TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Desarrollo de un PLC con microcontrolador ATmega328p como parte de la integración en sistemas para la automatización de tareas en la gestión integral académico industrial – Modalidad Desarrollo Tecnológico

AUTORES

Wilson Andrey Carreño Remolina - 1.100.974.464
Michael Andrés Ayala Robayo - 1.100.975.374
Carlos Andrés Verdugo Durán - 1.007.617.644

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS
TECNOLOGIA EN ELECTRONICA INDUSTRIAL
SAN GIL
FECHA DE PRESENTACIÓN: 06-12-2019

TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO

Desarrollo de un PLC con microcontrolador ATmega328p como parte de la integración en sistemas para la automatización de tareas en la gestión integral académico industrial – Modalidad Desarrollo Tecnológico

AUTORES

Wilson Andrey Carreño Remolina - 1.100.974.464
Michael Andrés Ayala Robayo - 1.100.975.374
Carlos Andrés Verdugo Durán - 1.007.617.644

Trabajo de Grado para optar al título de

Tecnólogo en Electrónica Industrial

DIRECTOR

Ing. Esp. Yezid Rolando Vargas Gómez.

Grupo de Investigación en Tecnologías Socioeconómicas e Ingenierías – GITSEIN

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS
TECNOLOGIA EN ELECTRONICA INDUSTRIAL
SAN GIL
FECHA DE PRESENTACIÓN: 06-12-2019

Nota de Aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del jurado

_____

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial a los ingenieros docentes Yezid Rolando Vargas Gómez, Hernán Darío Díaz López, Oscar William Vergara Romero y demás docentes que fueron parte fundamental del ciclo de aprendizaje concluido, por su dedicación y exigencia hacia nuestro proceso de formación como personas y tecnólogos. Del mismo modo, agradecemos por orientar de manera satisfactoria el desarrollo de este proyecto de grado.

Autores

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO 8

INTRODUCCIÓN 9

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN 10

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 10
1.2. JUSTIFICACIÓN 11
1.3. OBJETIVOS 11
1.3.1. OBJETIVO GENERAL 11
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES 12

2. MARCOS REFERENCIALES 14

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO 33

4. RESULTADOS 54

5. CONCLUSIONES 61

6. RECOMENDACIONES 63

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64

8. ANEXOS 66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Constitución interna de un PLC..... 20
Figura 2. Elementos o componentes básicos utilizados en lógica cableada..... 21
Figura 3. Relés. 22
Figura 4. Funciones de tiempo o temporización; temporización al cierre, a la apertura y pulso o monoestable..... 23
Figura 5. Mando Manual. 24
Figura 6. Los colores de los pulsadores de mando, y los luminosos de estados y alarma, son elegidos de acuerdo a normas internacionales como la CEI 73. 24
Figura 7. Enclavamiento entre pulsadores, enclavamiento entre las bobinas de mando de los relés o contactores..... 25
Figura 8. PLC SIEMENS S7- 200. 26
Figura 9. Ajuste de la velocidad de transmisión. 27
Figura 10. Cambiar los modos de operación..... 27
Figura 1. Regulador de voltaje con diodo zener. 34
Figura 2. Divisor de tensión. 34
Figura 3. Alimentación del fototransistor. 35
Figura 4. Inversión de señales 36
Figura 5. Señal digital de entrada ATmega328p. 37
Figura 6. Señal digital de salida. 38
Figura 7. Circuito para el control de cargas..... 38
Figura 8. Interfaz de potencia con CI. 39
Figura 9. Circuito ATmega328p Arduino uno R3..... 40
Figura 10. Puertos de comunicación..... 41
Figura 11. Alimentación para potencia..... 42
Figura 12. Alimentación para control..... 42
Figura 13. Circuito eléctrico en placa de prueba. 44
Figura 14. Borde límite y uso de Auto-placer - Componentes ubicados manualmente..... 45
Figura 15. Ruteo de pistas. 46
Figura 16. PCB terminado..... 47
Figura 17. Tarjeta impresa. 48
Figura 18. Montaje de componentes. 48
Figura 19. Sectorización de tarjeta electrónica..... 49
Figura 20. Relación de entradas y salidas. 50
Figura 21. Prueba entrada digital. 55
Figura 22. Lectura de potenciómetros..... 56
Figura 23. Pines digitales 5V y PWM. 57
Figura 24. Activación de salidas a relé desde app móvil. 58
Figura 25. Activación de contactores. 59
Figura 26. Puertos PLC. 68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ensayo de circuito eléctrico en montaje de prueba. 43
Tabla 2. Pruebas realizadas al PLC. 51
Tabla 3. Comparación entre PLCs 52
Tabla 4. Comparación de precios. 53
Tabla 5. Voltaje en divisor de tensión. 54
Tabla 6. Características PLC con ATmega328p 66
Tabla 7. Especificaciones para programación. 66
Tabla 8. Características eléctricas. 67
Tabla 9. Especificaciones técnicas ATmega328p 67

RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo del presente se ejecutó mediante un método científico derivado del analítico, compuesto por procedimientos prácticos y técnicas de recolección de información (con la cual se determinaron las características fundamentales y que mejor se adaptaron para el desarrollo del objetivo general), el asesoramiento de las fuentes bibliográficas y diverso material web. El prototipo es validado por medio de su correcto funcionamiento controlando cargas de alto y medio consumo a partir de las órdenes que imparte un microcontrolador previamente programado bajo el software de programación de Arduino. Los resultados se analizan haciendo contraste con los objetivos específicos, permitiendo tener una visión clara de las características de funcionamiento del prototipo. El desarrollo está dividido en tres fases, la número uno enfocada en el diseño del esquema eléctrico y la elección de los componentes electrónicos que se usaron, la segunda está comprendida por la construcción de la tarjeta electrónica basándose en la fase anterior y en tercer lugar se evalúa el funcionamiento del prototipo a partir del control de cargas eléctricas haciendo comparación con un PLC comercial.

El resultado producto de la ejecución del proyecto es el desarrollo de un controlador lógico programable de bajo costo que puede ser usado de manera eficaz mejorando diversos sectores de la industria tanto municipal como regional, basándose en la implementación de nuevas tecnologías. Adicionalmente tiene un alcance de impacto positivo dentro la institución, permitiendo mejorar el aprendizaje a partir del uso del prototipo en las carreras que se relacionen con la electrónica industrial, automatización y control.

Para el sistema de control se usó un micro-controlador ATmega328p ideal para que sea programado con el IDE de Arduino, con un sistema de control altamente aislado de los eventos externos como son las entradas y las salidas. Dentro del desarrollo del diseño eléctrico se presentaron errores a causa de la inestabilidad generada por componentes reguladores de voltaje, lo cual implicó optar por la sustitución del método en uso, generando una solución efectiva al problema presentado, obteniendo valores estables y que cumplen con los requerimientos técnicos de los componentes en uso.

PALABRAS CLAVE. Automatización, controlador, industria 4.0, programación, tecnología digital

INTRODUCCIÓN

Los PLCs se han convertido en una herramienta importante al momento de ejecutar procesos de automatización industrial, debido a la capacidad que tienen estos dispositivos a la hora de realizar dichas acciones, las cuales permiten ahorrar en costos adicionales referentes a operación, mantenimiento, energía y mano de obra, garantizando una mayor eficiencia y calidad en los resultados obtenidos al final de cada proceso.

El uso de estos controladores lógicos programables se ve justificado gracias a la fiabilidad que brindan y a la capacidad de resistir condiciones extremas de trabajo. Cabe resaltar que estos dispositivos tienen un costo elevado en el mercado, siendo un impedimento constante en la aplicación de estos para las industrias con procesos de baja escala.

En el trabajo ejecutado por (Heras Aguilar, S. 2015), se logró replicar el funcionamiento de un PLC mediante la programación y uso de un dispositivo de bajo costo. Por su parte, la ejecución del trabajo realizado por (De Castro, A., Canchila, F. & Anaya, A. 2017) permitió el desarrollo de un módulo de entrenamiento de automatización y control, con el fin de lograr realizar una serie de procesos basados en el funcionamiento de los dispositivos a implementar, teniendo como objetivo incentivar a los estudiantes de Ingeniería Electrónica de la Universidad Cooperativa de Colombia que no cuentan con herramientas de simulación para estos procesos.

A puertas de estos antecedentes, en la elaboración del presente, se tiene como punto de referencia un enfoque mixto, teniendo en cuenta la elección de materiales a utilizar en la parte cualitativa, así como el análisis de datos de producción y reducción de costos con respecto a otros PLCs geniudos alusivo a la parte cuantitativa.
Una vez realizado el análisis comparativo de los métodos de ejecución, se suministra evidencia determinante para la consumación de las conclusiones más relevantes, haciendo uso del método deductivo.

Con la ejecución del proyecto, se logra elaborar un autómata capaz de realizar procesos de automatización industrial. Dicho dispositivo se elabora teniendo en cuenta las diferentes funciones con las que cuenta un PLC genuino. Como factores diferenciales, se cuenta con una interfaz de programación de fácil manejo como lo es Arduino IDE, una mayor accesibilidad económica debido a los materiales de bajo costo pero con total eficiencia que se implementan y la adaptación de módulos de comunicación externos con los cuales se tenga acceso a nuevas tecnologías digitales impuestas por la industria 4.0, tales como el internet de las cosas (IoT) y las tecnologías de información y comunicación (TIC). Con el desarrollo se espera mejorar los procesos industriales de la región en ámbitos de calidad de producción, seguridad y ahorro económico. Del mismo modo, se espera que pueda servir como herramienta educativa para los estudiantes Uteistas que cursen materias relacionadas con la automatización y el control de procesos.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de la humanidad ha traído consigo un crecimiento dentro del mundo tecnológico. Uno de los sectores que más ha tenido que ver cambios ha sido el industrial, ya que dentro de la historia se conocen tres revoluciones industriales que han traído cambios realmente significativos, la última de estas dejando como principal secuela a los dispositivos controladores programables, específicamente dentro de este sector a los controladores lógicos programables, más conocidos como PLC (Programmable Logic Controller), los cuales permiten tener control sobre las cargas empleadas dentro de un proceso de productividad industrial. El uso de estos dispositivos, además permite encontrar con facilidad algún fallo dentro de uno de estos procesos, así como reducir los riesgos para los trabajadores, puesto que al ser autómatas no necesitan de personal dentro de las tareas que esta predefinido para cumplir. Sin embargo, dentro de la implementación de un PLC para un proceso industrial se encuentran algunas desventajas que son significativas, que cohíben su adaptación y que llevan a un lento desarrollo del sector, siendo una de ellas el alto costo que genera, tanto por el valor comercial que tienen, así como por la mano de obra especializada que necesitan, ya que una programación hecha de forma inadecuada no garantiza el correcto funcionamiento del dispositivo.

Además, existen otros puntos débiles de los PLC, tales como la poca practicidad para la automatización a pequeña escala y falta de instrumentos para la adaptación a nuevas tecnologías, afirmando que hoy en día se está viviendo lo conocido como la cuarta revolución industrial o la industria 4.0, la cual hace referencia a la adaptación de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) y/o la tecnología digital con inteligencia artificial.

Con base en esta información, se genera la pregunta de investigación: ***¿Cómo construir un controlador lógico programable de bajo costo para diversos campos de aplicación bajo un ambiente de programación fácil de dominar preparado para la adaptación de nuevas tecnologías como parte de la integración en sistemas para la automatización de tareas que garantice una mejor experiencia del usuario en la gestión integral?***

1.2. JUSTIFICACIÓN

El uso de los controladores lógicos programables dentro de los procesos de control y automatización industrial se ha convertido en la manera más efectiva de efectuar el correcto funcionamiento de los mismos, así como también ha ayudado de forma significativa en la prevención de fallas y en la fácil ubicación de estas, además de múltiples ventajas de índole económico y de seguridad industrial, como también han contribuido en el desarrollo del sector fabril de países productores a nivel de todo el mundo. No obstante, al tratarse de un dispositivo electrónica y electromecánicamente avanzado, el costo de implementación tanto como de la mano de obra especializada que necesita para su correcto funcionamiento se ha convertido en un obstáculo importante a la hora de su introducción en los procesos industriales a alta y baja escala, asimismo, carecen de la posibilidad de adaptarse fácilmente a las nuevas tecnologías digitales, las cuales a la fecha de hoy son la nueva evolución dentro de los sistemas de automatización.

La construcción de un controlador lógico programable basado en un microcontrolador de bajo costo y alta eficiencia junto con un ambiente de programación asequible para casi cualquier persona, así como la disposición para hacer el uso de nuevas tecnologías para el monitoreo y control de los procesos a través de módulos ya desarrollados, contribuiría con el desarrollo industrial a nivel regional y nacional, permitiendo una mejora en la producción, disminuyendo las pérdidas económicas a causa del desconocimiento de la ubicación exacta de las fallas, abriendo las puertas a la transformación de la tecnología y haciendo un uso efectivo de los recursos tales como máquinas y personal laboral.

En el ámbito institucional este proyecto contribuye con el avance en la línea de investigación de control – automatización de procesos e industria 4.0 del Grupo de Investigación en Tecnologías Socioeconómicas e Ingenierías (GITSEIN) en articulación con el semillero SSCADA del programa de Electrónica Industrial, con el diseño y desarrollo de una tarjeta electrónica para el manejo de cargas industriales para la automatización fabril. Con la ejecución del proyecto se hace un aporte a la comunidad industrial de todo índole, dando efectividad en el manejo de los procesos y una instauración de controles autómatas asequibles de manera económica, mejorando de este modo los puntos nombrados con anterioridad.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una tarjeta electrónica como apoyo para los procesos de automatización industrial a partir de un microcontrolador de alto rendimiento programable desde el entorno de desarrollo Arduino con el fin de disminuir costos brindando la posibilidad de integrar nuevas tecnologías dentro de los procesos regionales.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Plantear un esquema eléctrico que permita el acople de los sistemas tanto de control como de potencia a partir de la estructura de un microcontrolador basándose en el funcionamiento de un controlador lógico programable.

Montar una tarjeta electrónica para el control de cargas industriales mediante el uso de elementos electrónicos (sensor – controlador - actuador) que brinde el aislamiento necesario para su integración, así como la adaptación de tecnologías modernas de monitoreo y/o comunicación.

Construir un PLC con microcontrolador ATmega328p como parte de la integración en la automatización de tareas que mejore la experiencia del usuario y/o validación del funcionamiento del prototipo mediante el accionamiento de cargas industriales comparado con un PLC.

1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

Heras Aguilar, S. (2015). ***Construcción de un PLC mediante un dispositivo de bajo coste.*** Universidad de la Laguna, España. Con el desarrollo de este proyecto se consigue replicar el funcionamiento de un Controlador Lógico Programable (PLC) mediante la programación de un dispositivo de bajo costo a través de un programa ensamblador, se procesa las instrucciones en el lenguaje de programación propio del autómata a un nuevo entorno de programación, que contiene la funcionalidad de simular el comportamiento de un PLC, de esta forma, el dispositivo de bajo coste que se elige, se comporta como un autómata.

Buele, J. & Espinoza, J. (2018). ***Tecnologías de bajo costo para la implementación de control avanzado en un proceso industrial.*** Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Ecuador. Se presenta la implementación de dos algoritmos de control avanzado en tarjetas embebidas de bajo costo, para así obtener resultados experimentales en una planta de flujo de caudal, teniendo como primera instancia el desarrollo de un controlador borroso que consta de 7 funciones de membresía y opera sobre un sistema SISO, seguido de un segundo controlador que implementa un MPC (Control Predictivo Basado en Modelo).

Castro, A., Canchila, F. & Anaya, A. (2017). **Diseño e implementación de un módulo de entrenamiento de automatización y control utilizando PLC controllino, programado en lenguaje C, para actividades prácticas en los laboratorios de electrónica de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Santa Marta.** El objetivo de este proyecto es el desarrollo e implementación de un módulo de entrenamiento de automatización y control con el fin de lograr realizar una serie de procesos sobre el funcionamiento de los

dispositivos a implementar, del mismo modo, analizar las ventajas y desventajas que trae esta tecnología en comparación de la ya existente en el mercado e incentivar a los estudiantes de ingeniería electrónica que no cuentan con herramientas de simulación.

(https://che-charls-electroall.webnode.es/plc-con-arduino/) ***PLC con Arduino es un controlador lógico programable diseñado por Electroall***, cuyo circuito está basado en el dispositivo de PLC SIEMENS S7 1200, CPU1214c con salidas de relés, por ende, la tarjeta se alimenta con 24VDC, consecuentemente las entradas también serán de 24VDC, si bien es cierto el PLC de siemens tiene 14 entradas y 10 salidas, en este caso solo tendrá 8 entradas y 8 salidas. Para el sistema de control se usa de un micro-controlador ATmega328p ideal para que sea programado con el IDE de arduino, cabe señalar que el sistema de control está altamente aislado de los eventos externos que vienen ser las entradas y las salidas.

2. MARCOS REFERENCIALES

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Historia De La Automatización

Los PLC fueron inventados en respuesta a las necesidades de la automatización de la industria automotriz norteamericana por el ingeniero Estadounidense Dick Morley. Antes de los PLC, el control, la secuenciación, y la lógica para la manufactura de automóviles era realizada utilizando relés, contactores, y controladores dedicados. El proceso para actualizar dichas instalaciones en la industria año tras año era muy costoso y consumía mucho tiempo, y los sistemas basados en relés tenían que ser recableados por electricistas especializados.

