computadora o a otros dispositivos mediante diversos protocolos de comunicación como PROFINET, PROFIBUS, Modbus (RTU/TCP),

EtherNet/IP, CANopen, DeviceNet, OPC UA, EtherCAT, CC-Link, BACnet y DNP3.

7.3 Funcionamiento Básico

En un sistema de control automatizado por PLC los distintos dispositivos de medición y control tales como botones, interruptores, termopilas, sensores de proximidad, nivel, presión, codificadores y un largo etcétera, son cableados directamente a una entrada del PLC, el cual interpretará la señal según el tipo de entrada; analógica o digital. Las entradas digitales solo son capaces de entender dos estados de encendido y apagado representados mediante dos niveles de voltaje. Sin embargo, una entrada analógica permite un rango de valores continuo que dependerá de la resolución, en bits, de la entrada del PLC.



El PLC convierte las señales de entrada y las almacena en variables digitales que serán usadas para la programación de la lógica de salida que controla las salidas. El estándar internacional IEC 61131-3 regula los lenguajes de programación que deben ser usados para un PLC.

7.4 Estandarización de los PLC IEC 61131

En el pasado, los PLC no podían representar la lógica de manera visual así que se usaba álgebra de Boole para la programación. A medida que las computadoras avanzaron, surgió la lógica en escalera o “Ladder” debido a su similitud con los dispositivos electromecánicos usados en los paneles de control.

Un importante paso en el desarrollo de los PLC fue mediante la introducción de la IEC 61131, y más específicamente IEC 61131-3, la cual provee las normativas y estandarización de los lenguajes de programación de un PLC.

Entre ellos se encuentran los siguiente:

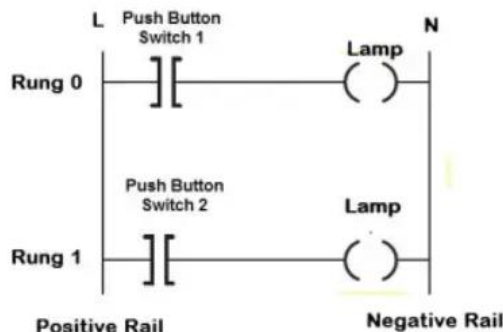
- **LD - Ladder Diagram:** Diagrama de contactos, gráfico.
- **FBD - Function Block Diagram:** Diagrama de bloques de funciones, gráfico.

- **Texto estructurado ST - Structured Text:** Texto estructurado, textual.
- **Lista de instrucciones IL - Instruction List:** Lista de instrucciones, textual.
- **Bloques de función secuenciales SFC - Sequential Function Chart:** Bloques de función secuenciales, con elementos para organizar programas de computación paralela y secuencial.

Ladder (Escalera)

Uno de los programas más utilizados es Ladder, debido a su simplicidad y manejo de lógica mediante bloques gráficos que representan la lógica del programa. Esta simula la forma en que se creaban los circuitos de control, mediante conmutadores físicos como relés para crear compuertas lógicas activadas por la señal de entrada.

La ventaja que este lenguaje de programación representa es que permite ver la lógica de una manera visual, lo cual resulta más accesible al público en comparación a los lenguajes de texto estructurado o lista de instrucciones que requieren de conocimientos de programación similares a C o Python.



IEC 61131-2

La Parte 2 de la norma IEC 61131 establece los requisitos del equipo y las pruebas para los controladores programables (PLC). En esta sección se listan las condiciones de servicio, los requisitos funcionales (como memoria y puertos de I/O digitales y analógicos), y pruebas funcionales, incluyendo también requisitos sobre compatibilidad electromagnética (EMC). También habla sobre pruebas ambientales y de resistencia, como las vibraciones o caídas. Esto asegura que los PLCs puedan operar de manera confiable en condiciones industriales rigurosas.

7.5 Microcontroladores

Un microcontrolador es un pequeño dispositivo electrónico diseñado para ejecutar procesos lógicos de manera autónoma. Su funcionamiento se basa en instrucciones programadas por el usuario en lenguaje ensamblador, las cuales se cargan en el dispositivo mediante un programador. Aunque puede sonar complejo al principio.

7.6 Contexto Histórico de los Microcontroladores

Antes de la llegada de los microprocesadores, los circuitos electrónicos eran diseñados de forma manual, utilizando una gran cantidad de componentes como transistores y resistencias. Cada circuito requería cálculos precisos y ajustes constantes, lo que hacía que los diseños fueran complejos y propensos a errores.

Todo cambió en 1971 con la aparición del primer microprocesador, marcando un antes y un después en el ámbito de la electrónica. En un principio, se pensaba que solo personas con un alto coeficiente intelectual podrían manejar esta tecnología, pero pronto quedó claro que los microprocesadores hacían los diseños mucho más sencillos y compactos. Entre los más populares de aquella época destacan el Z-80 y el 8085.

Gracias a estos avances, los diseñadores podían crear dispositivos más pequeños, eficientes y con mayor capacidad de procesamiento. Sin embargo, con el tiempo surgió una nueva tecnología aún más revolucionaria: el microcontrolador, que simplificó aún más el diseño y desarrollo de sistemas electrónicos.

7.7 Diferencias entre microprocesador y microcontrolador

Cuando se trabaja con un microprocesador en el diseño de un sistema electrónico, es común necesitar otros componentes adicionales para su funcionamiento. Por ejemplo, se requieren memorias RAM para almacenar datos temporalmente, memorias ROM para guardar el programa que controlará el dispositivo, circuitos integrados para gestionar los puertos de entrada y salida, así como un decodificador de direcciones.

Por otro lado, un microcontrolador integra en un solo circuito todos estos elementos, incluyendo la unidad de procesamiento, la memoria RAM y ROM, los puertos de entrada y salida, además de otros periféricos. Esto

permite reducir significativamente el espacio requerido y simplifica el diseño de los sistemas electrónicos.

En esencia, un microcontrolador es un pequeño computador dentro de un solo chip, lo que permite que pueda incorporarse directamente en el dispositivo que controla. A este tipo de integración se le conoce como "controlador embebido" o "embedded controller", ya que el microcontrolador forma parte integral del equipo al que gobierna.

7.8 PLC vs Microcontrolador

Un microcontrolador como el ESP32 es un sistema embebido que funciona como computadora en una pequeña placa impresa de circuito integrado. Normalmente incluye un procesador, memoria y salidas y entradas que se utilizan para las aplicaciones de uso general que se programan en el microcontrolador. Estos se encuentran en la mayoría de equipos electrónicos para el control de sistemas individuales. Por ejemplo, son usados en vehículos para el sistema de antibloqueo de frenos, control de tracción, inyección de combustible y muchas funciones más. Estos son generalmente diseñados para ser integrados o ser parte de un sistema.

Un PLC se puede considerar un microcontrolador de mayor nivel o escala, ya que dentro de ellos se encuentra una placa similar a la de un microcontrolador convencional por lo que su arquitectura es similar.

