

Universidad Tecnológica Nacional

Proyecto Final

**PLC CON ACCESO REMOTO Y
REDUCCIÓN DE RUIDO
IMPLEMENTADO CON MICRO.**

Autores:

- *Fontana, David Emiliano.*
- *Grinovero, Santiago Hernan.*

Director:

- *Ing. Carlos Alberto Cappelletti*

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos
para acceder al título de Ingeniero Electrónico.*

en la

Facultad Regional Paraná

Abril 2024

Declaración de autoría:

Nosotros declaramos que el Proyecto Final “PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro” y el trabajo realizado son propios.

Declaro:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, él mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firmas:

-
-
-

Fecha:

Agradecimientos:

A nuestro director de proyecto, el Ingeniero Carlos Alberto Cappelletti, por brindarnos las herramientas necesarias para comenzar a desarrollar lo pensado.

A los profesionales docentes que componen la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Paraná, por formarnos tanto académica como profesionalmente.

A nuestras familias, por haber estado en cada momento de duda, frustración o desaliento, impulsándonos a finalizar la carrera.

A nuestros amigos, por siempre estar para lo que uno necesita.

A todas las empresas donde hemos trabajado, las cuales nos permitieron formarnos como ingenieros, antes de serlo.

Al ingeniero Lautaro Arrua, por su predisposición para la impresión del gabinete.

A cada uno de ellos, gracias por ser parte del proceso.

Fontana, David Emiliano.
Grinovero, Santiago Hernan.

Universidad Tecnológica Nacional

Abstract

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

PLC CON ACCESO REMOTO Y REDUCCIÓN DE RUIDO IMPLEMENTADO CON MICRO.

Fontana, David Emiliano.

Grinovero, Santiago Hernán.

Abstract:

The present final project consists of the development of a PLC prototype, which features a mobile interface for monitoring and controlling the equipment's status. A Espressif ESP32 microcontroller was used for the device's development, responsible for processing inputs and outputs, as well as communication with the application. Furthermore, complementary circuits were developed to adapt the signals and provide them with the robustness characteristic of a commercial device. The mobile application was developed using the MIT App Inventor programming platform. It uses the MQTT communication protocol to exchange status messages with the PLC. The obtained equipment has nine digital inputs operating at 5, 12, and 24[V], two analog inputs from 0 to 10[V], two analog inputs from 4 to 20[mA], seven relay digital outputs capable of controlling 5[A] 220[VAC] or 30[VDC], two PWM digital outputs per 30[V] 3[A] transistor, and two analog outputs from 0 to 10[V]. Additionally, it has communication via RS485 and WiFi. The Android application interface allows controlling whether the PLC is in RUN or STOP mode, the control mode (Local or Remote), and the visualization and control of all its inputs and outputs. For enhanced communication security, when connecting to a device, the application requests the user

credentials, which must match those stored in the PLC. If they are incorrect, communication with the device is disabled. The obtained features are comparable to those of a mid-range commercial device, being developed at a lower cost and providing the ability to remotely monitor its status at any time and place.

Keywords: Control of Analog and Digital Signals, Industrial Automation, MQTT Protocol, Remote Control.

Resumen:

El presente proyecto final consiste en el desarrollo de un prototipo de PLC, el cual cuenta con una interfaz móvil para el monitoreo y control del estado del equipo. Para el desarrollo del dispositivo se utilizó un microcontrolador Espressif ESP32, encargado del procesamiento de las entradas y salidas, como así también de la comunicación con la aplicación. Además, se desarrollaron los circuitos complementarios para adaptar las señales y darles la robustez característica de un equipo comercial. La aplicación para dispositivos móviles fue desarrollada mediante la plataforma de programación App Inventor del MIT. La misma utiliza el protocolo de comunicación MQTT para intercambiar los mensajes de estados con el PLC.