El desarrollo e introducción de los relés, fue un paso gigantesco hacia la automatización e incremento de la producción. El uso de relés hizo posible añadir una serie de lógicas a la operación de las máquinas y de esa manera redujo carga de trabajo al operador. Los relés hicieron posible programar tiempos de retardo, establecer automáticamente una secuencia de operaciones, conteo de eventos o hacer un evento general para control de varios procesos. Los relés presentaron desventajas a través del tiempo, como tener un período de vida corta ya que por su naturaleza electromecánica después de un tiempo de uso son inservibles, debido a que sus partes conductoras de corriente pueden en un momento quemarse o fundirse, afectando la lógica establecida.

Otra desventaja de la lógica cableada con relés es cuando se realiza un rediseño en el producto, un cambio de producción en las operaciones de la máquina o en su secuencia, en este caso la lógica debe ser redefinida o en su defecto cambiar el tablero de control.

Este fue el problema de productores de automóviles a mediados de los 70. A lo largo de los años se habían automatizado las operaciones de producción mediante el uso de los relés, cada vez que se necesitaba un cambio, se invertía una gran cantidad de trabajo, tiempo y material, sin tomar en cuenta la producción perdida.

El computador ya existía en ese entonces y se les dio la idea a los fabricantes de que la clase de control que ellos necesitaban podría ser llevado a cabo con algo similar al computador. Sin embargo, los computadores no eran viables para esta aplicación por un buen número de razones. El reto fue el diseño de un aparato que pudiese efectuar el control y pudiese fácilmente ser reprogramado, pero adecuado para la industria. En el año de 1969, se entregó el primer controlador programable en las plantas ensambladoras de automóviles de Detroit, Estados Unidos.[1]

[1] RONDON RUEDA, Mauricio. TAVERA PRADA, Ltda. (2009) Módulo didáctico de aplicaciones industriales para el laboratorio de automatización y redes de comunicaciones. Trabajo de grado (Ingeniero en control electrónico e instrumentación). Unidades Tecnológicas de Santander en convenio con la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías. Bucaramanga.

En 1968 GM Hydramatic (la división de transmisiones automáticas de General Motors) ofertó un concurso para una propuesta del reemplazo electrónico de los sistemas cableados. La propuesta ganadora vino de Bedford Associates de Boston, Masachusets. El primer PLC, fue designado 084, debido a que fue el proyecto ochenta y cuatro de Bedford Associates. Bedford Associates creó una nueva compañía dedicada al desarrollo, manufactura, venta y servicio para este nuevo producto: Modicon (Modular Digital CONtroller o Controlador Digital Modular). Una de las personas que trabajó en ese proyecto fue Dick Morley, el que es considerado como "padre" del PLC. La marca Modicon fue vendida en 1977 a Gould Electronics, y posteriormente adquirida por la compañía Alemana AEG y más tarde por Schneider Electric, el actual dueño. Uno de los primeros modelos 084 que se construyeron se encuentra en la sede de Modicon en el Norte de Andover, Masachusets. Fue regalado a Modicon por GM, cuando la unidad fue retirada tras casi veinte años de servicio ininterrumpido.

La industria automotriz es todavía una de las más grandes usuarias de PLC, y Modicon todavía numera algunos de sus modelos de controladores con la terminación ochenta y cuatro. Los PLC son utilizados en muchas diferentes industrias y máquinas tales como máquinas de empaquetado y de semiconductores. También existe un rango de PLC's fabricados para aplicaciones en automotores, embarcaciones, ambulancias y sistemas móviles para el mercado internacional de SCM International. Algunas marcas con alto prestigio son ABB Ltd., Koyo, Honeywell, Siemens, TrendControls, Schneider Electric, Omron, Rockwell (Allen-Bradley), General Electric, frazmax, TescoControls, Panasonic (Matsushita), Mitsubishi e IsiMatrix machines.

2.1.2. DEFINICIÓN DE PLC

Un Autómata Programable Industrial (API) o Programable Logic Controller (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos secuenciales.

Un PLC trabaja con base a la información recibida por los sensores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc. Por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo, a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Otros ejemplos de aplicaciones generales son:

- Maniobra de máquinas.
- Maquinaria industrial de plástico.
- Máquinas transfer.
- Maquinaria de embalajes.
- Maniobra de instalaciones.
- Instalación de aire acondicionado, calefacción.
- Instalaciones de seguridad.
- Señalización y control.
- Chequeo de programas.
- Señalización del estado de procesos.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

2.1.3. Ventajas y Desventajas

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas sobre la lógica cableada, ello es debido, principalmente, a la variedad de modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Tales consideraciones remiten a las **ventajas** que proporciona un autómata de tipo medio:

1. Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que: No es necesario dibujar el esquema de contactos, no es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad del módulo de memoria es suficientemente grande.
2. La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente se elimina parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, así como distintos plazos de entrega.
3. Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar cableado ni añadir aparatos.
4. Mínimo espacio y menor coste de mano de obra de la instalación.
5. Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles.

6. Los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
7. Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
8. Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
9. Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

En cuanto a sus **desventajas:**

1. Como inconvenientes se podría hablar en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a capacitar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente está solucionado porque las universidades ya se encargan de dicho adiestramiento.
2. El coste inicial también puede ser un inconveniente.

2.1.4. Funciones básicas de un PLC

a. Detección:

Lectura de la señal de los sensores distribuidos en plantas (industriales)..

b. Mando*:*

Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.

c. Dialogo humano máquina*:*

Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.

2.1.5. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómata, el dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómata controlando la máquina. El sistema de programación permite, mediante las instrucciones del autómata, diseñar el programa de usuario. Posteriormente el programa realizado, se transfiere a la memoria de programa de usuario.

Hoy en día, los PLC no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores proporcional integral derivativo (PID).Los PLC actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadores en redes de área local LAN, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido DCS.

Existen varios lenguajes de programación, tradicionalmente los más utilizados son el diagrama de escalera (Lenguaje Ladder), preferido por los electricistas, lista de instrucciones y programación por estados, aunque se han incorporado lenguajes más intuitivos que permiten implementar algoritmos complejos mediante simples diagramas de flujo más fáciles de interpretar.

Un lenguaje más reciente, es el FBD (*Function Block Diagram*) que emplea compuertas lógicas y bloques con distintas funciones conectadas entre sí.En este tipo de programación se pueden incluir diferentes tipos de operadores, desde los más simples como lógica booleana, contadores, temporizadores, contactos, bobinas y operadores matemáticos, hasta operaciones más complejas como manejo de tablas (recetas), apuntadores, y funciones de comunicación multiprotocolos que permitirían interconectarse con otros dispositivos.

2.1.6. Tipos de Lenguajes de Programación

Hace referencia a las diferentes formas de escribir el programa. El software que se usa permite interpretar el programa en cualquiera de los lenguajes, de esta forma se escribe en el lenguaje que es más conveniente o el que más se facilite.

Los más usados actualmente son:

- AWL (Lista de instrucciones).
- KOP (Esquema de contactos).
- Editor LD (Diagrama de escalera)
- FUP (Diagrama de funciones).
- Editor FBD (Diagrama de bloques funcionales)

2.1.7. Editor AWL (Lista de Instrucciones)

El editor AWL está adaptado especialmente para los programadores expertos y familiarizados con los sistemas de automatización y con la programación lógica. También permite crear programas que con los editores KOP y FUP no se pueden programar, debido a que este lenguaje es original de la CPU, y los otros dos son editores gráficos en los que existen ciertas restricciones para poder dibujar los diagramas correctamente.

2.1.8. Editor KOP (Esquema de Contactos)

La lógica consiste en dividir unidades pequeñas de fácil comprensión llamadas segmentos, que se ejecutan de izquierda a derecha y luego de arriba abajo, al finalizar el programa, la CPU vuelve y ejecuta el programa desde la primera operación. El esquema de programación en KOP se representa mediante tres símbolos gráficos básicos que son:

- **Contactos:** representan condiciones lógicas de “entrada” como interruptores, botones, condiciones internas de entrada, etc.

- **Bobinas:** representan condiciones lógicas de “salida” como lámparas, contactores, relés interpuestos, condiciones internas de salida, etc.

- **Cuadros:** representan operaciones adicionales como temporizadores, contadores y operaciones aritméticas.

2.1.9. Editor FUP (Diagrama de funciones):

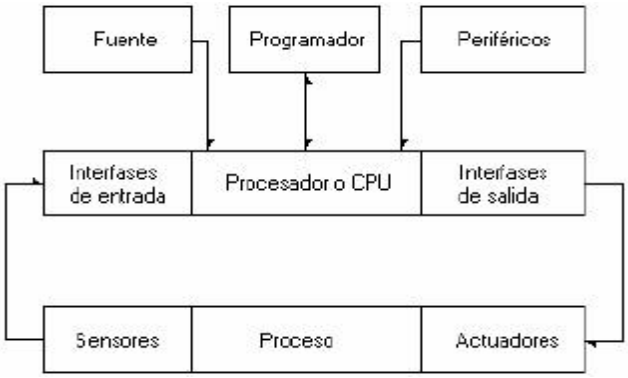
El editor FUP visualiza las operaciones en forma de cuadros lógicos similares a los circuitos de puertas lógicas. En el editor FUP no existen contactos ni bobinas como en el KOP, pero hay operaciones equivalentes que se representan en forma de cuadros. La lógica se deriva de las conexiones entre dichas operaciones.

2.1.10. ESTRUCTURA BÀSICA DE UN AUTOMATA PROGRAMABLE

Al igual que la mayoría de los sistemas que se basan en procesadores, los PLC cuentan con elementos internos similares como lo son: Procesador o CPU, memorias internas, memorias de programas, interfaces de entrada y salida, buses de direccionamiento y de datos, puertos, periféricos y fuente, entre otros.

En el siguiente diagrama se muestra cada una de las partes que constituyen un Controlador Lógico Programable PLC.

Figura 1. Constitución interna de un PLC.



Fuente: ("Sistemas de Automatización S7 – 200". Edición española).

Fuente de Alimentación: convierte la tensión de la red, 110 ó 220 V ac a baja tensión de cc (24 V por ejemplo) que es la que se utiliza como tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forman el autómata.

CPU: La Unidad Central de Procesos es el cerebro del sistema. Es el encargado de recibir órdenes del operario a través del módulo de entradas. Después las procesa para enviar respuestas al módulo de salidas. La CPU realiza operaciones de tiempo (ya sea trabajando con retardos o temporizando), de secuencia, de combinación, de automantenimiento así como de retención.

Módulo de Entradas: aquí se unen eléctricamente los sensores (interruptores, finales de carrera, etc.). Hay 2 tipos de sensores conectables: los pasivos y los activos. La información que reciben la envían al CPU para ser procesada según la programación.

Módulo de Salidas: es el encargado de activar y desactivar los actuadores (bobinas de contactores, motores pequeños, etc.). Activadas por la información procesada por la CPU en función de la información enviada por las entradas. Hay 3 módulos de salidas según el proceso a controlar por el autómata: relés, triac y transistores.

Terminal de Programación: es el que permite comunicar al operario con el sistema. Sus funciones son la transferencia y modificación de programas, la verificación de la programación y la información del funcionamiento de los procesos.

Periféricos: son empleados para hacer una supervisión del proceso, algunos de estos son: monitor de vídeo, impresora, unidad de disco, LED's, teclados; etc. Ellos no intervienen directamente en el funcionamiento del autómata pero sí que facilitan la labor del operador.[2]

[2]Grupo Tecnológico MASER. (2014) "Autómatas Programables". [en línea]. <http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm> [Última Visita: 11 septiembre de 2019]

Memoria: permite el almacenamiento de datos del programa (RAM),el sistema operativo (ROM), el programa de usuario (RAM no volátil oEEPROM), configuración del PLC (ROM o RAM no volátil para parámetrosconfigurables), rutinas de arranque (ROM) y rutinas de chequeo (ROM).

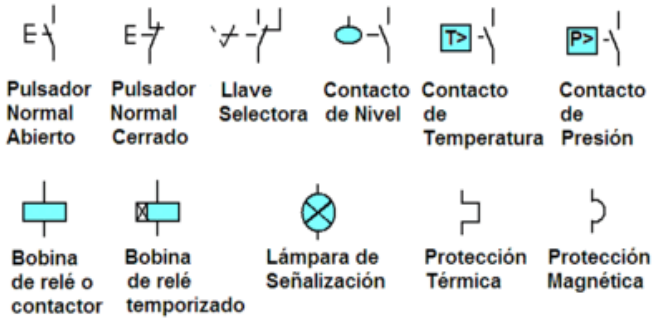
Programador: es el dispositivo mediante el cual es posible introducir al PLC el programa previamente ya elaborado con el fin de controlar el o los procesos elegidos. Está constituido principalmente por un display, un teclado con comandos lógicos y de servicio.Este es la interfase entre el procesador y el usuario.

2.1.11. SEÑALES ANALÓGICAS Y DIGITALES

Las señales digitales o discretas como los botones e interruptores, son simplemente una señal ON/OFF (1 ó 0, Verdadero o Falso, respectivamente). Las señales discretas son enviadas usando la tensión o la intensidad, donde un rango especifico corresponderá al ON y otro rango al OFF.

Un PLC puede utilizar 24 V de voltaje continuo en la E/S donde valores superiores a 22 V representan un ON, y valores inferiores a 2 V representan OFF. Inicialmente los PLC solo tenían E/S discretas.

Figura 2. Elementos o componentes básicos utilizados en lógica cableada.



[Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:L%C3%B3gica_Cableada_Elementos_de_Mando.GIF].

Las señales analógicas son presión, temperatura, flujo, peso y controles de volúmenes, entre otros, con un rango de valores entre 0 y el tope de escala.
Esto es normalmente interpretado con valores enteros por el PLC, con varios rangos de precisión dependiendo del dispositivo o del número de bits disponibles para almacenar los datos.

Las señales analógicas pueden usar tensión o intensidad con una magnitud proporcional al valor de la señal que se procesa. Por ejemplo, una entrada de 4 a 20 mA ó de 0 a 10 V,

se convertirá en enteros comprendidos entre 0 a 32767.
Las entradas de intensidad son menos sensibles al ruido eléctrico (como por ejemplo el arranque de un motor eléctrico) que las entradas de tensión.

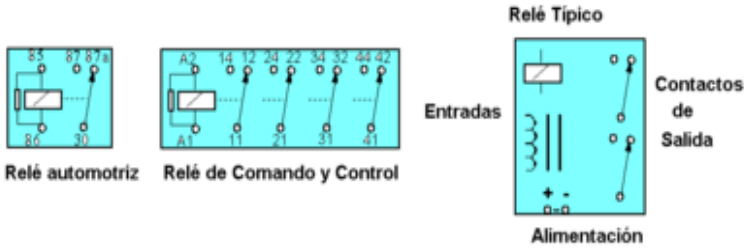
2.1.12. Capacidades E/S en los PLC modulares.

Los PLC modulares tienen un limitado número de conexiones para la entrada y la salida. Normalmente, hay disponibles ampliaciones si el modelo base no tiene suficientes puertos E/S.A menudo hay miles de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. El número medio de entradas de un PLC es 3 veces el de las salidas, tanto en analógico como en digital. Las entradas "extra" vienen de la necesidad de tener métodos redundantes para controlar apropiadamente los dispositivos, y de necesitar siempre más controles de entrada para satisfacer la realimentación de los dispositivos conectados.[3]

Relés: Comprende además del relé electromecánico, a todo dispositivo eléctrico o electrónico con entradas analógicas o digitales, y con una o más salidas por contactos secos. Así por ejemplo, un relé puede ser un control de nivel o temperatura, un relé electromecánico, un contactor con contactos auxiliares, un relé de sub o sobre tensión, un relé de protección y decenas de otras funciones, que distintos fabricantes de equipamiento industrial catalogan como "relés".

Todos estos equipos, aparatos o instrumentos, son considerados como "relés" en la medida de que cuenten con contactos eléctricos NA o NC de salida, y realicen una función particular de lógica cableada. Las entradas pueden ser bobinas, circuitos de medida de tensión, corriente, temperatura, nivel, accionamientos físicos y manuales, comandos remotos, por cable o por radiofrecuencia.

Figura 3. Relés.



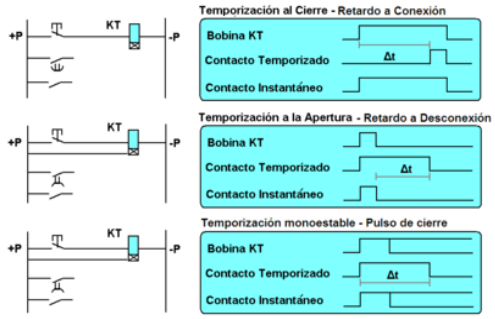
Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:L%C3%B3gica_Cableada_Rel%C3%A9s.GIF].

[3] Balcells, J y Romeral, J.L. (1997) Autómatas programables. Marcombo.

Contactos NA y NC: Los contactos eléctricos de los relés pueden ser contactos normalmente abiertos NA, o normalmente cerrados NC. En los esquemas de conexión y de principio siempre se dibuja el contacto en su posición de reposo, con la bobina del relé desenergizada o en OFF. El contacto NC se dibuja cerrado y el contacto NA se dibuja abierto.

Relé Auto Mantenido: Un relé con auto-mantenimiento es un relé en donde un contacto auxiliar mantiene el relé energizado, luego de que el contacto de arranque cierra y abre. El contacto de parada tipo NC, desenergiza el relé. En la electrónica digital es equivalente a un Biestable o Flip-Flop.

Figura 4. Funciones de tiempo o temporización; temporización al cierre, a la apertura y pulso o monoestable.