Sin embargo, existen diferencias claves como:

- **Nivel de señal:** Los PLC trabajan con señales de sensores de grado industrial, actuadores y módulos de comunicación por lo que los niveles de voltaje y corriente que reciben pueden dañar un microcontrolador sin el tratamiento apropiado.
- **Robustez:** Un PLC son capaces de resistir las duras condiciones de trabajo que existen en un ambiente industrial y poder trabajar por días, semanas o meses sin parar procesando constantemente señales. Estos pueden manejar ruido eléctrico, vibraciones, temperaturas altas y muchas condiciones adversas sin verse afectado su funcionamiento. Los microcontroladores no ofrecen estas virtudes por sus chips expuestos y más frágiles, ya que estos son pensados para ser integrados como parte de un sistema.

8. Antecedentes

La integración de alternativas de PLC convencionales para uso industrial y didáctico ha dado como resultado la necesidad de la creación y diseño de PLC basados en sistemas alternativos, los cuales generalmente permiten un modelo más económico y personalizado. En este contexto se encuentra que:

Jorge Patricio M., Roberto S. Anzuategui, Jonathan Paredes C. (2024) en su publicación “*Controlador Basado en ESP32 económico y personalizable para automatización de procesos industriales agrarios*” [6] proponen una solución para la automatización industrial de PYMEs en Quevedo, Ecuador mediante un diseño de PLC mediante ESP32 DevKit4. Ofrece una alternativa más económica y de código abierto que PLC convencionales.

Salvador Arroyo, Araceli Ortiz Carranco, Maria Elibeth Morales (2024) en su trabajo “*Sistema de hardware y software para simulación, control y comunicación entre programas de automatización industrial y control PLC utilizados en instituciones educativas*” [3] implementa un sistema de estudio para estudiantes en Mexico para software usado en PLC mediante un ESP32 conectado a una computadora simulando el comportamiento de entradas y salidas. Esto permite que cada estudiante tenga un simulador de PLC por un costo mínimo en comparación en el aparato real.

Se observa que otros investigadores han tenido la necesidad de la implementación de PLC para aplicaciones industriales y didácticas.

9. Marco Metodológico

9.1 Definición de Instrumentos y Población

La población a tratar es el prototipo de PLC para laboratorio y debido a la naturaleza de la investigación, no existe una muestra. Se hará un estudio de las características necesarias para el diseño del prototipo. Para ello se definirá un instrumento de investigación para la recolección de datos requeridos para el diseño que luego serán analizados y aplicados a la población.

Instrumento de Investigación Tabla

Se hará una revisión visual de aparatos en el laboratorio y una búsqueda en línea de cualidades del microcontrolador, software de diseño, y normas de PLC para el prototipo. Las características se organizarán mediante la definición de distintos instrumentos para la recolección de estos datos que fungirán como un marco de diseño general para el prototipo.

Para definir las características mínimas de diseño del prototipo para su implementación en la enseñanza-aprendizaje de control y automatización de tal forma que se asemeje PLC industriales, pero adecuándolo a las necesidades y contexto del laboratorio, se emplearán los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- **Instrumento 1: Inspección de Dispositivos de Laboratorio:** Se utilizará una lista de características organizadas en una tabla de los dispositivos usados en el laboratorio de Control de Máquinas como contactores, relés, relés temporizadores junto con sus señales de control y salida. Esto permitirá adecuar las entradas y salidas a los dispositivos del laboratorio y que el diseño del prototipo se ajuste a la realidad y necesidades del laboratorio. Los datos recopilados se analizarán para determinar el tipo de entrada y salidas que se requerirán.

	Dispositivo
Voltajes de alimentación	
Dispositivos Seccionadores	
Dispositivos de Protección	
Dispositivos Esclavo	
Cargas	
Indicadores	

Tabla Instrumento 1

Explicación de las filas

- *Voltajes de Alimentación:* Es necesario saber si el laboratorio cuenta con el voltaje pensado para el PLC, si no hay que adaptarlo.
 - *Dispositivos Seccionadores:* Son los encargados de hacer los cambios de estado en el sistema y garantizar seguridad.
 - *Dispositivos de Protección:* Protegen al sistema contra sobrecargas o cortocircuitos.
 - *Dispositivos Esclavo:* Es importante saber si el laboratorio cuenta con dispositivos que puedan ser controlados por el PLC maestro.
 - *Cargas:* Son las que realizaran trabajos específicos por lo que es necesario.
 - *Indicadores:* Son importantes para señalar diferentes estados en el que el PLC este configurado.
-
- ***Instrumento 2: Revisión de Estándares Industriales:*** Para familiarizarse con los estándares industriales, se analizarán las características principales de los PLC utilizados en la industria, como voltajes de entrada y salida, alimentación y otros parámetros relevantes. Este análisis permitirá identificar los requisitos más importantes para el diseño del prototipo, asegurando su compatibilidad con normativas y buenas prácticas. Los aspectos más relevantes se organizarán en la siguiente tabla.

Normativa/Estándar	Relevancia en el Diseño
...	
...	

Tabla Instrumento 2

- ***Instrumento 3: Análisis del Plan De Estudio de Clase Teórica:*** Se analizará los contenidos que se imparten en la clase de Control de Máquinas haciendo uso del Plan de Estudios de la clase (ver anexo #) para alinearlos con el diseño. Esto incluye hardware, software y lenguajes de programación instruidos en clase para la elección del lenguaje de programación que será empleado en el software del PLC. Estos datos serán organizados en una tabla.

Control de Máquinas	Recursos
Unidad de Estudio	
Lenguajes de Programación	
Hardware Utilizado	
Software para Programación	

Tabla Instrumento 3

Explicación de las Filas:

- *Unidad de Estudio:* La unidad donde empieza la enseñanza sobre el uso del PLC, sus lenguajes de programación.
- *Lenguajes de Programación:* Existen diferentes lenguajes de programación y la clase de control de máquinas ya educa sobre 2 de ellos.
- *Software para Programación:* Necesario para la programación del PLC, un software gratis y de fácil uso.
- **Instrumento 4: Microcontrolador principal del PLC:** Se evaluarán tres microcontroladores para revisar el cumplimiento con las características requeridas para el diseño del PLC. La elección final del microcontrolador se basará en los criterios definidos a partir de los instrumentos 1, 2 y 3, considerando aspectos clave como entradas/salidas, capacidad de procesamiento y compatibilidad con el sistema. Los datos obtenidos se organizarán y serán comparados mediante la siguiente tabla.

•	Microcontrolador 1	Microcontrolador 2	Microcontrolador 3
Resolución			
Conversor ADC/DAC			
Almacenamiento de Datos			
Capacidad PWM			
# de Entradas/Salidas			
Tipos de Entradas/Salidas			
Voltaje de Alimentación			
Frecuencia de Reloj			
Lenguajes de Programación			
Facilidad de Configuración de Lenguaje de Programación			

Tabla Instrumento 4

Explicación Filas:

- *Resolución*: Se refiere a la cantidad de muestras que puede tomarse de una señal analógica. Esto permite mayor fidelidad en la señal y se expresa en bits.
 - *Conversor ADC/DAC*: Resolución de las salidas de señales analógicas a digitales y digitales a analógica.
 - *Almacenamiento de Datos*: Memoria disponible para cargar código y realizar las tareas de la programación.
 - *Capacidad PWM*: Cantidad de Salidas PWM.
 - *# de Entradas/Salidas*: Cantidad total de entradas y salidas.
 - *Tipos de Entradas y Salidas*: Diversidad de salidas que proporciona el microcontrolador.
 - *Lenguajes de programación*: Lenguajes de programación nativamente soportados.
 - *Facilidad de Configuración de Lenguaje de Programación*: Posibilidad de configurar otros lenguajes de programación usados en PLC dentro del microcontrolador.
- ***Instrumento 5: Simulador de Circuitos***: Se compararán mediante una tabla tres simuladores de circuitos en base a las características principales necesarias para el prototipo como capacidad de simular un microcontrolador y simular circuitos tanto analógicas como digitales. También se tomará en cuenta la facilidad de uso y la cantidad de bibliotecas de uso libre con las que cuenta el programa. Finalmente se tomará en cuenta el acceso al programa sea este gratuito, por licencia universitaria, etc.