El equipo obtenido tiene nueve entradas digitales que trabajan con 5, 12 y 24[V], dos entradas analógicas de 0 a 10[V], dos entradas analógicas de 4 a 20[mA], siete salidas digitales a relé capaces de controlar 5[A] 220[VAC] o 30[VCC], dos salidas digitales PWM por transistor de 30[V] 3[A], y dos salidas analógicas de 0 a 10[V]. A su vez, tiene comunicación mediante RS 485 y WiFi. La interfaz de la aplicación Android permite controlar si el PLC se encuentra en modo RUN o STOP, el modo de control (Local o Remoto), y la visualización y control de todas sus entradas y salidas. Para mayor seguridad de la comunicación, al momento de conectarse a un equipo se solicita en la aplicación ingresar las credenciales de usuario, que deben coincidir con las almacenadas en el PLC. En caso de no ser correctas, se inhabilita la comunicación con el dispositivo.

Las características obtenidas son equiparables a un equipo comercial de gama media, pudiendo desarrollarlo a un costo menor que los mismos, y además brindando la capacidad de monitorear de forma remota el estado del mismo en cualquier momento y lugar.

Palabras Clave: Automatización Industrial, Control de Señales Analógicas y Digitales, Control Remoto, Protocolo MQTT.

Índice:

CONTENIDO

Lista de Figuras:	2
Lista de Tablas	4
Lista de Abreviaciones y Símbolos	5
Abreviaciones:	5
Símbolos:	6
Capítulo 1: Introducción	8
Capítulo 2: Desarrollo	10
2.1 Acondicionamiento de señales	14
2.1.1 Entradas digitales	14
2.1.2 Entradas analógicas de 0 a 10 [V].	16
2.1.3 Entradas analógicas de 4 a 20 [mA].	20
2.1.4 Salidas digitales a Relé.	25
2.1.5 Salidas digitales a transistor.	27
2.1.6 Salidas analógicas de 0 a 10[V].	30
2.2 Módulo ESP32.	31
2.2.1 Módulo ESP32 – Descripción general.	31
2.2.2 Comunicación inalámbrica	33
2.2.3 Diagrama de flujo.	36
2.2.4 Funciones establecidas.	38
2.3 Aplicación Móvil	39
2.3.1 Protocolo MQTT.	39
2.3.2 Servidor MQTT.	40
2.3.3 App Inventor	42
2.3.3 Aplicación móvil.	44
2.4 Diseño final PCB.	48
2.4.1 Análisis de ruido.	50

2.4.2 Fuente de Alimentación.	53
2.4.3 Controlador.	54
2.4.4 Diseño Gabinete.	56
2.4.5 Gabinete.	58
2.5 Producto final.	59
Capítulo 3: Resultados.	62
3.1 Pruebas	62
Capítulo 4: Análisis de costos.	66
Capítulo 5: Conclusión.	70
Capítulo 6: Referencias.	72

LISTA DE FIGURAS:

Ilustración 1 - Circuito esquemático de la etapa de potencia.	11
Ilustración 2 - Encapsulado del regulador LM7812 utilizado. [1]	12
Ilustración 3 - Encapsulados de los reguladores LM7805 y AMS1117 utilizados. [1] [2]	13
Ilustración 4 - Circuito esquemático de las borneras de salida de la etapa de potencia.	13
Ilustración 5 - Fuente aislada de 5[V] [3]	14
Ilustración 6 - Fuente de alimentación externa de 24[V] [4]	14
Ilustración 7 - Diagrama de bloques de la etapa de control.	15
Ilustración 8 - Bornera de conexión de las entradas digitales. GND es el común.	16
Ilustración 9 - Optoacoplador PC817C [5]	16
Ilustración 10 - Circuito esquemático para las entradas digitales.	17
Ilustración 11 - Esquema del circuito de un sensor PNP.	17
Ilustración 12 - Inversor de voltaje con amplificador operacional.	18
Ilustración 13 - Circuito esquemático del convertor de voltaje.	19
Ilustración 14 - Simulación en Proteus con $V_{in} = 1$.	20
Ilustración 15 - Simulación en Proteus con $V_{in}=5$.	20
Ilustración 16 - Simulación en Proteus con $V_{in}=10$.	21
Ilustración 17 - Encapsulado en SMD del LM324 y su respectivo pinout. [6]	21
Ilustración 18 - Circuito esquemático para las entradas analógicas de 0 a 10 [V].	22
Ilustración 19 - Amplificador operacional en modo diferencial con ganancia unitaria.	24
Ilustración 20 - Amplificador operacional en modo no inversor.	25
Ilustración 21 - Simulación de entrada analógica con valor de 20[mA].	25
Ilustración 22 - Simulación de entrada analógica con valor de 4[mA].	26
Ilustración 23 - Circuito esquemático para las entradas analógicas de 4 a 20 [mA].	27
Ilustración 24 - Configuración utilizada para una entrada digital.	28
Ilustración 25 - Salida de pines y configuración interna del CI UNL2003A. [7]	29
Ilustración 26 - Estructura MOSFET de canal N.	30
Ilustración 27 - Circuito esquemático para cada salida digital a transistor.	31
Ilustración 28 - Distribución de pines salidas digitales a transistor.	32
Ilustración 29 - Circuito esquemático de las salidas analógicas de 0 a 10 [V].	33
Ilustración 30 - Distribución de pines del ESP32 DevKit V4. [8]	34
Ilustración 31- Circuito esquemático junto a la distribución de pines del ESP32.	35
Ilustración 32 - Definición de WiFi en ESP32.	36
Ilustración 33 - Diagrama de flujo del Módulo ESP32	39
Ilustración 34 - Logo MQTT. [9]	41
Ilustración 35 - Protocolo MQTT. [9]	42
Ilustración 36 - Descripción de la licencia de servidor MQTT contratada. [10]	43
Ilustración 37 - Página web de monitoreo de tráfico de datos MQTT. [11]	44
Ilustración 38 - Interfaz de diseño gráfico - App Inventor [12]	45
Ilustración 39 - Interfaz de programación - App Inventor [12]	45
Ilustración 40 - Diagrama de flujo de la Aplicación móvil.	47

Ilustración 41a, b y c - Pantalla inicial, App conectada al servidor, App conectada al PLC.	49
Ilustración 42a, b y c - Ver E/S digitales, modo RUN activo, Ver E/S 1, Ver E/S 2.	50
Ilustración 43a y b - Modificar E/S 1, Modificar E/S 2.	51
Ilustración 44 - Diseño PCB vista superior.	52
Ilustración 45 - Diseño PCB vista inferior.	52
Ilustración 46 - Señales con y sin ruido.	54
Ilustración 47 - Impresión de la placa de cobre de la fuente de alimentación.	56
Ilustración 48 - Fuente de alimentación final.	57
Ilustración 49 - Vista superior PCB etapa de control.	58
Ilustración 50 - Vista inferior PCB etapa de control.	59
Ilustración 51 - Imagen ilustrativa de vista superior PCB etapa de control.	60
Ilustración 52 - Gabinete parte trasera.	61
Ilustración 53 - Gabinete parte frontal.	62
Ilustración 54 - Soporte fuente de alimentación.	62
Ilustración 55 - Soporte fuente de alimentación y pieza frontal gabinete.	63
Ilustración 56 - Pieza posterior gabinete.	63
Ilustración 57 - Identificación de alimentación y características técnicas.	64
Ilustración 58 - Identificación de entradas y salidas.	64
Ilustración 59 - Logo y slogan del dispositivo diseñado, y características del equipo.	65
Ilustración 60 - Producto final	65
Ilustración 61 - Pruebas de funcionamiento y conexión remota..	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 - Entradas digitales y analógicas	37
Tabla 2 - Salidas digitales y analógicas	38
Tabla 3 - Error relativo porcentual entradas analógicas.	65
Tabla 4 - Costo de componentes.	67
Tabla 5 - Análisis de VAN y TIR del proyecto.	69
Tabla 6 - Comparación con otros productos del mercado.	69

LISTA DE ABREVIACIONES Y SÍMBOLOS

Abreviaciones:

- **PLC:** Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable)
- **RS-232/-422/-485:** Recommended Standard 232/422/485
- **TCP:** Transmission Control Protocol
- **IP:** Internet Protocol
- **SCADA:** Supervisory Control and Data Acquisition
- **CAN:** Controller Area Network
- **PROFIBUS:** PROcess Field BUS
- **AS-Interface:** Actuator/Sensor Interface
- **USB:** Universal Serial Bus
- **WiFi:** Wireless Fidelity
- **MQTT:** Message Queuing Telemetry Transport
- **App:** Application
- **HMI:** Human-Machine Interface
- **SMD:** Surface Mount Device
- **I/O:** Input/Output
- **CC:** Corriente Continua
- **CI:** Chip Integrado
- **FCEM:** Fuerza Contra Electromotriz
- **NC:** Normal Cerrado
- **NA:** Normal Abierto
- **COM:** Común
- **TTL:** Transistor-Transistor Logic
- **MOS:** Metal-Oxide-Semiconductor
- **CMOS:** Complementary Metal-Oxide-Semiconductor
- **MOSFET:** Metal-Oxide-Semiconductor field-effect transistor
- **LED:** Light Emitting Diode
- **PWM:** Pulse Width Modulated
- **DAC:** Digital-Analogic Converter
- **ADC:** Analogic-Digital Converter
- **DMIPS:** Dhrystone Million Instructions Per Second
- **SRAM:** Static Random Access Memory
- **PCB:** Printed Circuit Board
- **GPIO:** General Purpose Input/Output
- **IDE:** Integrated Development Environment
- **UART:** Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
- **SPI:** Serial Peripheral Interface
- **I2C:** Inter-Integrated Circuit
- **I2S:** Integrated Interchip Sound
- **RTC:** Real-Time Clock
- **BLE:** Bluetooth Low Energy
- **M2M:** Machine to Machine
- **QoS:** Quality of Service

- **MIT:** Massachusetts Institute of Technology
- **E/S:** Entrada/Salida
- **EMI:** Electromagnetic Interference
- **SMT:** Surface Mount Technology
- **THT:** Through-Hole Technology
- **PLA:** Polylactic Acid
- **VAN:** Valor Actual Neto
- **TIR:** Tasa Interna de Retorno

Símbolos:

- **[A]:** Amperes
- **[mA]:** mili Amperes
- **[uA]:** micro Amperes
- **[V]:** Volts
- **[VDC]:** Volts Direct Current
- **[VAC]:** Volts Alternate Current
- **[W]:** Watts
- **[GND]:** Ground
- **[uF]:** micro Faradios
- **[nF]:** nano Faradios
- **[Ω]:** Ohms
- **[kΩ]:** kilo Ohms
- **[°C]:** grados Centígrados
- **[KB]:** kilo Bytes
- **[MB]:** mega Bytes
- **[GB]:** giga Bytes
- **[Mbits/s]:** mega bits por segundo
- **[Hz]:** Hertz
- **[MHz]:** mega Hertz
- **[GHz]:** giga Hertz

Dedicado a:

A nuestras familias, por todo el apoyo y motivación que nos han brindado durante estos años.

A Francisco García y Franco Sarli, dos amigos que siempre estarán presentes, que en paz descansen.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo, se realizó el diseño de un Controlador Lógico Programable, comúnmente conocido como PLC (por sus siglas en inglés), el cual ha revolucionado la automatización industrial desde su introducción en la década de 1960. Este dispositivo electrónico ha desempeñado un papel crucial en la mejora de la eficiencia, la flexibilidad y la confiabilidad de los sistemas de control en diversos entornos industriales. Al ser un dispositivo que requiere estabilidad ante el ruido presente en la industria, surge la necesidad de demostrar que mediante una placa de desarrollo se puede diseñar un dispositivo similar, con el agregado de que este puede ser manipulado mediante una aplicación móvil, permitiendo controlar las variables de entrada y salida mediante conexión remota.