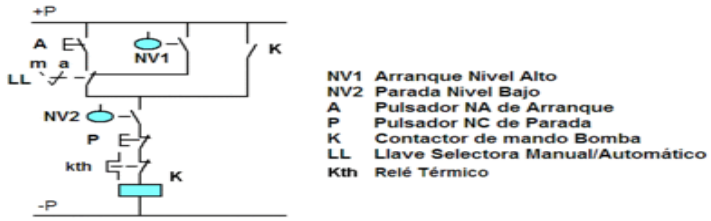


[Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:L%C3%B3gica_Cableada_Rel%C3%A9_Temporizado.GIF].

Temporización: Existen relés temporizados de varios tipos, pero tres funciones básicas son: temporización al cierre, a la apertura y la emisión de un pulso temporizado al cierre. En los dos últimos, el relé temporizado deber alimentarse desde una conexión independiente a la de la bobina. Los contactos temporizados se representan mediante un “paraguas” que se opone al movimiento.

Protección: Estas funciones deben guardar en lo posible independencia de los circuitos de mando, que permitan funcionar con mandos manuales, en automático y en caso de falla. En el dibujo previo, el contacto kth de relé térmico y el flotador NV2 son elementos de protección en serie con el circuito manual y automático.

Figura 5. Mando Manual.



[Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:L%C3%B3gica_Cableada_Mando_Manual_y_Autom%C3%A1tico.GIF].

Señalización: La señalización comprende la indicación de los estados de marcha, parada, falla o defectos, posición de interruptores abiertos o cerrados. Para lo cual se emplea luminosos con lámpara incandescente o con LED. La lámpara es energizada mediante contactos auxiliares de contactores e interruptores, o con relés que copian la posición de los mismos.

En autómatas de relés de gran tamaño, la polaridad empleada para la señalización es independiente de la polaridad de mando, ya que un cortocircuito en un indicador luminoso no debería dejar fuera de servicio el autómata.

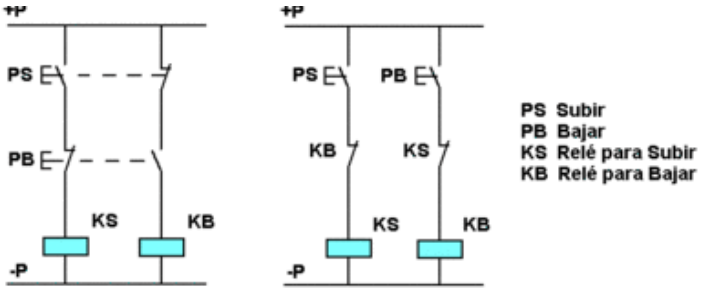
Código de colores: Para la señalización en pulsadores de mando y lámparas o indicadores luminosos, se emplean distintos colores.

Figura 6. Los colores de los pulsadores de mando, y los luminosos de estados y alarma, son elegidos de acuerdo a normas internacionales como la CEI 73.

[Fuente:http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:L%C3%B3gica_Cableada_C%C3%B3digo_de_Colores.GIF].

Enclavamientos: impiden que dos órdenes de mando contradictorias tengan efecto simultáneamente. Existen muchas formas de realizarlo, eléctricamente en las botoneras o pulsadores de mando, entre relés, en el circuito de potencia y hasta mecánicamente entre motores con funciones opuestas.

Figura 7. Enclavamiento entre pulsadores, enclavamiento entre las bobinas de mando de los relés o contactores.



[Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:L%C3%B3gica_Cableada_Enclavamientos.GIF]

2.1.13. ESTRUCTURA DEL SOFTWARE DE UN PLC

Los PLC, se parecen cada vez más a un computador, no obstante en sus inicios solo cumplían objetivos de lógica. El PLC es un sistema con lenguajes orientados a la automatización, como ejemplo se describe un set de instrucciones genérico del mismo, con las siguientes prestaciones:

- **Instrucciones lógicas:** AND, OR, NOT, XOR, SET, RESET.
- **Instrucciones de módulos de programación:** Temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, comparadores
- **Instrucciones de control:** Control de marcha, condiciones de restar, forzado de

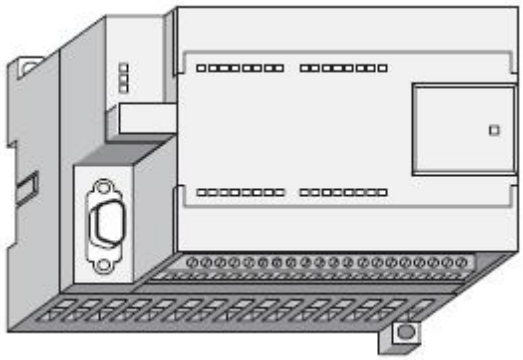
variables, inhibición de salidas, saltos condicionales.

- **Instrucciones matemáticas:** Suma, resta, multiplicación, división.
- **Instrucciones de comparación:**de bits, bytes, igualdad, mayor o menor que.
- **Instrucciones de translación:** Translación de datos en memoria.
- **Instrucciones de conversión:** decimal, binario, BCD.

2.1.14. PLC SIEMENS S7 – 200.

La gama S7-200 comprende diversos sistemas de automatización pequeños (Micro-PLC´s) que se pueden utilizar para numerosas tareas.

Figura 8. PLC SIEMENS S7- 200.



[Fuente: Sistemas de automatización S7–200. Edición española].

Gracias a su diseño compacto, su capacidad de ampliación, su bajo costo y su amplio juego de operaciones, los Micro-PLC´s S7-200 son especialmente apropiados para solucionar tareas de automatización sencillas. Además, los diversos tamaños y fuentes de alimentación de las CPU´s ofrecen la flexibilidad necesaria para solucionar las tareas de automatización.

El PLC a utilizar en el Laboratorio es el S7–200 CPU 222, el cual consta de 6entradas y 8 salidas digitales con posibilidad de adaptar módulos de ampliaciónpara entradas y salidas análogas.

El software utilizado para la elaboración de programas y programación del PLC esel STEP 7-Micro/WIN 32 el cual es un programa de fácil manipulación y versatilidad a la hora de usarlo. El STEP 7-Micro/WIN cuenta con un sistema de ayuda online muy efectivo. Mediante este menú recibe informaciones entre otras sobre el contenido de operaciones deSTEP 7-Micro/WIN.

Si se dispone de acceso a Internet, en la opción S7-200 en el Web del menú Ayuda se podrán consultar y descargar informaciones, datos de catálogo, ejemplos, consejos entre

otros.

El cable PC/PPI conecta el PC con el PLC S7-200 (LED STOP o RUN). El S7-200 emite y recibe datos a una velocidad de 9600 bits/s.

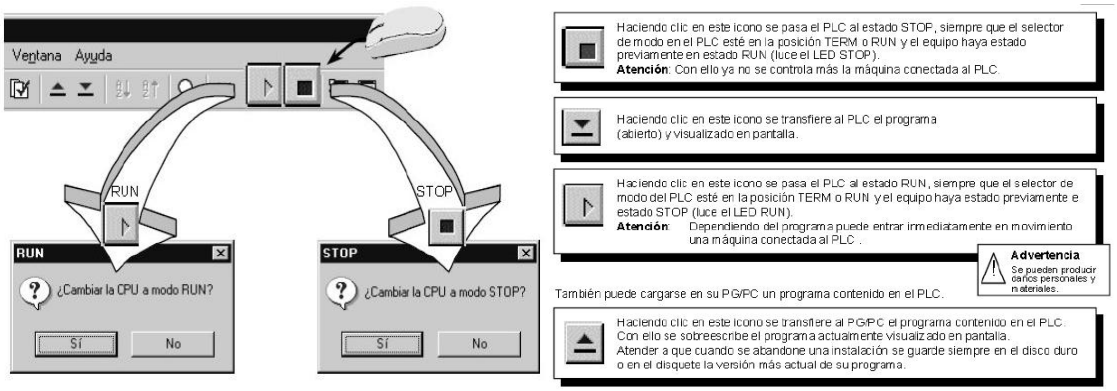
Figura 9. Ajuste de la velocidad de transmisión.

[Fuente: Guía del usuario de STEP 7 SIEMENS].

Tras haber instalado el software STEP 7-Micro/WIN 32 en el PC y determinado los ajustes de comunicación del cable PC/PPI, se podrá establecer un enlace con la CPU del S7-200.Entonces se pueden verificar o cambiar los parámetros de comunicación de la misma.

En el estado operativo RUN se ilumina el LED verde RUN. En el estado operativo STOP se ilumina el LED amarillo STOP en el PLC. Si pueden conmutar los estados operativos desde el PC esto significa que la conexión entre el PC y el PLC está bien instalada. Si no puede apreciar cambio de estado operativo, compruebe las conexiones del cable, el ajuste de la velocidad de transmisión en el cable PC/PPI así como, en el menú Ver > Comunicación..., si ha seleccionado el interface correcto.

Figura 10. Cambiar los modos de operación.



[Fuente: Guía del usuario de STEP 7 SIEMENS].

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. 3.5.2.6. PLC (Programmable Logic Controller)

El desarrollo que ha tenido la tecnología en las últimas décadas ha traído consigo la inclusión de procesos industriales automatizados con la capacidad de sostener una correcta ejecución y una productividad virtuosa. Estos dispositivos que tienen como denominación PLC permiten controlar de manera lógica la maquinaria usada dentro de la industria a través de lenguajes de programación, con el fin de reducir gastos en mano de obra así como de disminuir los riesgos entre las partes que conforman a la misma y tener un uso más preciso de los procesos de producción. En la actualidad existen PLC con diferentes especificaciones técnicas las cuales varían dependiendo de los procesos a los cuales se vaya a aplicar y que de igual forma tienen un costo significativo debido a las acciones que pueden ejecutar.

Un controlador lógico programable cuenta con una unidad central de proceso (CPU) y las interfaces de entrada y salida. La CPU se puede denominar como el cerebro del PLC y está compuesta por la memoria y el procesador.

El uso de estos dispositivos se muestra como una parte fundamental dentro del proceso de crecimiento que han tenido las industrias así como del avance de la electrónica y de la tecnología como tal, ya que gracias a estos la forma de trabajo y la calidad de producción ha venido mejorando considerablemente si se compara con lo que sucedía años atrás, esto se traduce en un alto desarrollo socioeconómico para los países que incluyen esta tecnología dentro de sus procesos industriales.

Un PLC o controlador lógico programable es un dispositivo usado en las industrias para automatizar procesos electromecánicos, recoger y almacenar datos de fuentes analógicas y digitales, generar ciclos de tiempo, hacer cálculos, comunicarse con demás sistemas, entre otros. Este controlador se puede ver como un cerebro que activa diversos elementos de maquinarias permitiendo ejecutar tareas de manera automática en donde el ser humano no interfiera, ya sea por lo peligroso del proceso o porque no está capacitado para trabajar con la exactitud y fuerza de una máquina.

Gracias a los PLC la industria ha tomado un impulso considerable, ya que se han facilitado y mejorado de gran manera los procedimientos de producción y control, ya sea por velocidad o por mejora en los productos, así como también se ha logrado reducir costos de mantenimiento y aumentar la vida útil de los equipos utilizados.

2.2.2. Microcontroladores

Los microcontroladores son circuitos integrados conformados por una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (ROM y RAM) y periféricos de entrada y salida. La finalidad de estos dispositivos es ejecutar órdenes grabadas en dicha memoria, las cuales son grabadas por medio de un ambiente de programación basado en un lenguaje programable definido por los fabricantes. Básicamente los microcontroladores están diseñados como medio para bajar el costo económico y el consumo energético de un sistema.

Un microcontrolador posee los mismos bloques funcionales de un computador, lo que permite manejarlo como si se tratara de un pequeño dispositivo de cómputo.

Una de las ventajas que presenta este tipo de circuito integrado es la de hacer un procesamiento de órdenes de manera limpia y a una velocidad efectiva para la implementación en prácticamente cualquier sistema, así como una memoria que permite almacenar programas con un alto nivel de programación.

2.2.3. Lenguaje de programación

Se pueden ver como un lenguaje formal que proporciona una serie de comandos y/o instrucciones con la cuales un programador logra escribir secuencias de órdenes y algoritmos con el fin de manejar el comportamiento de un sistema, ya sea de forma física o lógica. Estos lenguajes están hechos por símbolos, reglas gramaticales y reglas semánticas, las cuales en unión conforman lo que se conoce como estructuras de lenguajes.

La estructura de un lenguaje de programación otorga los elementos necesarios para traducir la secuencia de un seudocódigo a un formato entendible del sistema con el que se esté trabajando. Dentro de lo amplio que es este entorno, se encuentran tres tipos de leguaje de programación, los cuales son implementados de acuerdo a las necesidades del proceso:

Lenguaje de maquina (lenguaje de bajo nivel): Este nivel de programación se distingue por ser una colección de dígitos binarios que son leídos e interpretados por el computador, además de que son los menos entendibles por el ser humano, ya que es el que está más cerca del idioma utilizado por el computador, es decir, está compuesto de manera total por números.

Lenguaje ensamblador (lenguaje de bajo nivel): Como su nombre lo indica, este lenguaje hace referencia al ensamble hecho por medio de un programa para que el computador entienda un lenguaje de programación, es decir, el lenguaje de programación se convierte en su totalidad a números.

Lenguaje de alto nivel: Este tipo de lenguaje permite escribir códigos de programación haciendo uso de instrucciones que son más cercanas al lenguaje cotidiano del ser

humano pero que de igual forma son traducidos a números para la correcta ejecución dentro del computador. Algunos lenguajes de programación de este nivel usan compiladores para hacer posible esta traducción y otros usan intérpretes.

2.2.4. Automatización industrial

La automatización industrial hace referencia a la utilización de elementos o sistemas tecnológicos computarizados para el control y/o supervisión de procesos industriales. Dentro del procedimiento de automatización de una industria se busca como objetivo principal mejorar los tiempos de producción así como la calidad de los productos cuando se trata de procesos que requieren un alto grado de exactitud, la cual es imposible que un humano pueda conseguir, además de diversos objetivos secundarios o de menos relevancia que están incluidos dentro de dicho procedimiento.

Dentro de este tipo de procesos se hace uso de sensores, transmisores de campo, sistemas de control, sistemas de monitoreo, sistemas de recolección de datos, aplicaciones de software y demás prácticas que hacen parte de la instrumentación industrial.

Los procesos autómatas dentro de una industria son producto del desarrollo tecnológico dentro de lo que se conoce como la segunda revolución industrial, la cual se centró en los procesos de automatización. Algunas tecnologías que conforman los procesos industriales automatizados son la electricidad, electrónica, neumática, robótica, oleohidráulica y comunicaciones industriales, por mencionar algunos de ellos.

2.2.5. Concepto de industria 4.0

Es conocida como la cuarta revolución industrial y se refiere básicamente a la introducción de las tecnologías digitales en las fábricas o industrias. La finalidad de la industria 4.0 reside en la digitalización de los procesos de productividad de las industrias a través de sistemas de información, combinación de técnicas avanzadas y procedimientos con tecnologías inteligentes.

La importancia de la industria 4.0 parte del alcance masivo que tiene, ya que impacta de manera directa en todas las industrias, así como en cada ecosistema dentro de las mismas y está basada en sistemas tecnológicos tales como el internet de las cosas y sistemas ciberfísicos, con lo cual busca mejorar la productividad y mantener preparadas a las industrias para los cambios y/o actualizaciones futuras.

2.2.6. Tecnologías digitales

La tecnología digital hace alusión a los sistemas que tienen como finalidad acelerar procesos, crear innovadoras formas de trabajo, realizar cálculos, manipular datos de diversas formas, así como mejorar la productividad y calidad de vida.

El uso de esta tecnología ha sido protagonista los últimos años dentro los nuevos sistemas que se crean o de la innovación de los ya existentes, de tal forma que ha tenido un impacto considerable en el mundo moderno, ya que el descubrimiento de esta disciplina ha permitido que el mundo tal y como lo conocemos se haya vuelto más rápido y productivo.

Tratándose del impacto que genera la tecnología más moderna al día de hoy, ya se están empezando a ver implementaciones de esta índole dentro de los sistemas de productividad industrial que hasta la fecha se basaban solamente en procesos mecánicos y/o electromecánicos, haciendo del manejo industrial algo relativamente fácil de controlar, ya sea por las posibilidades que ofrece así como por la practicidad que mantiene.

2.2.7. Seguridad industrial

Es una disciplina que se debe cumplir de forma estricta y obligatoria en toda industria o empresa que tiene como propósito velar por la seguridad e integridad física de los trabajadores así como del funcionamiento óptimo de los sistemas y maquinaria dentro de la misma.

La implementación de los controladores lógicos programables dentro de las industrias ha permitido mejorar de manera notable el estado de seguridad de los trabajadores tanto como de las maquinas, gracias a que con el paso del tiempo estos dispositivos han venido implementando funciones de diagnóstico que permiten disminuir los fallos que causen riesgos y que no se detectan a simple vista.

2.2.8. Acoplamiento de sistemas o etapas

El acople de sistemas, en este caso, sistemas de control y de potencia, es una parte fundamental dentro del funcionamiento interno de un PLC, ya que gracias a esto es posible manejar cargas industriales de alto consumo (corriente alterna) a partir de señales de control (corriente directa), aislando las dos etapas para permitir la ejecución ideal de los procesos que se pretenda manejar a partir de él.

Dentro de este tipo de procesos se puede encontrar una variedad de componentes que permiten hacer de manera correcta el acople entre los sistemas nombrados con anterioridad, ya sea de manera mecánica o electrónica, siendo el caso de los relés o de los octoacopladores.