Software	Simulación Analógica	Simulación Digital	Microcontroladores	Facilidad de Uso	Bibliotecas	Facilidad Acceso

Instrumento 5

Explicación de las Columnas:

- *Simulación Analógica:* Indica si el software es capaz de simular dispositivos que manejan señales continuas.
 - *Simulación Digital:* Indica si el software es capaz de simular dispositivos que manejan señales binarias.
 - *Microcontroladores:* Indica si el software es capaz de simular microcontroladores junto a los circuitos.
 - *Facilidad de Uso:* Se refiere a la dificultad del uso del software, si es intuitivo y con curva de aprendizaje elevada. Se categoriza en baja, moderada y alta.
 - *Bibliotecas:* Indica la cantidad y calidad de componentes disponibles en el software.
 - *Facilidad de Acceso:* Se refiere al precio del software, si es de pago o gratuito.
- ***Instrumento 6: Diseño PCB:*** Se compararán software de diseño de PCB mediante una tabla donde se contrastarán en función de sus características más relevantes para el prototipo como: capas máximas para pistas, exportación en formato Gerber para máquinas de fresado router, facilidad. Esto permitirá elegir el programa más adecuado para el diseño de la PCB una vez diseñado el circuito final.

Software	Edición de PCB	Cantidad Capas	Output Gerber	Facilidad de Uso	Facilidad de Acceso

Instrumento 6

Explicación Columna

- *Edición PCB:* Algunos programas de software de circuitos no cuentan con diseño de PCB así que se requiere que se puedan diseñar tanto circuitos como PCB.
- *Cantidad de Capas:* La cantidad de capas máximas que puede tener la placa de PCB en el software.
- *Output Gerber:* Posibilidad de creación de archivo de Router para CNC.
- *Facilidad de Uso:* Se refiere a la curva de aprendizaje baja, media y alta.

- *Facilidad de Acceso:* Requerimientos de licencia y disponibilidad de acceso a los investigadores.

Una vez llenados, los instrumentos 1, 2 y 3 serán analizadas para definir las características físicas que requiere el prototipo, como alimentación, tipos y cantidad de salidas y entradas, etc. El instrumento 4 se usará para la toma de decisión del microcontrolador que mejor se adapte a la necesidades y requerimientos provenientes del resultado del análisis de los instrumentos 1, 2 y 3.

Debido a la naturaleza de la situación problemática, esta investigación es exploratoria con enfoque práctico mediante diseño y testeo de circuitos por software. El instrumento 5 determinará el simulador de circuitos más conveniente para las simulaciones que requiere el prototipo, como compatibilidad con el microcontrolador, capacidad de simulación salidas digitales, etc. De igual manera, los datos del instrumento 6 se compararán para la elección del programa de diseño de PCB una vez se haya hecho el circuito completo mediante los resultados del instrumento 1, 2, 3, 4, y 5.

Posteriormente al análisis de los instrumentos, se comenzará con el diseño del prototipo mediante los softwares seleccionados. A causa de limitaciones de tiempo, el alcance del prototipo será hasta el diseño y cálculo de costos de la PCB y no se fabricará de manera física. Las simulaciones servirán para validar el funcionamiento del diseño.

9.2 Aplicación de Instrumento

	Dispositivo
Voltajes de alimentación	120; 208 en Y
Dispositivos Seccionadores	Contactores
Dispositivos de Protección	Disyuntor, Guardamotor, Relé
Dispositivos Esclavo	PLC esclavo, relé inteligente, VFD
Salidas	Motor monofásico y trifásico, generador
Indicadores	Leds Piloto

Instrumento 1

Normativa/Estándar	Parámetros de Diseño
IEC 61131-2	<p>Establece los requisitos principales para PLC, como las condiciones de servicio, requisitos funcionales y pruebas de confiabilidad. La alimentación estándar es de 24VDC, y debe incluir tolerancias de voltaje y protección contra sobretensiones. Habla de las entradas y salidas (I/O), especificando entradas digitales de 24VDC, mientras que las salidas digitales pueden ser a relé o transistor. Esto dependerá del requerimiento de la aplicación y velocidad de conmutación.</p> <p>El estándar de señales analógicas está en un rango de 0-10V para entradas, con aislamiento y filtrado para evitar interferencias. Las salidas analógicas pueden ser de 0-10V o 0-20mA, siendo común el uso de conversores DAC para generar estas señales con precisión. La norma también establece que los dispositivos deben cumplir con pruebas de compatibilidad electromagnética (EMC), resistencia a vibraciones, condiciones climáticas extremas, y pruebas de caída y transporte para garantizar robustez del PLC.</p>
IEC 61131-3	<p>La norma IEC 61131-3 establece los estándares para la programación PLC, definiendo los lenguajes de programación, las estructuras de software y normas para la gestión de variables y datos. Esta norma establece cinco lenguajes de programación principales: Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD), Structured Text (ST), Instruction List (IL) y Sequential Function Chart (SFC).</p> <p>Además, define también el uso de entradas y salidas (I/O) dentro de la programación, y establece cómo deben configurarse los datos de sensores y actuadores dentro del código del PLC. Incluye requisitos para la modularidad y reutilización del código, promoviendo el uso de bloques de funciones (FB) y estructuras de datos. La norma trata métodos para garantizar la seguridad y confiabilidad del software, como validación de datos, gestión de errores y compatibilidad con diferentes arquitecturas de PLC.</p>
IPC-2221	<p>La norma define las distancias mínimas entre pistas en PCB en función del voltaje para evitar arcos eléctricos y cortocircuitos. Para circuitos de baja tensión ($\leq 50V$), las pistas pueden estar más juntas (aprox. 0.2-0.5 mm), mientras que para voltajes más altos ($\geq 100V$), se requieren distancias mayores.</p> <p>También establece valores mínimos de ancho dependiendo del grosor del cobre utilizado en la PCB, el cual generalmente es de 1 oz/ft² = 35 μm. En el caso de las pistas de señal, que manejan baja corriente, el ancho mínimo es de 0.25 mm. Para las pistas de alimentación que manejan corrientes de entre 1A y 3A, el ancho mínimo debe ser de 1</p>

	<p>mm, mientras que las de alto consumo (3A o más) deben tener un ancho de al menos 2 mm.</p> <p>También recomienda el uso de planos de tierra y alimentación en PCBs multicapa para mejorar la integridad de la señal y reducir las interferencias electromagnéticas. Se sugiere una distribución en 2 capas, una dedicada a las señales y otra como plano de tierra común. Una PCB de 4 capas con planos dedicados a VCC y GND mejora la estabilidad eléctrica</p>
--	---

Instrumento 2

Control de Máquinas	Recursos
Unidad de Estudio	3ra Unidad
Lenguajes de Programación	Ladder, Bloques
Hardware Utilizado	Relé Inteligente Schneider
Software para Programación	ZelioSoft

Instrumento 3

	ESP32 S3 WROOM 1	Arduino MEGA	Arduino UNO
Resolución	12 bits ADC y 8 bits DAC	10 bits ADC	10 bits ADC
Conversor ADC/DAC	2x ADC 12 BITS, 2x DAC 8 BITS	16x ADC 10 bits, sin DAC	6x ADC de 10 bits, sin DAC
Almacenamiento de Datos	5120 KB SRAM, 16 MB Flash	8 KB SRAM, 4 KB EEPROM, 256 KB Flash	2 KB SRAM, 1KB EEPROM, 32 KB Flash
Capacidad PWM	16 canales PWM	15 canales de PWM	6 canales PWM
# de Entradas/Salidas	45 GPIOs configurables	54 pines digitales (15 PWM)	20 pines digitales (6 PWM)
Tipos de Entradas/Salidas	Digital, Analógica, I2C, SPI, UART, PWM, CAN	Digital, Analógica, I2C, SPI, UART, PWM	Digital Analógica, I2C, SPI, UART, PWM
Voltaje de Alimentación	3.3V para lógica y 5V alimentación	5V	5V
Frecuencia de Reloj	240 MHz	16 MHz	16 MHz
Lenguajes de Programación	C, C++, MicroPython, Arduino, IDF	C, C++	C, C++
Facilidad de Configuración de Lenguaje de PLC	OpenPLC con MODBUS	LDmicro, OpenPLC	LDmicro

Instrumento 4

Software	Simulación Analógica	Simulación Digital	Microcontroladores	Facilidad Uso	Bibliotecas	Facilidad Acceso
Proteus	Si	Si	Si	Alta	Amplia	Pago
Multisim	Si	Si	No	Media	Amplia	Pago
LTSpice	Si	No	No	Media-Baja	Limitada	Gratis

Instrumento 5

Software	Edición de PCB	Cantidad Capas	Output Gerber	Facilidad de Uso	Comunidad	Licencia
KiCAD	Sí	Hasta 32	Sí	Moderada	Activa, vasta cantidad de tutoriales y bibliotecas	Gratuito
EasyEDA	Sí	Hasta 14	Sí	Alta	Activa	Online gratuito
Altium Designer	Sí	Más de 100	Sí	Alta (Uso profesional)	Activa	De Pago
OrCAD	Sí	Más de 100	Sí	Alta (Uso profesional)	Activa	De Pago

Instrumento 6

9.3 Análisis de Instrumentos y Parámetros de Diseño

Los instrumentos 1,2,3 proporcionaron un marco de referencia para el diseño del circuito para la determinación de características generales del diseño.

Alimentación: El instrumento 2 provee el estándar industrial para la alimentación de un PLC es de 24Vdc. El prototipo usará el mismo nivel de voltaje para la alimentación de los microcontroladores, entradas y salidas. Se diseñará un circuito reductor para la alimentación de una placa Arduino de 24Vdc a 5Vdc. El Arduino funcionará como microprocesador principal para la lógica de programación. También se hará uso de un ESP32 S3 WROOM 1 para las capacidades de conexión inalámbrica del PLC. Este será alimentado mediante un regulador de voltaje de 5V a 3.3V. Para proveer los 24Vdc, se debe utilizar una fuente externa 120Vac/24Vdc.

Entradas: La cantidad de dispositivos que se encuentran en el laboratorio es reducida según el instrumento 1, por lo que no es necesario que existan un número alto de entradas y salidas. El prototipo PLC contará un total de 5

entradas. De estas, 4 serán entradas digitales, las cuales convertirán las señales AC de los dispositivos en señales digitales mediante un optoacoplador de corriente alterna. Esta generará pulsos que serán filtrados para convertirlos en una DC a un nivel de señal permisible de 3.3V para el microcontrolador. La entrada restante será una analógica de 0 a 10V que serán escalados a un rango de 0 a 3.3V para la protección y lectura del microcontrolador. Todas las entradas tendrán aislamiento eléctrico para mayor protección del microcontrolador.

Salidas: Se incorporarán 5 salidas en total para el control de los aparatos seccionadores y control listados en la tabla del Instrumento 1. Habrá 4 salidas digitales de relé mecánico para la activación de equipos externos. También se diseñará una salida por PWM para dispositivos capaces de ser controlados por este método como variadores de frecuencia, motores DC, motores steppers, etc. Todas las salidas tendrán aislamiento eléctrico para mayor protección del microcontrolador.

Microcontrolador: De las características anteriores surge la necesidad de un microcontrolador con alta resolución para lectura de señales analógicas, rango frecuencia PWM amplio que sea personalizable, y que cuente con las suficientes entradas y salidas definidas mediante los instrumentos 1,2 y 3. En base a ello se utilizará un ESP32 S3 WROOM 1. Es un microcontrolador de 32 bits de alto rendimiento y que ofrece una amplia variedad de características avanzadas. Este tiene capacidades inalámbricas integradas como Wi-Fi y Bluetooth con un total de 45 pines I/O disponibles, que pueden ser configurados para diversas funciones, como entradas y salidas digitales, salidas PWM, entradas analógicas (ADC) y salidas analógicas (DAC). Además, muchos de estos pines pueden ser utilizados para comunicaciones como I2C, SPI, UART, entre otros. También tiene 2 pines DAC que permiten generar señales analógicas. Posee 512 KB de SRAM y 16 MB de memoria flash para almacena de código de programa. Se alimenta con 3.3V y un bajo consumo de energía.

Simulador Circuitos: Los simuladores de circuito proporcionan el entorno apropiado para la puesta a prueba del funcionamiento de los diseños de los distintos módulos del prototipo de PLC. Se requiere un simulador con un enfoque a la simulación de circuitos digitales debido al uso de un microcontrolador. El instrumento 5 muestra que el simulador más apto para la tarea es Proteus ya que permite la simulación de microcontroladores junto al uso de circuito analógicos. Además, se cuenta con una licencia de Proteus para su uso por lo que su precio no representa un impedimento para su uso.

Software PCB: Una vez diseñado el circuito electrónico, es necesario pasar el diagrama eléctrico a un diseño en PCB para que pueda ser llevado impreso físicamente. En base lo establecido por el análisis de los instrumentos anteriores, el diseño tendrá pocas salidas y entradas y la alimentación será regulada de manera lineal por lo que no existe necesidad de muchas capas, así que el diseño no requiere de software profesional. La tabla comparativa de la tabla del Instrumento 6 muestra que la opción que mejor se adecua es KiCAD por su moderada facilidad de uso y recursos como tutoriales y bibliotecas en línea que facilitan el proceso de diseño de PCB.