Con la evolución que ha tenido la electrónica en las últimas décadas se ha podido llegar a la instancia de tener un control óptimo de los procesos industriales gracias a la efectividad que brindan los componentes diseñados con el fin de acoplar etapas o sistemas que son necesarios a la hora de automatizar o manejar ciertas cargas.

2.3. MARCO LEGAL

El desarrollo de la tarjeta electrónica para el control de procesos industriales del presente proyecto está regido bajo la Norma Técnica Colombiana NTC2050, la cual hace referencia al Código Eléctrico Colombiano y que es de obligatorio cumplimiento, basada en los estándares internacionales tales como son los contemplados en la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), en la IEC (International Electrotechnical Commission) y por el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas), documento en el cual se establecen los parámetros para que las instalaciones eléctricas garanticen la seguridad del personal.

3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

3.1. DISEÑO ELECTRICO

El desarrollo del diseño para el circuito eléctrico completo del PLC apoyado por un ATmega328p, se hace a partir de la división por partes de cada subsistema que constituyen el proyecto, teniendo como punto de partida y principal objetivo, el acople de las etapas de control y potencia para las señales digitales y la inclusión del circuito de alimentación para el microcontrolador, así como la puesta a punto de las herramientas correspondientes al envío y recepción de datos que permiten la adaptación a nuevas tecnologías digitales de la era industrial 4.0, todo esto con relación a los requerimientos técnicos para el óptimo funcionamiento del microcontrolador en uso.

Cada parte que compone al circuito del PLC con ATmega328p se ejecuta bajo los parámetros de diseño y trabajo del software de simulación *PCB Desing and Circuit Simulator Software – Proteus* y llevado a la práctica con montajes eléctricos en placas de prueba o protoboards, con el fin de verificar el correcto funcionamiento y validar lo realizado en el simulador.

Teniendo en cuenta la información brindada, a continuación se muestra cada una de las etapas llevadas a cabo para el desarrollo del circuito eléctrico del proyecto:

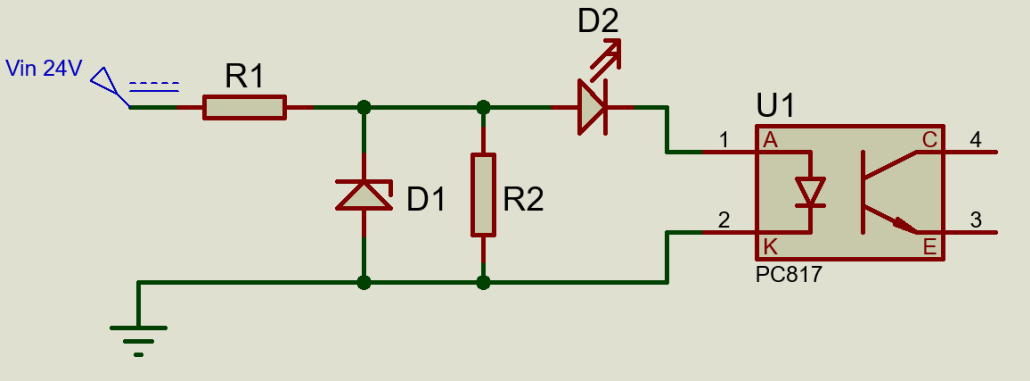
3.1.1. ADAPTACIÓN DE SEÑALES DE ENTRADA

El PLC con ATmega328p es pensado, entre otras cosas, para la correcta lectura de señales digitales de 24V DC, permitiendo de esta forma el uso de sensores inductivos y capacitivos para la ejecución de tareas en procesos industriales, así como de algunas otras señales que tengan esta característica.

La tarea primordial en esta etapa del circuito consiste en disminuir el voltaje de la señal digital de entrada, la cual, como se dijo antes, es de 24V DC, esto con el fin de obtener una señal aproximada a los 5V DC para la activación del diodo LED interno de un optoacoplador que hace la función de aislante de etapas de control y potencia.

Inicialmente se realiza esta acción a partir del uso de un diodo zener *D1* en función de un regulador de voltaje como lo muestra la siguiente figura:

Figura 11. Regulador de voltaje con diodo zener.



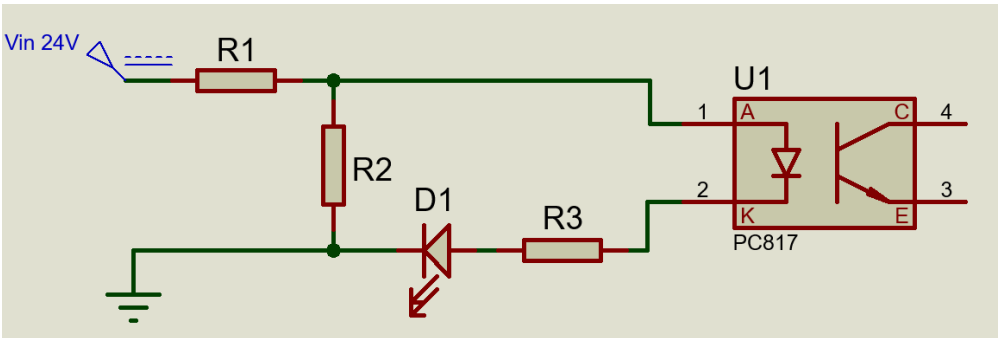
Fuente: Autores

Uva vez es alcanzado el valor *Vz* especificado por la hoja de datos del zener, permitiendo a partir del voltaje en sus terminales que este no varíe aunque aumente la tensión de entrada en R1 (resistencia de drenaje), es decir, se crea un regulador de voltaje cuyos valores se generan a partir de la fórmula:

$$R1 = \frac{Vin - Vz}{IR_2 + Iz}$$

Sin embargo, este circuito presenta ciertas limitaciones que se ven reflejadas en el desarrollo de las pruebas, ya que debido a sus características y a las prestaciones requeridas para este caso, el valor de R1 tenía que ser muy pequeño, generando que a través del zener circularan corrientes elevadas las cuales serán contraproducentes en la vida útil del mismo. Debido a esto, se opta por un circuito alterno cuyo funcionamiento es básicamente el mismo, un regulador de voltaje a partir de un divisor de tensión.

Figura 12. Divisor de tensión.



Fuente: Autores

El valor de R1 y R2 en el circuito que muestra la anterior *figura* se determina a partir de la formula convencional de un divisor de tensión.

$$Vout = \frac{R2}{R1 + R2} * Vin$$

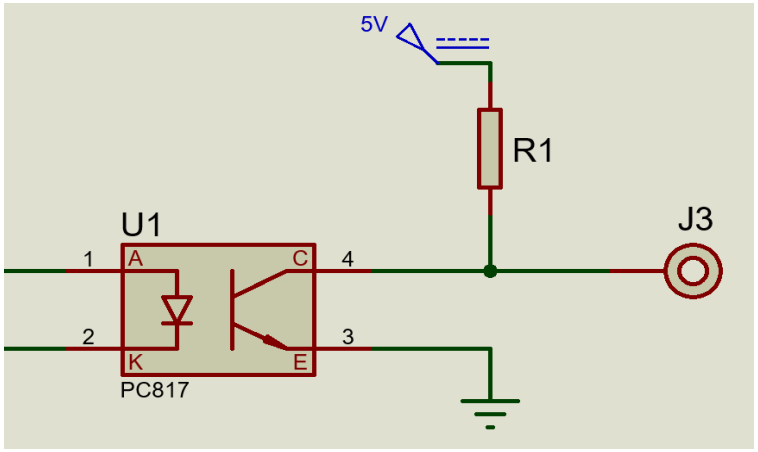
De esta forma se obtiene que R1 = 2.7 kΩ, R2 = 680 Ω y Vout = 4.8V. Con estos valores se realizan pruebas en las cuales se consigue el funcionamiento requerido para la activación del diodo LED del optoacoplador y un LED indicador, con lo cual, la parte de adaptación de señales de entrada digitales de 24V DC se da por concluida.

3.1.2. AISLACIÓN EN SEÑALES DIGITALES DE ENTRADA

El aislamiento pertinente para las señales digitales de entrada de 24V DC comienza en la etapa anterior con la adaptación de voltaje de la misma y la activación del diodo LED interno del optoacoplador.

En este punto de desarrollo del circuito eléctrico, se busca que las señales convertidas lleguen de forma correcta y estable a los pines del microcontrolador para su lectura, por lo que se lleva a cabo el proceso de alimentación del fototransistor interno del optoacoplador.

Figura 13. Alimentación del fototransistor.



Fuente: Autores

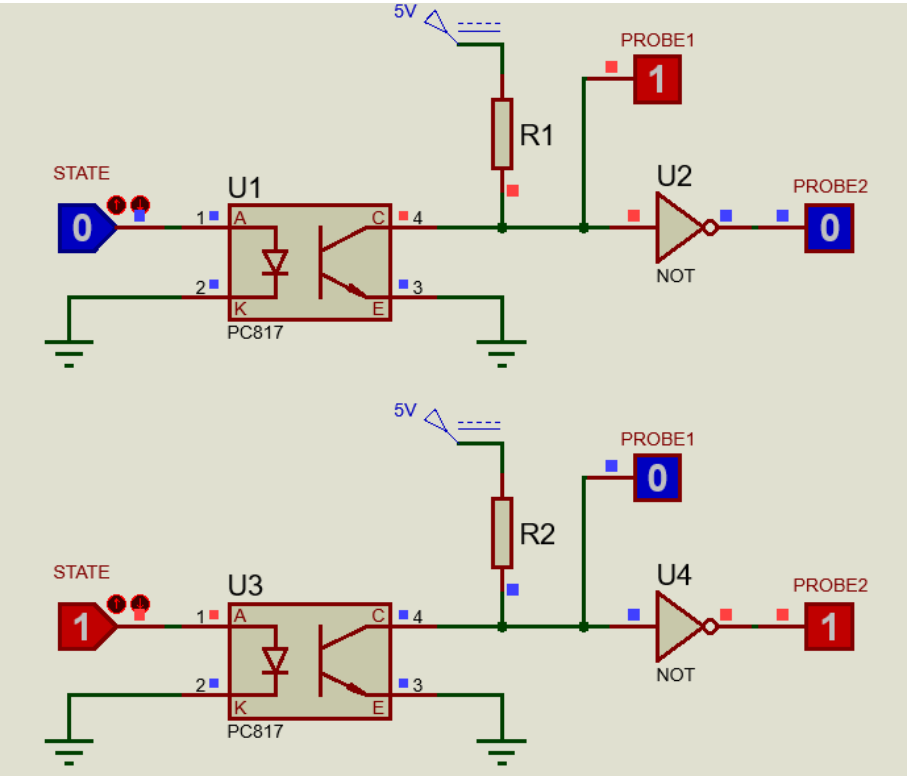
Con esta configuración se consigue que el fototransistor sea accionado en forma de interruptor dependiendo del estado del diodo LED, es decir, si este emite una señal lumínica el interruptor se cierra y la señal proveniente de los 5V a través de R1 llega a GND, generando un valor lógico “0” en el pin J3 y de forma contraria si el diodo LED no genera la señal de luz.

De esta forma se consigue un total aislamiento entre la señal de entrada inicial y la señal adaptada que es requerida para su lectura a través del microcontrolador.

3.1.3. INVERSIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE SEÑAL

En el pin J3 de la anterior *figura* se tiene una señal digital que puede tomar el valor de 0V o 5V dependiendo de la señal lumínica emitida por el diodo LED como se explicó anteriormente. Debido a esto y para la comodidad en el manejo de las señales de entrada en el software de programación se hace uso de compuertas lógicas, concretamente la NOT, para invertir la señal obtenida en J3 de la siguiente manera:

Figura 14. Inversión de señales



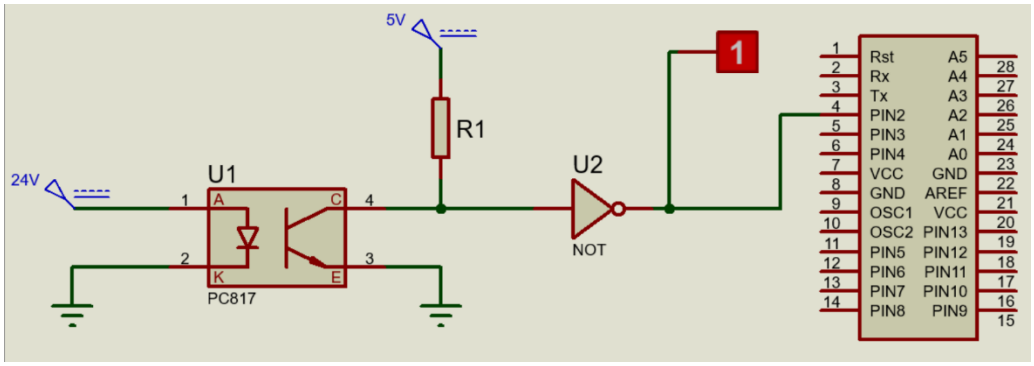
Fuente: Autores

De lo anterior se observa que la señal de salida de la compuerta lógica *PROBE2* es igual a la señal de entrada ya adaptada en *STATE*, es decir, sin el uso de la compuerta. Las señales de entrada y salida son diferentes, como se aprecia al comparar *STATE* con *PROBE1*.

Con el manejo de la compuerta lógica dentro del circuito, además de lo dicho, se adiciona un nivel de estabilización en la señal de salida con respecto a la de entrada en la misma, asegurando un estado “1” o “0” siempre que sea el caso, gracias a la tecnología TTL (Transistor - Transistor Logic) que adapta las señales de entrada siempre que sean entre 0V a 0.8V para el estado lógico “0” a 2.2V y 5V para el estado lógico “1”, lo cual es ideal para el trabajo con el microcontrolador en uso.

Gracias a los procesos realizados hasta este punto, la señal de 24V en la entrada del circuito emitida por un sensor de características industriales u otra señal con el mismo nivel de tensión, puede ser llevada directamente al microcontrolador y procesada por medio de las órdenes dadas a este a través del código de programación realizado.

Figura 15. Señal digital de entrada ATmega328p.



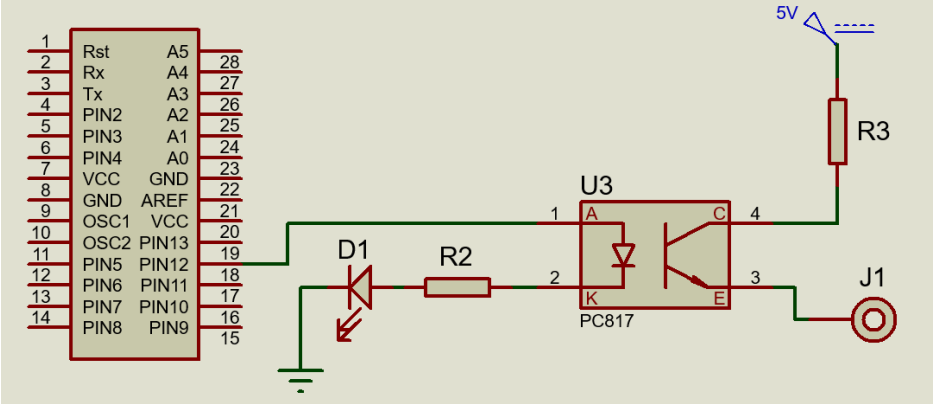
Fuente: Autores

3.1.4. SEÑALES DIGITALES DE SALIDA

Las señales digitales de salida emitidas por el microcontrolador tienen la función de activar el diodo LED y a su vez el fototransistor dentro un optoacoplador, con el fin de repetir el proceso que se detalló en los puntos anteriores para la obtención de una señal aislada, con la única diferencia de que en esta etapa la señal no debe ser acondicionada antes de llegar al diodo LED, debido a que una vez sea emitida por el microcontrolador ya tiene las características necesarias para el objetivo que debe cumplir. Además de esto también se agrega un diodo LED externo junto con una resistencia que funciona como indicador lumínico dependiendo del estado lógico de la señal.

Una vez ejecutada una señal lógica “1” desde el microcontrolador, el fototransistor recibe la señal de luz y cierra el circuito generando dicho estado lógico en el pin *J1* pero de manera totalmente aislada. Inversamente sucede cuando la emisión del microcontrolador es un “0” lógico.

Figura 16. Señal digital de salida.

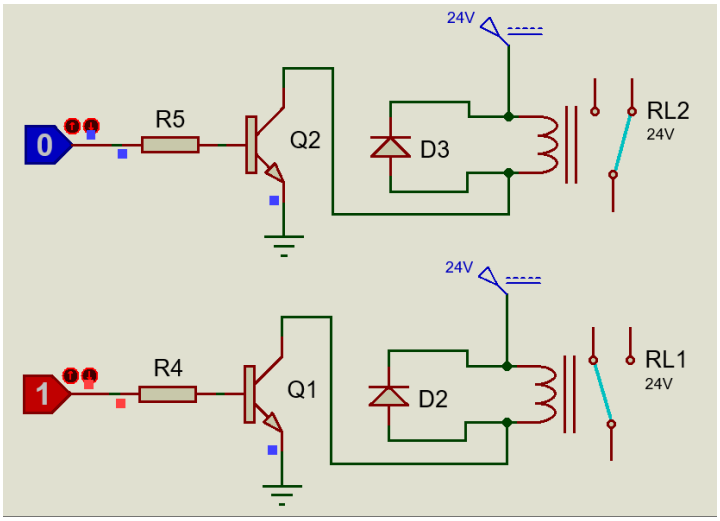


Fuente: Autores

3.1.5. ACOPLE DE CONTROL / POTENCIA Y ACTIVACIÓN DE RELE

Con respecto al manejo del valor lógico en *J1*, inicialmente se opta por usar el siguiente circuito para la activación de cargas, puntualmente un relé de 24V, de lo cual se obtiene un funcionamiento acertado con base en los requerimientos.

Figura 17. Circuito para el control de cargas.

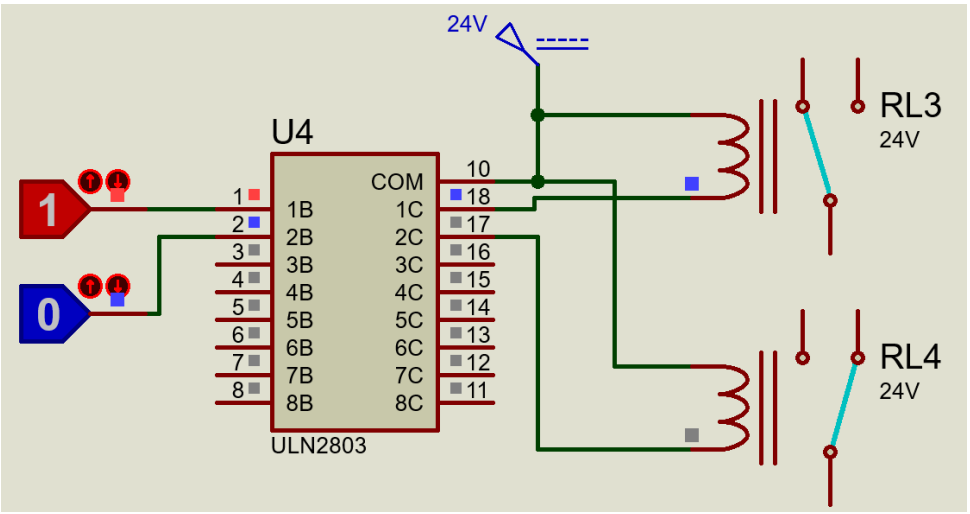


Fuente: Autores

Sin embargo, se estudia el caso nuevamente para tener una alternativa con la que se optimice el espacio a la hora del diseño del PCB y que tenga una mayor protección contra corrientes inversas generadas por la bobina del relé, por lo cual, se decide usar el circuito

integrado ULN2803 que hace el papel de interfaz de potencia, permitiendo el manejo de circuitos TTL como es el caso y CMOS en sus entradas para la activación de cargas de hasta 500 mA y 50V a partir de sus salidas. El funcionamiento básico de este CI (Circuit Integrated) consiste en que cuando en una de sus entradas el valor lógico es “1” a su respectiva salida le corresponde un “0”, debido a que internamente está integrado por una compuerta lógica NOT, entre otros componentes. Por otro lado, cuando la entrada denota un “0”, en la salida se obtiene una alta impedancia.

Figura 18. Interfaz de potencia con CI.



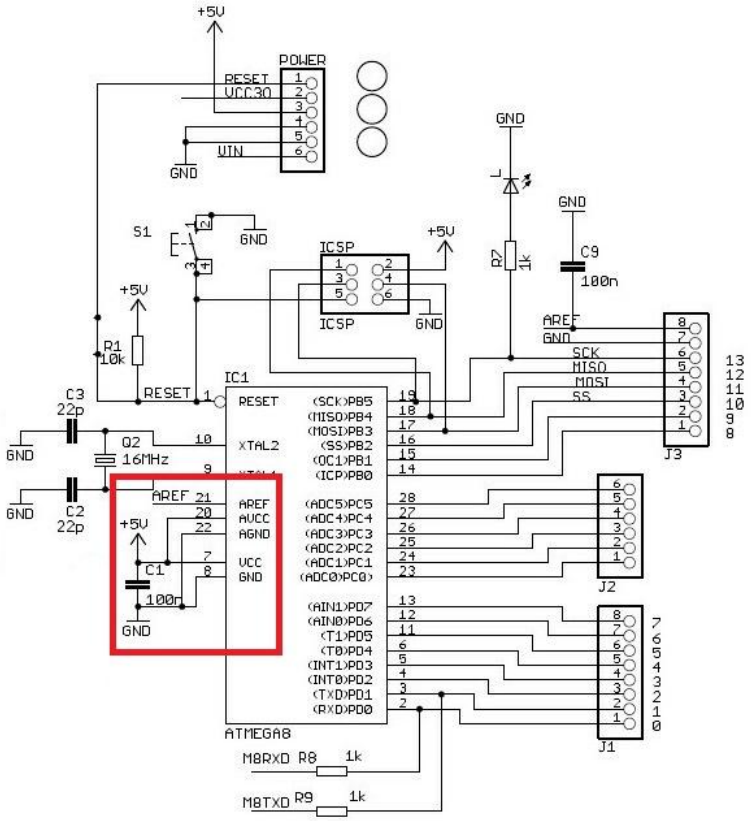
Fuente: Autores

La implementación de todo lo realizado hasta este punto permite la activación de cargas industriales de hasta 250V AC con un límite de 5A de corriente a partir de señales de entrada de 24V DC emitidas por sensores u otros componentes que tengan dicha característica. Este proceso se repite seis veces para conseguir un total de seis entradas con el mismo número de salidas con activación de relé.

3.1.6. ENTRADAS ANALOGAS Y ENTRADAS / SALIDAS DE 5V

Como parte importante de la integración dentro de las industrias, se dejan a disposición dos entradas análogas cuyo voltaje puede variar entre los 0V y 5V. Estas entradas tienen un voltaje de referencia establecido de 5V al igual que lo hacen las placas de microcontroladores Arduino, por lo cual, se toma como guía para establecer dicho parámetro dentro del circuito en desarrollo. Además, estos dos pines pueden funcionar como salidas digitales de 5V siempre y cuando se realice esta aclaración dentro del software de programación.

Figura 19. Circuito ATmega328p Arduino uno R3.



Modificado de: http://www.amhasler.com/gettingstartedarduino.html

Del mismo modo se dispone de dos pines que funcionan como entradas y salidas digitales de 5V, con la característica de poder ser utilizados como salidas PWM (Pulse Width Modulation) para modificar y controlar el ciclo de trabajo de las señales cuadradas emitidas por el microcontrolador. Estos dos pines también se pueden usar para comunicación serial usando uno de ellos como receptor y el otro como emisor de datos.

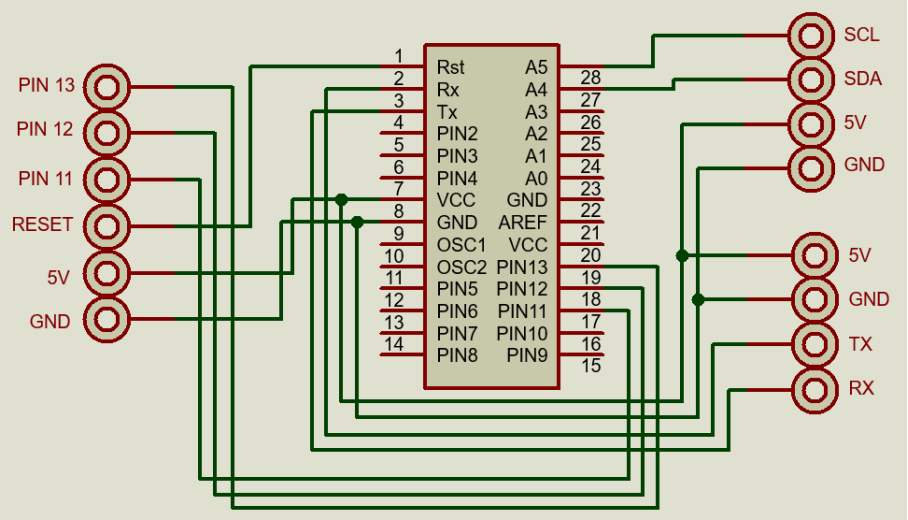
3.1.7. COMUNICACIÓN SERIAL E I2C

El desarrollo del PLC tiene como fundamento la inclusión de tecnologías digitales como el internet de las cosas, por este motivo, se dispone de un puerto que tiene como objetivo enviar y recibir datos por medio de los pines Rx y Tx situados en este, con el fin de poder conectar el PLC con módulos externos que cumplan con esta característica de comunicación.

La comunicación bajo el protocolo I2C también está incluida dentro del PLC, por medio de un puerto cuyos pines están dedicados al envío y recepción de datos por SDA y sincronizados desde el pin SCL que funciona como reloj.

Para tener acceso al microcontrolador con el fin de subir programas, se añade un tercer puerto, cuya funcionalidad es la de conectarse con un Arduino para ser programado por medio de este con la opción ISP del software de programación.

Figura 20. Puertos de comunicación.



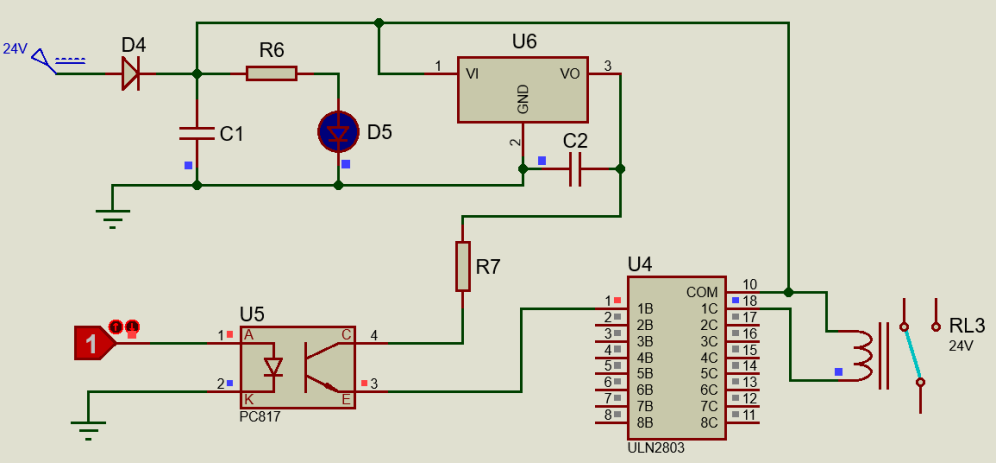
Fuente: Autores

3.1.8. ALIMENTACIÓN DE LA ETAPA DE CONTROL Y POTENCIA

Básicamente el circuito se desarrolla a partir de las etapas de control y potencia y su aislamiento debido para el correcto funcionamiento de ambas, así como para asegurar la vida útil de los componentes. Con base en esto, se diseñan los circuitos de alimentación para cada una de ellas.

Para la etapa de potencia se hace uso de una fuente de 24V DC, cuya función es la de alimentar las bobinas de los relés, el circuito integrado que cumple la función de interfaz de potencia y un regulador de voltaje a 5V con el cual se genera la energía que se necesita para alimentar el colector del fototransistor interno del optoacoplador. En esta etapa se agrega un diodo LED indicador junto con un capacitor y un diodo para cumplir con el papel de filtro y protector de corrientes inversas respectivamente.

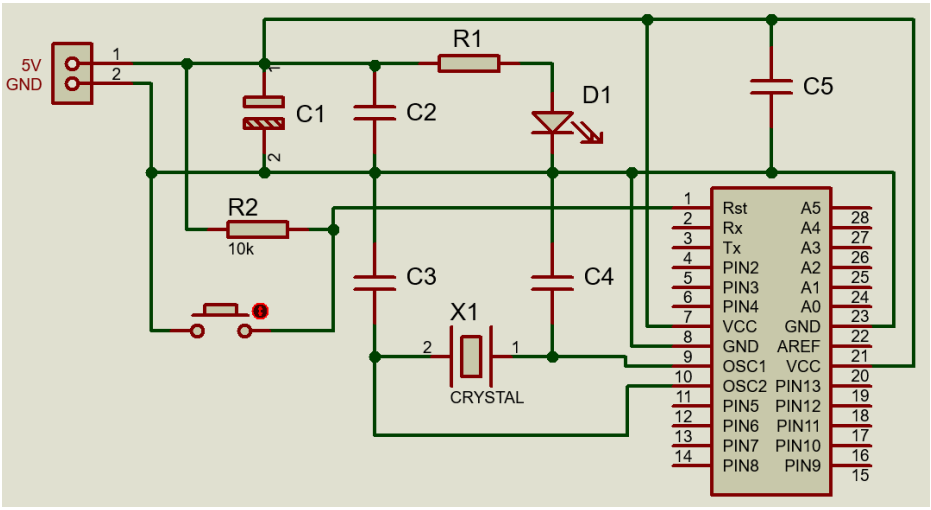
Figura 21. Alimentación para potencia.



Fuente: Autores.

Para energizar la parte de control se hace uso de una fuente externa de 5V, a esta señal se le agrega un diodo LED como indicador lumínico y capacitores que cumplen la función de filtros con el objetivo de mantener estable la señal de alimentación. Con respecto al acondicionamiento para que el microcontrolador funcione de manera óptima, se toma como referencia el circuito de la placa Arduino uno R3, y se agrega un botón que tiene como función resetear el proceso que se esté ejecutando.

Figura 22. Alimentación para control.



Fuente: Autores

Para concluir con el diseño eléctrico se hacen pruebas de cada una de las partes que componen el circuito, con el propósito de verificar que todo se ejecute de forma correcta para seguidamente integrar todo y realizar el mismo proceso. Los resultados obtenidos durante las pruebas se muestran a continuación:

Con un ✓ se marcan las pruebas realizadas con éxito, una **X** indica las pruebas fallidas y con la sigla **NR** las no realizadas.

Tabla 1. Ensayo de circuito eléctrico en montaje de prueba.

Etapa	Acción ejecutada	Resultado
Señales de entrada de 24V DC.	Señal de 24V DC desde una fuente de voltaje.	✓
Entradas análogas de 0V a 5V.	Lectura de valores de un potenciómetro.	✓
Salidas digitales desde pin análogo.	Encendido de un LED.	✓
Entradas / salidas digitales de 5V.	Toma de dato lógico 1 o 0 con el accionamiento de un switch y encendido y apagado de un diodo LED.	✓
Puerto de comunicación serial.	NR	NR
Puerto de comunicación I2C.	NR	NR
Puerto de comunicación serial para programación del microcontrolador.	Programa subido por medio de Arduino uno.	✓
Salidas digitales a relés.	Programa de activación de salidas.	✓

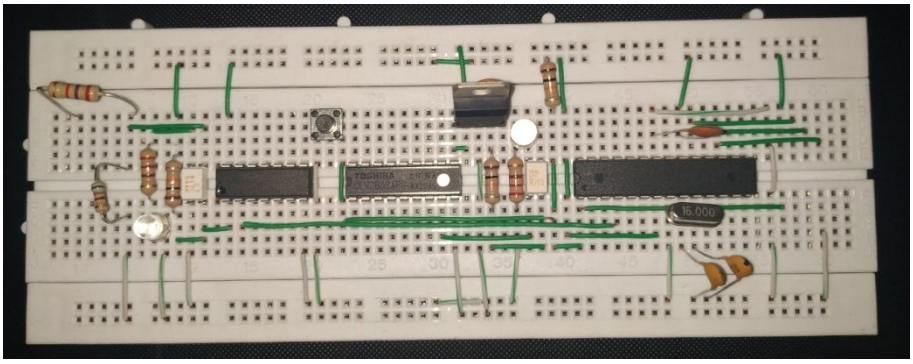
Fuente: Autores

La tabla anterior presenta los procesos realizados en el 75% de las utilidades del PLC, con el fin de verificar el funcionamiento óptimo de cada una de las etapas que componen el circuito eléctrico del mismo, obteniendo un resultado favorable en cada una de ellas.

Las pruebas pertinentes para los puertos de comunicación serial que abarcan el otro 25%, no se realizan debido al resultado positivo del puerto de comunicación destinado a la programación del ATmega328p, con lo cual se da por valido el funcionamiento de los demás puertos de esta índole.

Las acciones ejecutadas presentadas en la tabla anterior se llevan a cabo a partir del montaje de los componentes en una placa de prueba, verificando el proceso que debe cumplir cada uno de estos. En la siguiente figura se presenta el montaje realizado.

Figura 23. Circuito eléctrico en placa de prueba.



Fuente: Autores

En la figura anterior se muestra el circuito montado en una protoboard con el objetivo nombrado anteriormente. Se evalúa cada parte del mismo a modo de prueba, es decir, se realiza un montaje que valide el funcionamiento de las etapas pero sin hacer inclusión del 100% de las entradas y salidas de este, ya que el funcionamiento es el mismo para todas.

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento y con los resultados obtenidos esperados, se concluye con la primer etapa del desarrollo del proyecto, enfatizando en el primer objetivo específico cuyo fin es el de diseñar un circuito eléctrico que cumpla con los requerimientos para el acople entre señales de control y potencia a partir de las características del microcontrolador en uso.

3.2. DISEÑO DEL PCB

El diseño y elaboración del PCB consiste en llevar el circuito ya elaborado a una placa de integración de componentes eléctricos, electrónicos y electromecánicos para la implementación en procesos industriales. La ejecución de esta parte del proyecto se hace bajo la aplicación *PCB Layout* del software *PCB Desing and Circuit Simulator Software – Proteus,* el mismo que se usa para la simulación del circuito eléctrico, ya que gracias a esto, se disminuye el trabajo con el uso de herramientas contenidas por la aplicación.