10. Diseño de Circuito

Una vez definidos los parámetros de diseño mediante el análisis de instrumentos, se procederá a usar Proteus para el diseño de circuito y simulación del microcontrolador. El diseño se dividirá en los siguientes bloques:

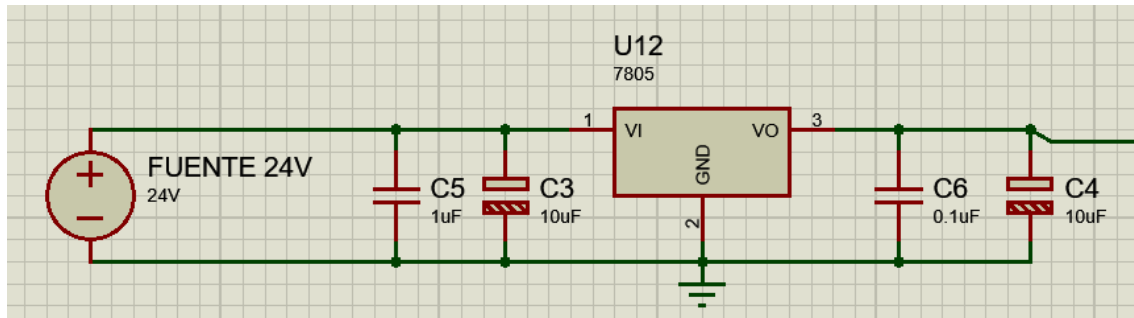
1. Fuente Alimentación
2. Entradas Digitales
3. Entrada Analógica
4. Salida Digital
5. Salida PWM

10.1 Fuente de Alimentación

El PLC contará con una alimentación de 24VDC para su entrada y uso en salidas y entradas lógica. El diseño de una fuente que convierta los 120VAC de los tomacorrientes a una señal de 24V y 5V estables con pocas perturbaciones y ruido para evitar daños en el microcontrolador resulta difícil de diseñar sin complicar los esquemáticos del circuito. Es por ello que se usará una fuente rectificadora externa de 120-240VAC/24VDC.

El modelo de esta fuente está puede variar ya que no será parte del circuito de la PCB, pero en la sección de costos se sugerirá un modelo para la alimentación del prototipo en el circuito.

Usando la salida de 24VDC como base de diseño y simplificación de diseño, se usará un regulador de voltaje lineal para bajar el voltaje a 5V. Se diseñó el siguiente circuito para le entrada:



Alimentación 5V

De la salida de 24V se agregan los capacitores electrolíticos C3 y C4 para mitigar perturbaciones en la onda de entrada y salida. De igual manera los capacitores C5 y C6 serán cerámicos para ayudar a filtrar perturbaciones de frecuencia altas y así asegurar una DC constante. Se recomienda que los voltajes de estos capacitores sean de mínimo 35V o más para evitar explosiones debido a picos de voltaje.

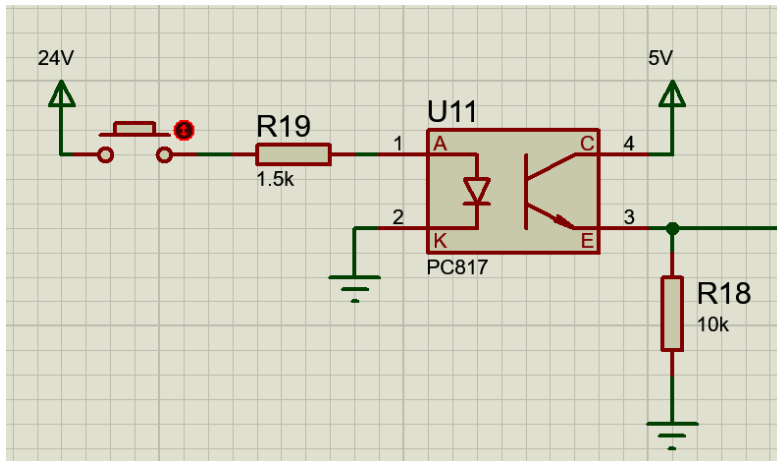
El L7805 deberá contar con un disipador de calor debido a la potencia que este disipar para bajar el voltaje de 24VDC a 5VDC.

10.2 Bloque de Entrada Digital

Se hará uso de optoacopladores para aislar los 24VDC usados en la lógica digital de entrada de las entradas de la placa. El modelo de PC817 se ha elegido debido a su sencillez y falta de necesidad de alta conmutación en la entrada. Se conecta en serie con un botón o interruptor el cual será conectado externamente según la necesidad del circuito de control que el PLC controlará. La resistencia de 1.5 kilohmios se usa para reducir la corriente del LED a un valor de aproximadamente 16 miliamperios, suficientes para excitar el transistor de salida. El diodo también causa una caída de tensión leve la cual será despreciada para el análisis.

$$I_{opto} = \frac{\text{Voltaje de Entrada}}{\text{Resistencia en serie}}$$

$$I_{opto} = \frac{24V}{1.5k\Omega} = 16mA$$

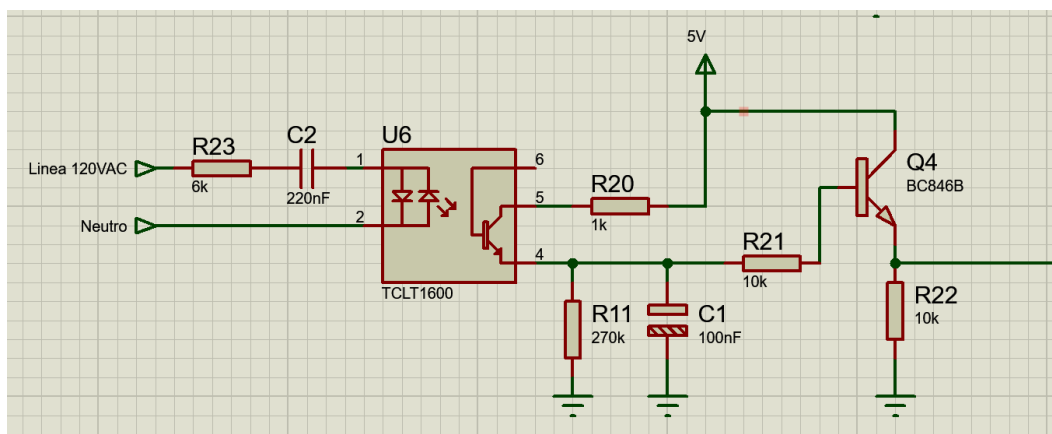


Entrada Digital

A salida se conecta una resistencia de 10 kilohmios “pull down” para mejorar la estabilidad del estado lógico. Cuando el LED sea alimentado, habrá un estado lógico ON en la salida del emisor, la cual será leída por el microcontrolador como estado lógico HIGH para su posterior uso en la programación de código.

10.3 Bloque de Entrada Analógica

Esta entrada leerá cuando exista un voltaje de 120VAC en sus terminales de entrada y causará un estado HIGH en la entrada del microcontrolador. Para el aislamiento del microcontrolador, se usará un TCLT1600 el cual permite encender el transistor de salida del optoacoplador mediante una señal AC. La resistencia de 6 kilohmios junto al capacitor cerámico de 220nF reducen el exceso de corriente a los LEDs del optoacoplador.



Circuito Entrada Analógica

Este comportamiento generará una señal cuadrada a la salida ya que habrá momentos donde la corriente es muy baja y cuando señal AC cruza por

cero. Para ello se usa un filtro mediante las resistencias 270 kilohmios y capacitor electrolítico de 100nF para estabilizar esos pulsos y convertirlos en una DC. La resistencia de 1k en el colector del transistor del optoacoplador sirve como “pull up”.

Se usa un BC846B mediante una resistencia pull down para el estado lógico HIGH y LOW. Este transistor es accionado por los 4.33V que salen del filtro del capacitor y resistencia.