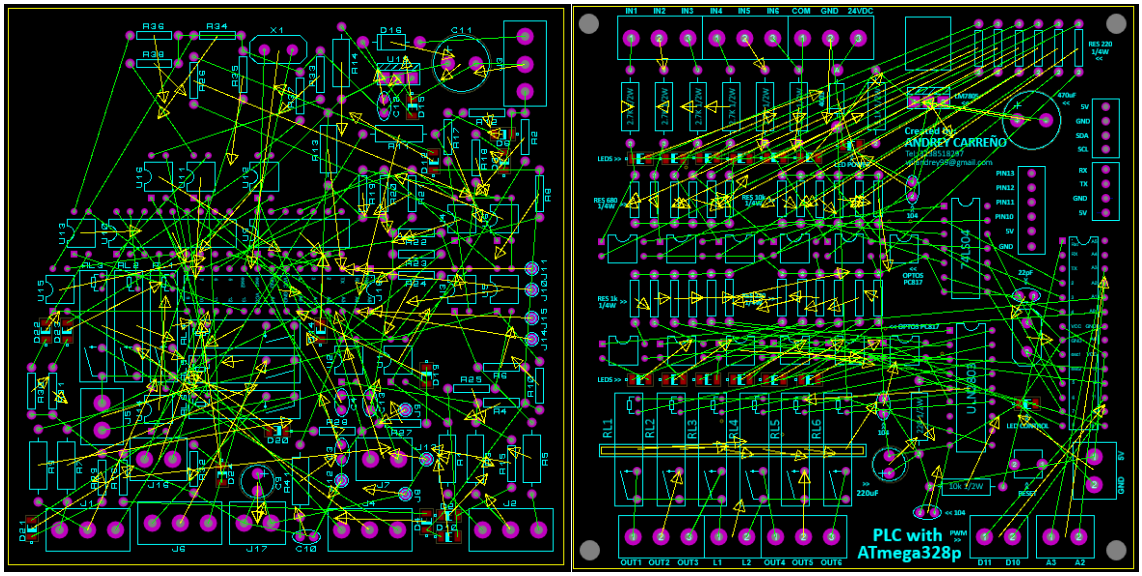
La creación del PCB, al igual que la del circuito eléctrico, está dividida por partes, siguiendo una serie de pasos para llegar al objetivo final. Dentro del PCB se encuentran componentes de montaje superficial para la optimización de espacio junto con componentes de montaje discreto. A continuación se muestra cada una de las etapas que conforman este proceso:

3.2.1. TRASLADO DE ESQUEMATICO AL PCB Y UBICACIÓN DE COMPONENTES.

El software *Proteus* cuenta con una serie de aplicaciones, de las cuales, para esta etapa del desarrollo se usan dos de ellas, la captura esquemática y el diseño PCB. El traslado del circuito que se tiene en la captura esquemática hasta el diseño del PCB se hace de forma automática por medio de la opción *Auto-placer* de la segunda aplicación luego de que se ha creado un borde de trabajo, cuyo objetivo es delimitar la zona en la cual están ubicados los componentes.

La acción ejecutada permite llevar todos los componentes usados en el esquematico a la zona de trabajo del PCB, sin embargo, antes de continuar con los siguientes procesos, se hace la ubicación de forma manual de cada uno de los componentes, teniendo en cuenta el límite de la placa y la distribución, con el fin de que la experiencia de uso sea agradable y facil de comprender.

Figura 24. Borde límite y uso de Auto-placer - Componentes ubicados manualmente.



Fuente: Autores

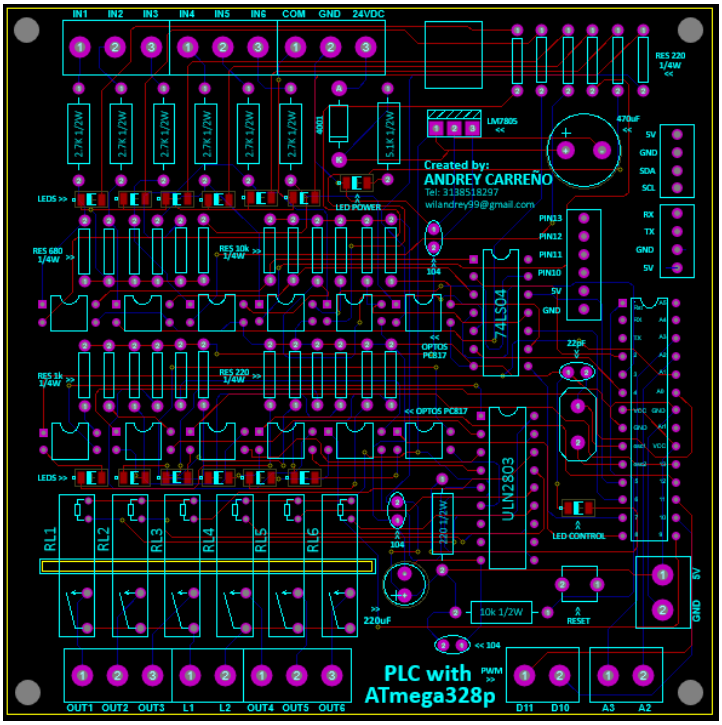
Dentro de este paso también se agregan datos escritos en la placa con el fin de orientar el manejo del mismo con el uso de una capa auxiliar.

3.2.2. RUTEO DE PISTAS

Para el ruteo o conexión de pistas sobre la placa PCB se hace uso de la herramienta *Auto - router* de la aplicación PCB Layout, debido a que con esta, se ejecuta el ruteo de forma

automática. Para el circuito en desarrollo se elige un máximo de dos capas de cobre en la que se lleva a cabo el ruteo.

Figura 25. Ruteo de pistas.



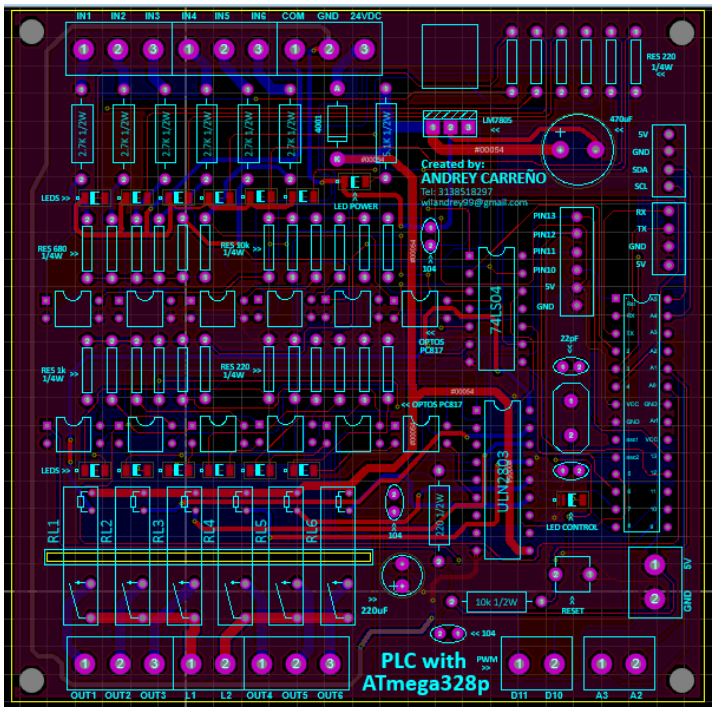
Fuente: Autores

3.2.3. GROSOR DE PISTAS Y CAPAS DE COBRE

Como último paso para el diseño del PCB se realiza el procedimiento manual para aumentar el grosor de algunas de las pistas del circuito, con el fin de evitar daños relacionados con el exceso de temperatura a causa del paso de corriente por pistas con un grosor inadecuado. Las pistas editadas son las de las entradas y salidas a relés digitales y las de alimentación de la etapa de potencia. El grosor de estas se define a partir de la relación entre corriente, milímetros de grosor y material conductor utilizado. Las demás pistas se dejan por defecto con las propiedades de la aplicación en uso.

Una vez realizado lo anterior, se rellenan las dos capas de cobre dispuestas para el PCB en función del plano de alimentación - GND y que de igual forma blindan al circuito de posibles ruidos como se muestra a continuación:

Figura 26. PCB terminado.



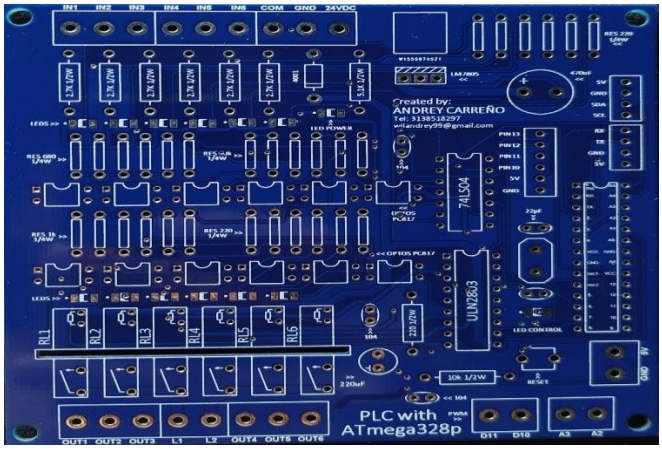
Fuente: Autores

Con el proceso de desarrollo de la placa terminado en el software de creación de PCB, se avanza al siguiente paso, el cual se refiere a la construcción de la tarjeta electrónica a partir de la impresión de la misma y se concluye con la etapa de diseño eléctrico y de PCB.

3.2.4. CONSTRUCCION DE PLACA

Con el PCB terminado en el software, el siguiente paso es la impresión de la placa, lo cual se hace a partir de un tercero por medio de máquinas especializadas, beneficiando al proyecto en cuestión de calidad y estética.

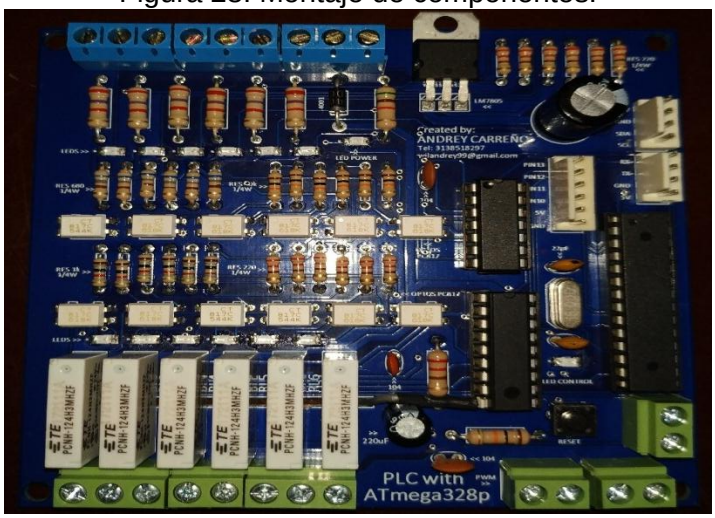
Figura 27. Tarjeta impresa.



Fuente: Autores

Ya con la tarjeta impresa se hace una revisión con el propósito de verificar que todo se encuentre en orden. En primera instancia se hace uso de un multímetro para medir continuidad entre las pistas, proceso en el cual se determina que hay un error asociado a los pines de GND, ya que por cuestión de aislamiento, algunos de estos terminales no deben ir como punto común. Este error se genera a partir de un conflicto en el proceso de creación del archivo gerber. Por otro lado, en el momento de realizar el montaje de los componentes sobre la placa, se encuentra que algunos de estos, concretamente los relés de estado sólido, no tienen las medidas correctas entre los pines de los contactos. Sin embargo, por medio de dos adaptaciones en la tarjeta se solucionan los dos inconvenientes presentados, sin afectar el correcto funcionamiento del PLC, obteniendo como resultado la siguiente tarjeta electrónica:

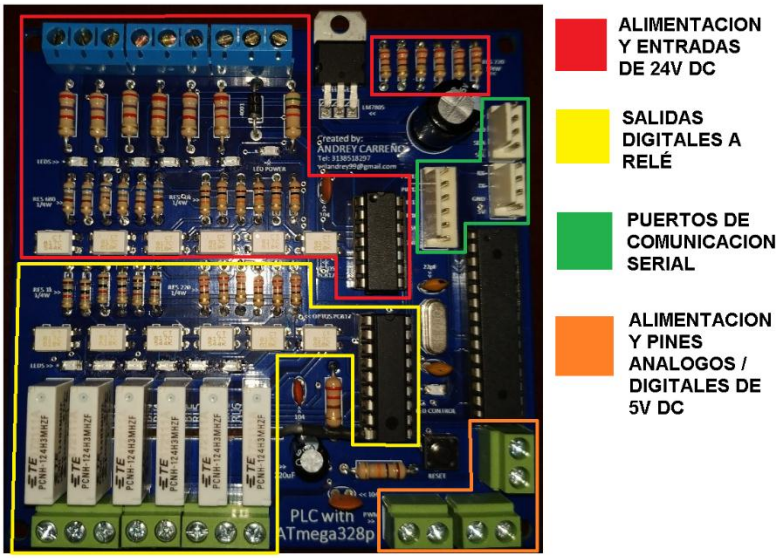
Figura 28. Montaje de componentes.



Fuente: Autores

De la integración de los componentes con el PCB impreso se deriva la tarjeta electrónica presentada en la figura anterior. Con base en las prestaciones que otorga el PLC y partiendo de la tarjeta que se tiene hasta el momento, se expone la siguiente figura, la cual tiene como objetivo ilustrar cada una de las funcionalidades presentadas a partir de la vista de los componentes en la tarjeta.

Figura 29. Sectorización de tarjeta electrónica.

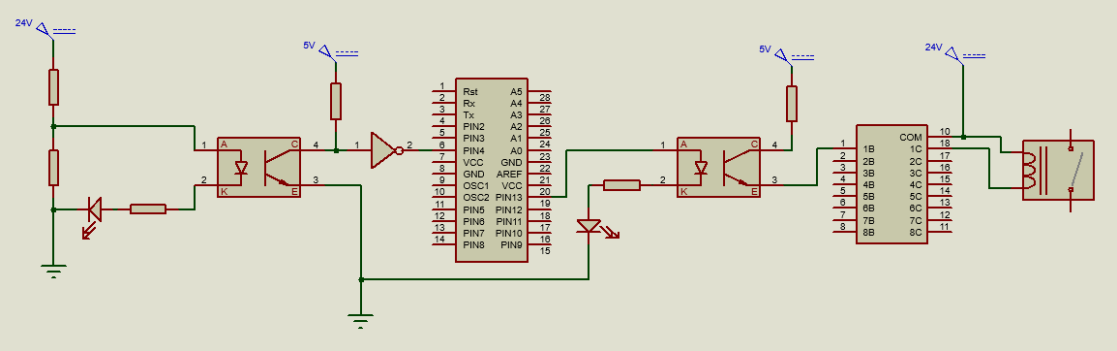


Fuente: Autores

La figura anterior presenta la división por sectores de la tarjeta electrónica del PLC, con el fin de ilustrar de manera real cada uno de los componentes por los cuales están conformados los subsistemas del mismo. Los componentes electrónicos que no tienen un color específico, hacen parte de la integración para la alimentación de la placa (filtros, resistencias, reguladores). Esta información se presenta de manera más detallada en la figura expuesta en los anexos de este documento.

Con respecto a la aislación e integración de las etapas de control y potencia en relación a las entradas y salidas del PLC, se expone la siguiente figura, la cual presenta la sucesión que cumplen las señalas mencionadas a través de los componentes de la placa.

Figura 30. Relación de entradas y salidas.



Fuente: Autores

El acondicionamiento de las señales que se muestra en la figura anterior se repite en las seis entradas y seis salidas que componen al PLC, de esta forma se certifica el funcionamiento óptimo de las mismas. Los demás subsistemas que componen al PLC están detallados en el diseño del circuito eléctrico.

Con los procesos de diseño y desarrollo ejecutados hasta este punto, se obtiene una placa electrónica capaz de controlar procesos industriales de automatización y con la opción de extender su alcance a partir de la adaptación de módulos para comunicación y monitoreo digital. Con lo realizado se cumple con el segundo objetivo específico, el cual hace referencia el montaje de una tarjeta electrónica con dichas capacidades y se da apertura a la última etapa de desarrollo y obtención de resultados.

3.3. PRUEBAS Y COMPARACIÓN ENTRE PLCs

Con el fin de ver el alcance del PLC desarrollado y el funcionamiento acertado del mismo, se ejecutan pruebas de todas las prestaciones que este ofrece. Además, se hace una comparación de las características que presenta junto con las ofrecidas por PLCs comerciales desarrollados por empresas de este sector.

3.3.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Una vez realizado el montaje de los componentes sobre la placa, se verifica el correcto funcionamiento del PLC, con base en pruebas en las cuales se pone en marcha cada una de sus etapas de control a partir de entradas y salidas y los puertos determinados para la comunicación con módulos externos. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 2. Pruebas realizadas al PLC.

Etapa	Acción ejecutada	Resultado
Señales de entrada de 24V DC	Señal de 24V DC desde una fuente de voltaje.	✓
Entradas análogas de 0V a 5V	Lectura de potenciómetros para la activación de una salida digital a relé y variación de intensidad lumínica de un LED a partir de PWM.	✓
Salidas digitales desde pines análogos	Activación de diodos LED.	✓
Entradas / salidas digitales de 5V y PWM	Lectura de sensor de temperatura y humedad y variación de intensidad lumínica de un diodo LED.	✓
Puerto de comunicación serial.	Envío de datos desde un Smartphone a través de modulo bluetooth para la recepción desde el PLC y activación de una salida digital a relé.	✓
Puerto de comunicación I2C.	Envío de datos a una pantalla LCD para monitorear los valores obtenidos por el sensor de temperatura y humedad, el estado de un potenciómetro y el nivel de luminosidad del LED con base en PWM.	✓
Puerto de comunicación serial para programación del microcontrolador.	Programa subido por medio de Arduino uno.	✓
Salidas digitales a relés.	Activación por medio de lecturas recibidas en las entradas de 24V, recepción de datos por bluetooth y estado de un potenciómetro.	✓

Fuente: Autores

El funcionamiento de los pines y puertos del PLC se evalúan a partir de las acciones realizadas plasmadas en la tabla anterior, en las cuales se presentan todas las funcionalidades con las que cuenta el dispositivo en desarrollo, obteniendo resultados positivos en cada una de estas. El objetivo de estas pruebas parte desde la funcionalidad de los procesos hasta la simulación de los mismos pensados de manera industrial y con la opción de adaptar módulos sofisticados para el manejo de tecnologías digitales.