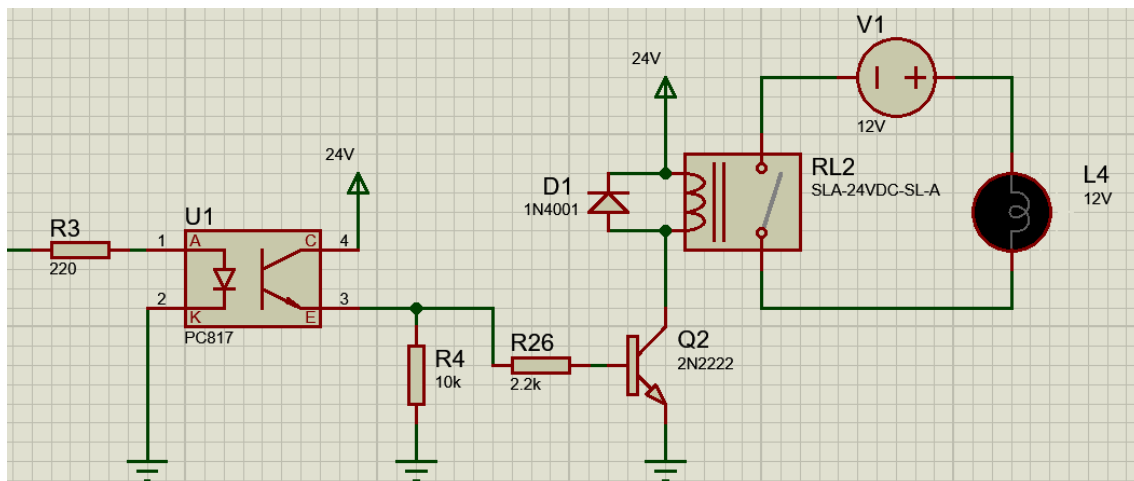
Proteus muestra un voltaje de 4.33 voltios a la salida, lo cual es suficiente para que el microcontrolador lo interprete como estado HIGH (siendo el mínimo de 3 voltios).

10.4 Bloque de Salida Digital

Se usarán salidas de relé mecánico SLA-24VDC-SL-A para la activación de dispositivos externos los cuales deben ser alimentados por fuentes externas al PLC. Como aislamiento del microcontrolador se usa el PC817. Se conecta una salida digital del microcontrolador en serie con una resistencia limitadora de corriente con valor de 220 ohms para la activación del transistor de salida.

$$I_{opto} = \frac{\text{Voltaje de Entrada}}{\text{Resistencia en serie}}$$

$$I_{opto} = \frac{5V}{220\Omega} = 22mA$$



Circuito Salida Digital

En el emisor del transistor se conecta una resistencia pull down para estabilidad del estado lógico y esta no quede “al aire” cuando esté apagado el optoacoplador. El transistor 2N2222a funge como un driver para

encender el relé ya que el PC817 no puede suministrar mucha corriente. El relé requiere de aproximadamente 185mA con resistencia de 27 ohms según el datasheet del mismo. Se usa un diodo flyback 1N4001 para protección al momento de conmutar la bobina del relé, la cual puede ser peligrosa al ser energizada. La resistencia 2.2 kilohms permite el paso de suficiente corriente de base para saturar el transistor.

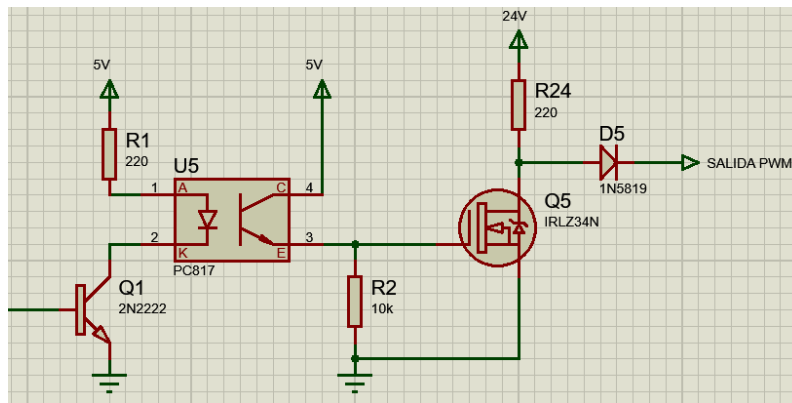
Con la configuración anteriormente descrita, Proteus muestra un valor de 404mA en el colector del transistor y una corriente de base de 10mA aproximadamente. La ganancia es de:

$$h_{fe} = \frac{404}{10} = 40.4$$

Según datasheets del 2N2222a, el valor de h_{fe} ronda entre 50 y 150, así que este es valor es suficiente para encender la bobina del relé mecánico y mantener el transistor saturado. Es posible aumentar el valor de la resistencia de base para ahorro energético. Este cambio queda a elección de los encargados del montaje físico del diseño del prototipo.

10.5 Bloque Salida PWM

Esta salida permite comunicarse con dispositivos de control como variadores por PWM. Se conecta un pin de salida PWM a la base del transistor 2N2222a para el aislamiento de la placa mediante un PC817. Se conecta una resistencia en serie con el LED del optoacoplador para reducir la corriente a aproximadamente 20mA. Se conecta una resistencia pull down para mejor estabilidad lógica y evitar inferencias de ruido en la base del MOSFET. El transistor a la salida es un IRLZ34N. Es importante este transistor cuente con un bajo V_{gs} para que la señal de 5V pueda activarlo y abrir el MOSFET. En el surtidor se conecta una resistencia pull up de 220 ohms junto a un diode Schottky 1N5819 para protección del transistor en caso de cargas inductivas.

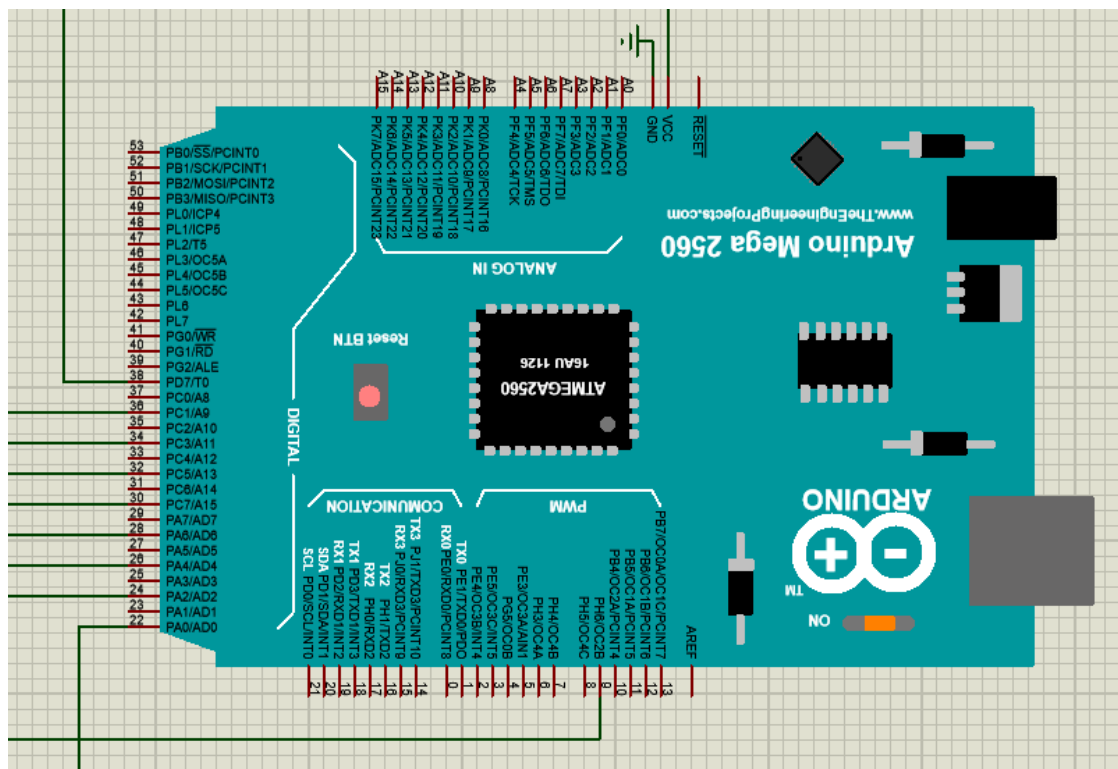


Circuito Salida PWM

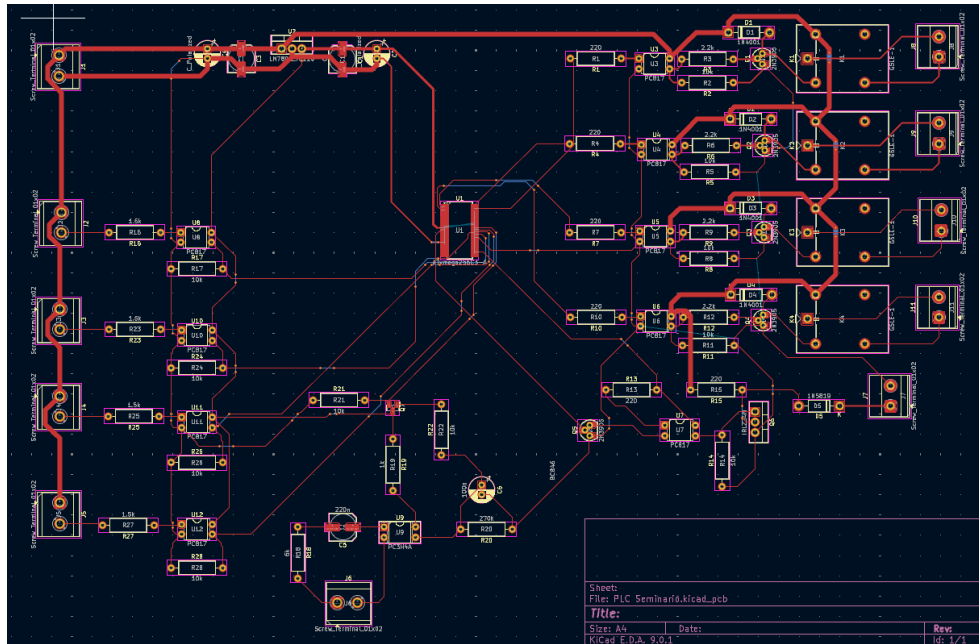
10.6 Conexiones a Pines del Microcontrolador

Se debe alimentar el microcontrolador mediante el pin VIN de la salida el regulador serie de 5V. Es importante tomar en cuenta que este regulador no puede proveer más de

Se deben usar los pines digitales para las salidas de relé. Se recomienda el uso de los pines PA0/AD0, PA2/AD2, PA4/AD4, PA6/AD6. Para lectura de las señales digitales se recomienda el uso de los pines PC5/A13, PC3/A11, PC1/A9, PD7/T0 y para la señal analógica el pin PC7/A15. El uso de otros pines es válido. La salida PWM puede conectarse al pin PH6/OC2B.



10.7 Diseño del PCB



10.8 Presupuesto del Proyecto

La cotización de cada uno de los componentes fue realizada en una tienda local llamada CyD techNnología.

Componente a Comprar	Cantidad	Precio(HNL)	Subtotal(HNL)
Arduino Mega 2560 (Compatible)	1	680	680
Fuente 24 V	1	850	850
Pack Resistencias	1	220	220
Transistor IRLZ34N	1	120	120
Transistor 2N2222A	5	200	1000
Lámparas LED Señal	4	75	300
Relevadores de 4 y 8 puntos	4	70	280
Optoacoplador	1	65	65
Transistor BC46B	1	65	65
Transistor 7805	1	65	65
Botón Pulsador	4	60	240
Transistor PC817	9	60	540
Diodo rectificador 1N4001	4	50	200
Diodo Rectificador Schottky 1N5819	1	50	50
Capacitor Electrolítico	3	50	150
Capacitor Cerámico	3	50	150
Gabinete para Montaje	1	1500	1500
Costo Total			6475

11. Viabilidad del Diseño

Se optó por desarrollar el diseño en KiCad, software gratuito, con soporte comunitario y herramientas suficientes para un diseño profesional. Las distancias y grosores de las pistas se consideraron para garantizar seguridad y confiabilidad. El diseño propio del PCB se hizo en base a la norma IEC 61131-2 y 61131-3 para definir niveles de voltaje, entradas/salidas, lenguajes de programación, etc.

Se hizo una elección de componentes que pueden ser hallados con facilidad en tiendas de electrónica en San Pedro Sula como CyD Tecnología. La impresión de PCB puede ser hecha por compañías como JLCPCB y los componentes soldados a mano. El presupuesto estimado resulta accesible y realista para su realización dentro del laboratorio de ingeniería eléctrica.

12. Justificación

El desarrollo de un prototipo de PLC para fines didácticos nace como respuesta a una necesidad en el laboratorio de la clase de Control de Máquinas de la carrera de Ingeniería Eléctrica Industrial en UNAH-VS. Se ha observado que la escasez de PLCs funcionales limita a los estudiantes a aplicar el conocimiento teórico obtenido, afectando negativamente la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje.

Este proyecto busca abordar esta problemática planeando, conociendo y diseñando un PLC que sea funcional, económico y seguro. Para esto se se van a utilizar componentes como el microcontrolador ESP32 y Mega 2560 junto con la plataforma Arduino. Se ajustará a estándares industriales como la IEC 61131-2 e IEC 61131-3, así asegurando que el PLC sea compatible y simule lo que se vería en un entorno laboral. Su programación busca usar un lenguaje Ladder, que es simple e intuitivo para facilitar el aprendizaje.

Viendo el prototipo desde el punto de vista económico su costo es accesible y realista además de ser sostenible considerando que es más económico que un PLC comercial. También lo hace replicable, por lo que amplía el acceso a tecnología de automatización para los estudiantes.

13. Conclusiones

El prototipo de PLC en el laboratorio permitirá fortalecer significativamente la enseñanza y el aprendizaje práctico de los conceptos de control y automatización. A través del uso de este recurso, los estudiantes podrán interactuar de forma directa con los componentes y procesos propios de los sistemas automatizados.

El análisis de los requisitos técnicos permitió identificar las características mínimas necesarias que debe poseer el prototipo de PLC, gracias a los diferentes instrumentos 1, 2 y 3 se pudo obtener que este recurso se puede utilizar, fácilmente en la adaptación correcta en el laboratorio de la carrea, el lenguaje compatible actualmente con lo impartido en clase, los usos que se le puede dar en el ámbito industrial.