La validación del funcionamiento de las etapas de trabajo del PLC permite avanzar de manera correcta al siguiente objetivo, cuyo fin es el de comparar las características principales de uso con las que cuenta el dispositivo en relación a PLCs genuinos dentro del mercado industrial.

3.3.2. COMPARACIÓN DE PLCs

A continuación se presenta un cuadro comparativo entre el dispositivo desarrollado y PLCs comerciales destinados a industrias de baja, media y alta gama:

Tabla 3. Comparación entre PLCs

Modelo	Lenguaje / software de programación	Alimentación eléctrica	Entradas y salidas	Módulos inteligentes de comunicación	Gama
PLC con ATmega328p	**C++ / Arduino IDE**	**VDC: 24V / 5V**	- **6 Entradas digitales / 6 salidas digitales a relé** - **2 Salidas PWM** - **2 Entradas analógicas de 0V a 5V**	**WiFi, Bluetooth, GSM, GPS, RTC, UART, SPI, I2C**	**Baja - media**
SIMATIC S7 – 1200	Simatic WinCC / Simatic STEP7	VDC: 24V VAC: 120V a 230V	- 8 Entradas digitales / 6 Salidas digitales a relé - 2 Entradas analógicas unipolares de 0V a 10V - Salida PWM	Modbus RTU, RS485, RS232, PROFIBUS, PROFINET, GPRS	Baja - media
SCHNEIDER ZELIO LOGIC	Diagrma de bloques // Ladder	VCD: 12V o 24V VCA: 100V a 240V	- 4 entradas digitales / 4 salidas digitales a relé - 4 entradas analógicas de 0V a 10V.	Modbus, Ethernet, bluetooth	Baja
SIEMENS LOGO	WinCC // Simatic STEP7	VCD: 12V o 24V VCA: 115V a 240V	- 8 Entradas digitales / 4 Salidas digitales a transistor - 2 Entradas analógicas de 0V a 10V	Modbus, Ethernet, RS232	Baja – media
FUJI MICREX-SX	Logica de escalera, texto estrcuturado, IL / D300wih	VDC: 24V VAC: 100V a 240V	- 8 Entradas digitales / 6 Salidas digitales a transistor - PT1000 - Conteo rápido - 2 Entradas Analógicas de 0V a 10V	Ethernet, RS232, RS485	Media
MITSUBISHI L02SCPU	Ladder, AWL, Bloques / iQ Works	VDC: 24V	- 8 entradas digitales / 6 salidas digitales a transistor - PT1000 - 4 entradas analógicas de 0V a 10V - Conteo rápido	Ethernet, PROFIBUS, RS232, RS485, posición	Media
SIMATIC S7 – 200	KOP, FUP, AWL / STEP7 Micro-WIN	VDC: 24V VAC: 265V	- PT1000 - Conteo rápido - 8 Entradas digitales DC y 8 digitales AC / 8 Salidas digitales a relé	Posición, Ethernet, PROFIBUS-DP, modem	Alta

			- 8 entradas analógicas RTD		
GENERAL ELECTRIC RX3I	Lógica de escalera, lenguaje C, diagrama de bloques / Proficy Machine Edition	VDC: 18V / 30V	- 16 Entradas digitales / 12 salidas digitales a transistor - PT1000 - Conteo rápido - 8 entradas analógicas de 0V a 10V	Ethernet, CPU, expansión, PROFIBUS	Alta

Fuente: Autores

A nivel de prestaciones, el PLC en desarrollo se ubica dentro del rango óptimo para la adaptación en procesos industriales de media y baja escala, teniendo como ventaja principal la posible inclusión de módulos externos que permitan un mayor alcance. Además, presenta una reducción de costos significativa en comparación a los demás PLCs de su nivel.

Tabla 4. Comparación de precios.

Dispositivo	Precio
PLC CON ATMEGA328P	$450.000
SCHNEIDER ZELIO LOGIC	$400.000
SIEMENS LOGO	$500.000
SIMATIC S7-200	$1’370.000
SIMATIC S7-1200	$1’800.000
MITSUBISHI L02SCPU	$2’340.000

Fuente: Autores

Los datos que se muestran en la tabla anterior permiten dimensionar los costos económicos de los PLCs genuinos de gama baja - media en comparación al PLC con Atmega328p, ubicando a este último en un rango de precio asequible para un alto número de industrias y sin tener limitaciones funcionales. La variación del precio se deduce por el uso de componentes relacionados a los protocolos de comunicación nombrados anteriormente, ya que los demás componentes eléctricos, electrónicos y electromecánicos son similares en todos los casos y no justifican las diferencias entre precios. Otro factor que afecta el tema económico es el de sobrecargos a causa de impuestos gubernamentales de importación y demás circunstancias de este tipo.

Con las comparaciones realizadas tanto en costo como en prestaciones, se obtienen resultados satisfactorios en favor del dispositivo en desarrollo, corroborando que es un controlador lógico de bajo precio y con las características de funcionamiento necesarias para automatizar cualquier proceso industrial dentro de baja y media escala.

4. RESULTADOS

A continuación se presentan uno a uno los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas al PLC con ATmega328p.

4.1. ENTRADAS DIGITALES 24V DC

Las pruebas realizadas para la verificación del correcto funcionamiento de esta etapa del PLC se llevan a cabo con base en la simulación de sensores de 24V DC, a partir de señales con el mismo rango de tensión obtenidos desde una fuente de voltaje. Los datos obtenidos hacen referencia al nivel del voltaje regulado que se obtiene del divisor de tensión.

Tabla 5. Voltaje en divisor de tensión.

Entrada	Voltaje de entrada	Voltaje divisor de tensión
IN1	24V	4.82V
IN2	24V	4.80V
IN3	24V	4.80V
IN4	24V	4.83V
IN5	24V	4.82V
IN6	24V	4.80V

Fuente: Autores

Los niveles de voltaje obtenidos para cada una de las entradas cumplen con el objetivo de poner en funcionamiento los octoacopladores y activar el indicador lumínico, con una variación de 0.03V como máxima desviación entre cada valor y/o voltaje divisor de tensión, con 0.2V máximo del valor ideal. La siguiente figura muestra la prueba realizada para la activación de las entradas digitales.

Figura 31. Prueba entrada digital.

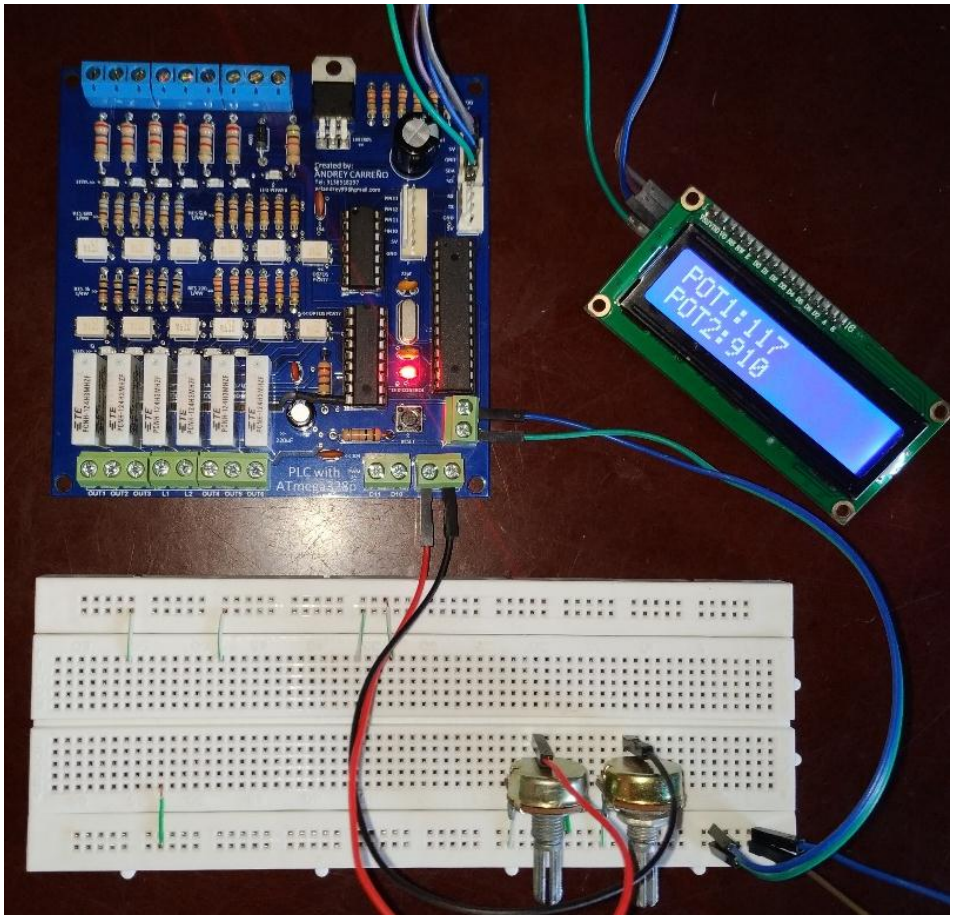
Fuente: Autores

El proceso de adaptación de señales digitales de entrada se valida con la activación de las mismas a partir de los 24V DC generados por la fuente de tensión (simulando un sensor industrial), tal y como se muestra en la figura anterior. De esta manera se demuestra que el divisor de tensión diseñado cumple con su función y permite trabajar con valores lógicos óptimos requeridos por el microcontrolador.

4.2. ENTRADAS ANALOGAS DE 0V A 5V

El uso de las entradas análogas se ejecuta con base en el convertidor análogo - digital del microcontrolador, el cual recibe niveles de tensión entre 0V y 5V y los convierte en valores desde 0 a 1023, es decir, una resolución de 10 bits. Para la verificación de estas entradas en el PLC, se hace uso de dos potenciómetros y se monitorean desde una pantalla LCD como se muestra a continuación:

Figura 32. Lectura de potenciómetros.



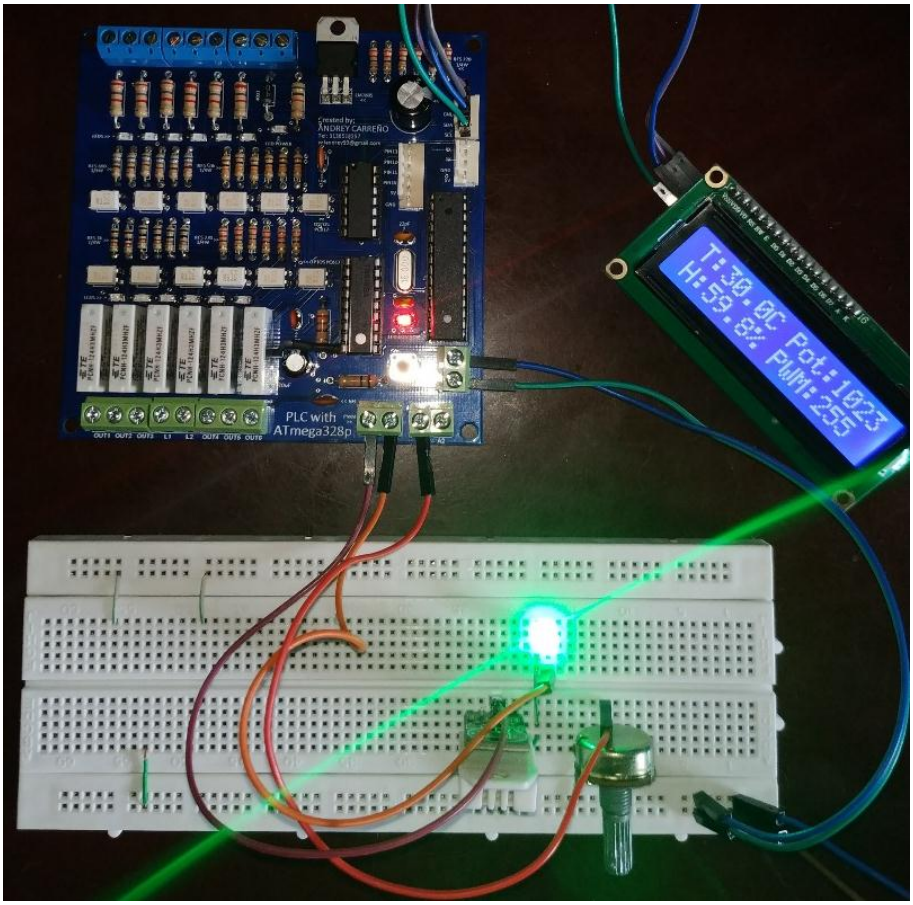
Fuente: Autores

La lectura de los potenciómetros como prueba de funcionamiento de los pines análogos del microcontrolador, así como de su conversor análogo - digital, permite certificar el uso del mismo dentro de procesos industriales siempre que cumpla con el estándar de tensión de entre 0V y 5V DC.

4.3. ENTRADAS / SALIDAS DIGITALES 5V Y PWM

El PLC cuenta con dos pines destinados a entradas o salidas digitales de 5V DC, las cuales a su vez, permiten el uso de salidas PWM para la modulación de la señal cuadrada. Para validar el funcionamiento de estas, se hace uso del pin D11 para la lectura de un sensor digital y el pin D10 para modular la intensidad lumínica de un LED a partir de PWM.

Figura 33. Pines digitales 5V y PWM.



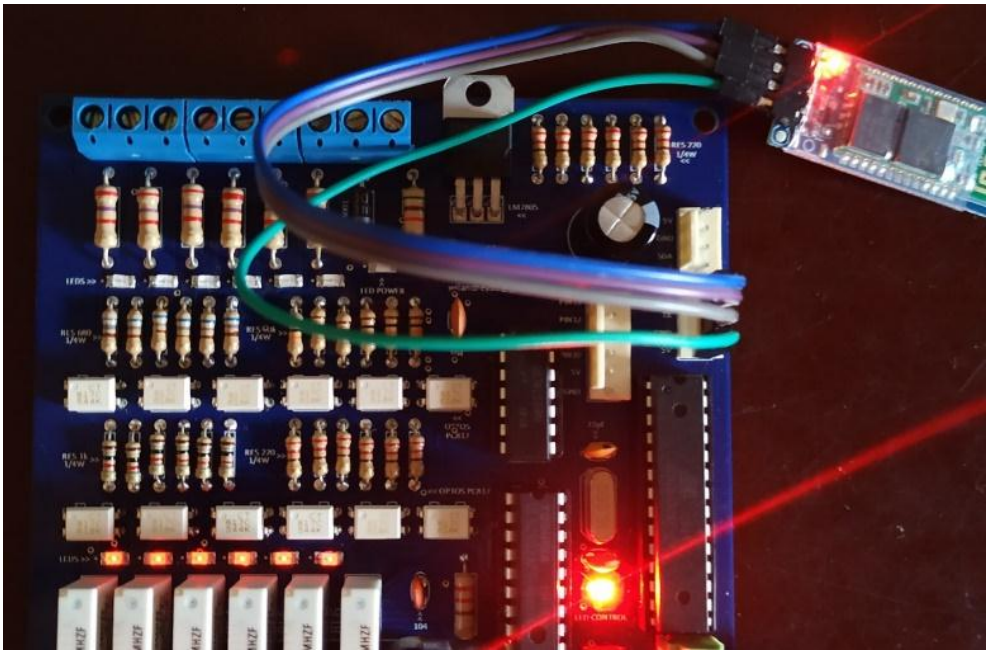
Fuente: Autores.

Las salidas para la modulación por ancho de pulsos de las señales cuadradas generadas por el microcontrolador son verificadas a través del montaje que se muestra en la imagen anterior. De esta manera se concluye con las pruebas de los pines digitales del PLC, obteniendo resultados positivos en el 100% de las mismas.

4.4. PUERTOS DE COMUNICACIÓN SERIAL

Con el fin de generar un mayor alcance al PLC a partir de la adaptación de módulos externos, se dispone de un puerto de comunicación serial a partir de los pines Rx y Tx del microcontrolador. En este caso, para la prueba pertinente, se hace uso de un módulo bluetooth, el cual tiene como función recepcionar datos enviados por parte de un Smartphone para ser procesados por el microcontrolador.

Figura 34. Activación de salidas a relé desde app móvil.