El diseño del circuito del PLC constituyó un paso fundamental en el desarrollo del prototipo, ya que permitió definir de manera precisa la estructura y funcionamiento del sistema de control. A través de este proceso, se logró establecer una base sólida para la implementación del hardware, garantizando su seguridad y compatibilidad con los componentes del laboratorio. Además, el diseño del circuito facilitó la comprensión de la lógica de automatización, que dará hincapié a promover el aprendizaje aplicado y el desarrollo de habilidades en el diseño de circuitos.

El cálculo del costo de los componentes y del desarrollo total del PLC permitió tener una visión clara y realista de los recursos necesarios para la implementación del prototipo. Esta etapa fue clave para evaluar la viabilidad económica del proyecto, facilitando la toma de decisiones en cuanto a la selección de materiales, optimización de recursos y planificación del presupuesto. Asimismo, este análisis económico contribuye a fomentar en los estudiantes una conciencia sobre la gestión eficiente de los costos en proyectos de ingeniería y automatización.

14. Cronograma

Mes	Actividad
Enero	29 Planteamiento y Formulación de Problema.
Febrero	8 Identificación de la situación problemática. 18 Hipótesis y Variables de Investigación. 21 Objetivos. 25 Pregunta de Investigación(Pregunta Problema).
Marzo	5 Aplicación de Módulo 1 a la investigación incluyendo el Marco Teórico. 14 Marco Metodológico (Parte A). 22 Toma de Datos a través de los equipos. 28 Marco Metodológico (Parte B).
Abril	4 Informe Preliminar I 9 Informe Final I

15. Glosario

IE: Ingeniería eléctrica

CM: Control de Maquinas

PLC: Controlador Lógico Programable

VFD: Variador de frecuencia

UI: Interfaz de Usuario (User Interface)

SO: Sistema Operativo.

Open-source: código abierto

Router: Dispositivo que proporciona Wi-Fi y que generalmente está conectado a un módem.

Microcontrolador: Circuito integrado que contiene una unidad de procesamiento, memoria y puertos de entrada/salida, permitiendo controlar dispositivos electrónicos de forma compacta.

Microprocesador: Componente que actúa como la unidad central de procesamiento (CPU) en un sistema, requiriendo componentes externos para su funcionamiento.

Memoria RAM: Tipo de memoria volátil que almacena datos temporalmente mientras el sistema está en funcionamiento.

Memoria ROM: Memoria de solo lectura donde se almacena permanentemente el programa que controla el funcionamiento del dispositivo.

Circuito Integrado: Componente electrónico que agrupa múltiples transistores, resistencias y otros elementos en un solo chip, reduciendo el tamaño y la complejidad de los circuitos.

CPU: Unidad de Procesamiento es el componente principal de un microprocesador o microcontrolador encargado de ejecutar instrucciones y realizar cálculos.

Controlador Embebido: Microcontrolador integrado dentro de un dispositivo para gestionar su funcionamiento de manera autónoma.

Decodificador de Direcciones: Circuito que permite direccionar la memoria y otros periféricos en un sistema basado en microprocesadores.

Transistor: Componente electrónico esencial en la construcción de microprocesadores y microcontroladores, utilizado para amplificar o conmutar señales eléctricas.

16. Bibliografía

- [1] International Electrotechnical Commission. (2007). IEC 61131-2:2007 - Programmable controllers – Part 2: Equipment requirements and tests. IEC.

- [2] International Electrotechnical Commission. (2013). IEC 61131-3:2013 - Programmable controllers – Part 3: Programming languages. IEC.

- [3] Arroyo-Díaz, S. A., Ortiz-Carranco, A., & Morales-Illescas, M. E. (2024). *Hardware and software system for simulation, control, and communication between industrial automation programs and PLC control used in educational institutions*. Journal of Technologies in Industrial Processes, 8(18), 1-10.
https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Tecnologias_en_Procesos_Industriales/vol8num18/Journal_of_Technologies_in_Industrial_Processes_V8_N18_1.pdf

- [4] Sehr, M. A., Schmidt, D., & Jasperneite, J. (2020). *Programmable Logic Controllers in the Context of Industry 4.0*. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 16(4), 2481-2490. Recuperado de <https://ieeexplore.ieee.org/document/9134804>

- [5] Liu, Y., Xiao, B., & Wang, X. (2016). *A comprehensive review on the development of sustainable energy strategy and implementation in China*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57, 1379-1389. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116000551>

- [6] Kairuz Cabrera, D., García García, D., Bosh Quirós, A., Lemus Ramos, J., & Martínez Laguardia, A. (2023). *Proposal of a programmable logic controller based on open hardware*. Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications, 9(42).

Recuperado de <http://itegam-jetia.org/journal/index.php/jetia/article/view/878>

- [7] Autor desconocido. (s.f.). *Programmable Logic Controller (PLC) in Automation*. Recuperado de <https://journals.aijr.org/index.php/ajgr/article/view/185/77>
- [8] Electrical4u. (s.f.). *Programmable logic controllers: Power supply module*. Recuperado de <https://www.electrical4u.com/programmable-logic-controllers/#Power-Supply-Module>
- [9] Autor desconocido. (s.f.). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control para el manejo de temperatura y humedad en un invernadero utilizando tecnología inalámbrica ZigBee y una interfaz SCADA*. Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4818/1/CD-4406.pdf>
- [10] MikroElektronika. (s.f.). *Introducción al mundo de los microcontroladores*. MikroElektronika. Recuperado de <https://www.mikroe.com/ebooks/microcontroladores-pic-programacion-en-c-con-ejemplos/introduccion-al-mundo-de-los-microcontroladores>
- [11] Autor desconocido. (s.f.). *¿Qué es un microcontrolador?* Sherlin Xbot. Recuperado de <http://sherlin.xbot.es/microcontroladores/introduccion-a-los-microcontroladores/que-es-un-microcontrolador>
- [12] Autor desconocido. (s.f.). *Sistemas con microcontrolador y Arduino*. En *Conceptos básicos de Arduino*. TeseoPress. Recuperado de <https://www.teseopress.com/conceptosarduino/chapter/sistemas-con-microcontrolador-y-arduino/>

- [13] Ortiz-Cisneros, J. (2014). *Hardware en la educación*. Tekhnê, 11(1), 51-58. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/tekhne/article/view/8919/10291>
- [14] Fierro Lora, J. E. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de control de acceso basado en microcontroladores*. Tecnológico Nacional de México. Recuperado de <http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/5475/1/Fierro%20Lora%20Jose%20Enrique.pdf>
- [15] Arduino. (s.f.). Arduino - Home. Arduino. Recuperado el 5 de marzo de 2025, de <https://www.arduino.cc>
- [16] Espressif Systems. (s.f.). ESP32 - Wi-Fi and Bluetooth MCU. Espressif Systems. Recuperado el 5 de marzo de 2025, de <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- [17] Terán, O., Narciso, F., Ríos-Bolívar, A., Hidrobo, F., Álvarez, J., León, L., Aguilar, J., & Hernández, D. (2009). Un marco metodológico para el desarrollo de aplicaciones para automatización industrial. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 24(1). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652009000100005