Fuente: Autores

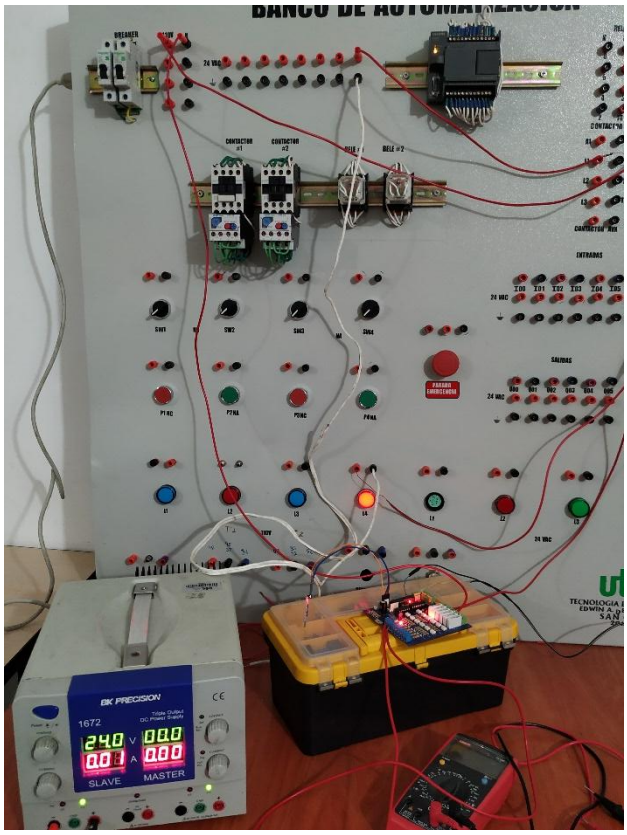
Por parte del puerto de comunicación con protocolo I2C, se hace uso de una pantalla LCD, con el fin de mostrar datos determinados tales como el valor de lectura de potenciómetros, el nivel del pulso PWM y los datos obtenidos por un sensor de temperatura y humedad, tal y como lo muestran las figuras anteriores. De esta manera se valida el funcionamiento del puerto de comunicación.

Por último, el puerto designado para programar el ATmega328p funciona de manera óptima, a partir de la comunicación en serie de los pines digitales 13, 12, 11 y 10 de un Arduino uno con el PLC.

4.5. SALIDAS DIGITALES A RELÉS

Las pruebas pertinentes para las salidas digitales a relés como parte de la adaptación de las señales de control para el manejo de cargas industriales, se hacen a partir de la activación de los relés, los cuales son encargados de activar la bobina de los contactores y así permitir el manejo de cargas de alto consumo. En la figura mostrada a continuación se hace uso de un LED de 24V con el fin de simular una de dichas cargas, obteniendo resultados positivos en cada una de las salidas.

Figura 35. Activación de contactores.



Fuente: Autores

El proceso realizado en la figura anterior involucra el manejo de posibles cargas a través de la activación de una salida digital a relé, por medio del envío de datos desde un Smartphone, haciendo uso de un módulo externo de bluetooth como parte de las pruebas para la inclusión de este tipo de dispositivos que permitan extender el alcance del PLC.

4.6. ANALISIS DE RESULTADOS

Los datos obtenidos a partir de las pruebas realizadas permiten hacer un análisis sobre los procesos ejecutados, con el fin de cumplir con la justificación realizada ante la problemática presentada. Con base en ello, se analizan las etapas que conforman el proyecto, con el propósito de validar lo realizado con respecto al enfoque definido y a los objetivos por cumplir.

4.6.1. CIRCUITO ELECTRICO Y PCB

El diseño del circuito eléctrico del PLC apoyado en un ATmega328p cumple con los objetivos requeridos planteados, partiendo de la realización del sistema de acople entre las etapas tanto de control como de potencia, la alimentación y aislación requerida para las mismas y la inclusión de puertos de comunicación serial, cuyo objetivo es el de permitir la conexión con módulos externos para la adaptación de tecnologías digitales de comunicación e información provenientes de la industria 4.0. Asimismo, el diseño de la tarjeta electrónica para el montaje de los componentes que conforman al circuito eléctrico y la adaptación al manejo de cargas industriales con el control de elementos electrónicos, permite cumplir con el enfoque cualitativo de la investigación, el cual hace referencia a la comprensión de los puntos físicos dentro de un proceso de control industrial, tales como los materiales e integrados eléctricos y electromecánicos que mejor se comporten ante el sistema desarrollado.

4.6.2. FUNCIONAMIENTO Y COMPARACIONES

Como parte de los objetivos a cumplir y última fase de desarrollo, las pruebas de funcionamiento y comparación de características técnicas entre PLCs genuinos y el dispositivo desarrollado, permiten verificar y validar el comportamiento del mismo, así como cumplir con el enfoque cuantitativo del proyecto, el cual se refiere al análisis de datos de producción y reducción de costos (mano de obra, fallas de maquinaria, pérdidas de tiempo) provenientes de la implementación de controladores lógicos programables.

El cumplimiento de los objetivos a realizar planteados en el proyecto de investigación, se cumplen de manera satisfactoria gracias a los procesos ejecutados durante el mismo, haciendo valido el enfoque de investigación mixto comprendido.

5. CONCLUSIONES

- El circuito eléctrico diseñado cumple de manera correcta con los requerimientos exigidos, ya que gracias a los componentes usados, se acierta con los principios de adaptación de etapas para el control de cargas eléctricas de alto consumo dentro de procesos industriales de automatización.

- Dentro del desarrollo del diseño eléctrico se presentaron errores a causa de la inestabilidad generada por componentes reguladores de voltaje, lo cual implicó optar por la sustitución del método en uso, generando una solución efectiva al problema presentado, obteniendo valores estables y que cumplen con los requerimientos técnicos de los componentes en uso.

- El uso de las herramientas como el medidor de longitud, auto ruteo, visualizador 3D, entre otras, incluidas por el software de simulación y diseño de PCB con el que se trabajó, facilitó el proceso de creación de la placa, teniendo un control total sobre las acciones ejecutadas dentro del mismo.

- La generación del archivo gerber para la impresión del circuito en PCB generó un error en una de las pistas de GND, por lo cual, se debió hacer una adaptación a partir de la inclusión de un cable para solucionarlo. Durante las pruebas realizadas se certificó que el funcionamiento del PLC no se vio afectado, obteniendo resultados validos en el 100% de estos procesos.

- Durante la construcción de la placa de control se presentó un inconveniente debido a la distancia entre pines de los relés de estado sólido en comparación a la distancia en el PCB, debido a esto, se hizo una adaptación en la placa, obteniendo resultados positivos al momento de realizar pruebas de funcionamiento.

- El software de programación Arduino con el cual se programa el PLC, permite facilidad a la hora de ejecutar nuevos programas debido a su lenguaje de programación basado en C++, generando una solución ante la poca practicidad dentro del campo de programación presentada por PLCs genuinos.

- Los parámetros de comunicación establecidos (UART, SPI, I2C) para el PLC a partir de las prestaciones establecidas por el microcontrolador ATmega328p permiten una correcta adaptación de módulos con la capacidad de expandir las utilidades de este, principalmente dentro del uso de tecnologías digitales como el internet de las cosas dentro la denominada industria 4.0.

- El PLC junto a la lógica de programación trabajan de manera correcta, obteniendo resultados positivos al momento de incluir módulos de comunicación externos, activar cargas de alto consumo, cargas booleanas, PWM, lecturas análogas y lecturas digitales de 24V y 5V DC; a causa de esto, el dispositivo desarrollado se adapta de manera correcta a procesos industriales de media y baja escala, abriendo las puertas al desarrollo de nuevas tecnologías dentro de los procesos de automatización.

- A partir de las pruebas realizadas sobre cada uno de los módulos de entradas, salidas y sistemas de comunicación del PLC desarrollado, se obtuvieron resultados satisfactorios, en los cuales se hace constancia del cumplimiento del objetivo principal y los objetivos específicos planteados en el desarrollo de la propuesta del proyecto investigativo en cuestión.

6. RECOMENDACIONES

1) Estudiar el funcionamiento de sensores industriales con más de un terminal de envío de datos para con base en ello hacer mejoras del PLC en futuras versiones con respecto a la forma de lectura requerida por estos.

2) Realizar de manera detallada a partir de fórmulas matemáticas la inclusión de pistas para el PCB con ánimo de brindar una mayor fiabilidad a largo plazo.

3) Tomar como referencia PLCs de gama alta para la mejora del proyecto, teniendo como punto de partida las necesidades requeridas por las industrias, principalmente en los sectores de producción que genera la región.

4) Teniendo en cuenta los avances tecnológicos generados conforme avanza el tiempo dentro de la electrónica de control, investigar el funcionamiento de microcontroladores que permitan mejorar de manera significativa el desarrollo de un nuevo PLC.

5) Adaptar las señales digitales de entrada para tener un mayor rango de valores de voltaje con respecto al funcionamiento de los sensores industriales.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AP&C (2009), *"Automatización, productividad y Calidad",* México.

ARANGO, Claudia (1992). *"Fundamentos sobre dispositivos lógicos programables PLC".* Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín Colombia

BETANCUR, Patricia (1998). *"Rediseño y montaje de los tableros de control industrial para el laboratorio de ingeniería eléctrica y electrónica".* Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín Colombia.

BOLTON, W. (2004) *"Instrumentation and control systems".* Editorial Elsevier. New York USA.

Buele, J. & Espinoza, J. (2018). *"Tecnologías de bajo costo para la implementación de control avanzado en un proceso industrial"* Obtenido desde: https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13946/1/T-ESPEL-ENI-0412.pdf

DETECTORES CAPACITIVOS. (2014) *"Sensor capacitivo KIE530".* Disponible en internet: <http://www.ifm.com/ifmes/web/dsfs!KI5065.html>. [Última visita: 11 septiembre de 2019]

Deusto (2016): *"Industria 4.0: La transformación digital de la industria".* Disponible desde: http://revistaingenieria.deusto.es/tag/industria-4-0/

Heras, S. (2015). *"Construcción de un PLC mediante un dispositivo de bajo coste".* Universidad de la Laguna. Disponible desde: https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/809/Construccion%20de%20un%20PLC%20mediante%20un%20dispositivo%20de%20bajo%20coste.pdf?sequence=1&isAllowed=y

HIDRAULICA. (2014) *"Bombas hidráulicas".* Disponible en internet: <http://members.fortunecity.es/100pies/mecanica/hidraulicabombas.htm>. [Última visita: 11 septiembre de 2019].

LCdesing (2016). *"¿Qué es un PLC de seguridad?* Sistemas de control" Disponible desde: http://plcdesign.xyz/que-es-un-plc-de-seguridad/

LEMA RESTREPO, José A (2003). *"Entrenador para PLC".* Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín Colombia.

Observatorio Tecnológico (2007). *"Lenguaje de programación - Principios básicos de PLC".* Disponible desde: http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2

RELES. (2014) *"Características Generales".* Disponible en internet: <http://www.uv.es/marinjl/electro/reles.html>. [Última visita: 11 septiembre de 2019]

SENSORES Y TRANSDUCTORES. (2014) *"Tipos de sensores".* Disponible en internet: <http://www.profesormolina.com.ar/tecnologia/sens_transduct/tipos.htm. [Última visita: 11 septiembre de 2019]

8. ANEXOS

1) Características técnicas del PLC con ATmega328p

Tabla 6. Características PLC con ATmega328p

Función	Tipo de datos
Módulo digital	
Entrada	6 entradas DC 24V
	2 entradas DC 5V
Salida	6 salidas DC 24V
	2 salidas DC 5V / PWM
	2 salidas DC 5V – pines análogos
Módulo analógico	
Entrada	2 entradas de 0V a 5V
Salida	
Módulo de comunicación	
	AURT
	SPI
	I2C
Dimensiones físicas (mm)	
Placa	100 x 100 x 3
Carcaza	105 x 105 x 35

Fuente: Autores

Tabla 7. Especificaciones para programación.

Tipo de señal	Número de pin		Comando de programación
Entradas digitales 24VDC	IN1	PIN 2	pinMode(2, INPUT)
	IN2	PIN 3	pinMode(3, INPUT)
	IN3	PIN 4	pinMode(4, INPUT)
	IN4	PIN 5	pinMode(5, INPUT)
	IN5	PIN 6	pinMode(6, INPUT)
	IN6	PIN 7	pinMode(7, INPUT)
Salidas digitales a relés	OUT1	PIN15	pinMode(15, OUTPUT)
	OUT2	PIN14	pinMode(14, OUTPUT)
	OUT3	PIN13	pinMode(13, OUTPUT)
	OUT4	PIN12	pinMode(12, OUTPUT)
	OUT5	PIN9	pinMode(9, OUTPUT)
	OUT6	PIN8	pinMode(8, OUTPUT)
Entradas / Salidas digitales 5VDC - PWM	D10	PIN10	pinMode(10, INPUT / OUTPUT)
	D11	PIN11	pinMode(11, INPUT / OUTPUT)
Entradas análogas 0V a 5V / Salidas digitales 5VDC	A2	PIN16	Para salida digital pinMode(16, OUTPUT)

	A3	PIN17	Para salida digital pinMode(17, OUTPUT)

Fuente: Autores

Tabla 8. Características eléctricas.

Pines	Parámetros	
Alimentación etapa de potencia	24V DC	Max. 500mA
Alimentación etapa de control	5V DC	Min. 500mA
Consumo de salida a relé	24V DC	10mA
Contactos de relé	Max. 30V DC / 250V AC	Max. 5A
Entradas digitales de potencia	Max. 24V Min. 20V	Max. 40mA
Entradas digitales baja potencia	Max. 5V	40mA
Entradas análogas	Max. 5V Min. 0V	40mA
Frecuencia de reloj	16 MHz	

Fuente: Autores

2) Características técnicas del microcontrolador ATmega328p

Tabla 9. Especificaciones técnicas ATmega328p

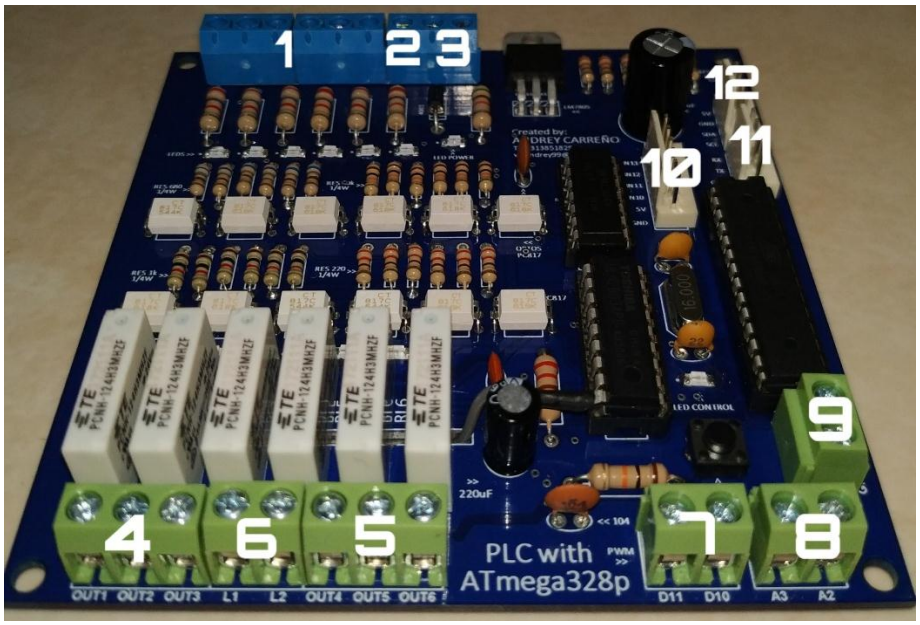
Nombre	Valor
Tipo de memoria de programa	Flash
Tamaño de la memoria del programa (KB)	32
Velocidad de CPU (MIPS / DMIPS)	20
SRAM (KB)	2,048
Datos EEPROM / HEF (bytes)	1024
Periféricos de comunicación digital	1-UART, 2-SPI, 1-I2C
Capturar / Comparar / Periféricos PWM	1 captura de entrada, 1 CCP, 6 PWM
Temporizadores	2 x 8-bit, 1 x 16-bit
Número de comparadores	1
Rango de temperatura (°C)	-40 a 85
Rango de voltaje de funcionamiento (V)	1.8 a 5.5
Pin Count	32
Baja potencia	Si

Fuente: https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328P

3) Descripción de puertos

En la siguiente figura se presenta la numeración de cada uno de los puertos y borneras que componen al PLC desarrollado, con el objetivo de describir brevemente la utilidad de cada uno y como están compuestos, como apoyo a la serigrafía impresa en el mismo.

Figura 36. Puertos PLC.



Fuente: Autores

Bornera 1: La conforman 6 entradas digitales (IN1, IN2, IN3, IN4, IN5, IN6) de 24V DC.

Bornera 2: El pin nombrado como COM indica que será el punto común (GND) de las entradas digitales de la bornera 1.

Bornera 3: En esta bornera se encuentran los pines de alimentación y tierra para la etapa de potencia (24VDC, GND).

Bornera 4: Contiene las salidas digitales a relés OUT1, OUT2 y OUT3.

Bornera 5: Contiene las salidas digitales a relés OUT4, OUT5 y OUT6

Bornera 6: Los dos pines que se encuentran en esta bornera están destinados para ser usados como punto común de los relés, siendo L1 el común de las salidas 1, 2 y 3 y L2 el común de las salidas 4, 5 y 6.

Bornera 7: Los pines de esta bornera (D11, D10) son los digitales de 5V, los cuales pueden ser usados como salidas PWM.

Bornera 8: A3 y A2 pueden ser utilizados como entradas análogas de 0V a 5V o como salidas digitales de 5V.

Bornera 9: Los dos pines (5V y GND) de esta bornera son utilizados para alimentar la parte de control del PLC.

Puerto 10: El puerto 10 está designado para subir programas al microcontrolador del PLC a partir de comunicación serial. PIN13, PIN12, PIN11, PIN10, 5V y GND se deben conectar al Arduino con el cual se subirá el programa.

Puerto 11: Los pines de este puerto se usan para comunicar al PLC con módulos externos que cumplan con los protocolos de comunicación serial usados por el ATmega328p.

Puerto 12: Está designado para comunicación por protocolo I2C.