Los tipos de PLC existentes en el mercado son extensos y dependiendo de la marca, tienen distintas configuraciones. La mayoría de estos se venden según la configuración de las entradas y salidas. Las entradas pueden ser analógicas o digitales, donde las analógicas tienen dos tipos de configuraciones, las que miden corriente de 4 a 20 [mA] y las que realizan comparaciones de tensión de 0 a 10 [V]. Dependiendo de lo que se requiera, se puede adquirir un dispositivo con una u otra, o ambas. Por otro lado, las salidas que se pueden encontrar en el mercado pueden ser a relé o a transistor. La particularidad de cada una de ellas, es la velocidad en la respuesta y la implementación en el tipo de proyecto que se vaya a realizar. Si lo que se requiere implica pocas conmutaciones por minuto, se optará por adquirir un PLC con salidas a relé, por otro lado, si se necesita alimentar un driver de un motor de continua donde se desea que el dispositivo genere el pulso de activación de este, se optará por salidas a transistor, debido a la velocidad de conmutación que requiere la generación del pulso. Si se utilizara la configuración a relé para este tipo de conmutación, con el tiempo el activador se terminaría desgastando y comenzaría a fallar producto de su movimiento mecánico.

Del mismo modo, otra variable existente a analizar al momento de realizar la compra de este dispositivo es la comunicación que requiere la aplicación y el entorno en el que se implementa el sistema de control. A continuación, se detallan algunas existentes:

- Comunicación serie, mediante puertos seriales utilizando protocolos como RS-232, RS-485 o RS-422. Estas comunicaciones son comunes para la conexión con periféricos o dispositivos que no están directamente en la red.
- Comunicación Ethernet, puertos Ethernet para la comunicación a través de redes TCP/IP. Esto permite la conectividad a sistemas de control supervisado, sistemas SCADA y otras aplicaciones de red.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

- Comunicación CAN (Controller Area Network), protocolo de comunicación ampliamente utilizado en la industria automotriz y, en algunos casos, en entornos industriales para la comunicación entre dispositivos.
- Comunicación PROFIBUS, estándar de comunicación industrial que se utiliza comúnmente en la automatización de fábricas y sistemas de control.
- Comunicación AS-Interface, otro protocolo de comunicación que se utiliza para la conexión de sensores y actuadores en un único cable.
- Comunicación USB, a través de puertos USB para la programación, monitoreo y configuración.

El prototipo desarrollado posee nueve entradas digitales a relé, dos entradas analógicas de 4 a 20 [mA], dos entradas analógicas de 0 a 10 [V], dos salidas analógicas de 0 a 10 [V], siete salidas digitales a relé, y dos salidas digitales a transistor. Durante el desarrollo de este informe, se darán detalles de cada uno de los circuitos de implementación utilizados. Adicionalmente, tiene comunicación serial RS485, bornera para adaptar a RS232 y comunicación wi-fi. Posee la posibilidad de comunicarse por Bluetooth, pero esta no se utilizó en este desarrollo.

Uno de los objetivos principales de este trabajo es poder desarrollar un dispositivo que tenga un precio comercial razonable para que pueda ser utilizado por pequeñas y medianas empresas, donde la visualización de las variables de entrada y salida puedan ser creadas en base a la aplicación o sistema de control a desarrollar. Es por ello por lo que se plantea mediante la conexión remota, una aplicación móvil basada en la plataforma Android, donde del mismo modo se trabajó con una plataforma que cumple de bróker que facilita la interconexión mediante el protocolo MQTT.

Este desarrollo hace hincapié ante las necesidades de demanda en el país durante el año 2023, en el cual los dispositivos de distintas marcas de PLC, como Delta, Siemens o Schneider, ante la compra mediante algunos de los distribuidores oficiales, requerían de una demora mínima aproximada de tres meses; producto de las restricciones en las importaciones que estaba sufriendo el país y la fluctuación del dólar oficial. Esta situación, fue uno de los motivos del desarrollo, donde se demostrará que se logra un dispositivo igual de robusto y estable, donde se puede controlar de forma eficaz las entradas y salidas, y se pueden desarrollar distintas aplicaciones tanto hogareñas, como industriales.

La implementación de este dispositivo consiste en entradas y salidas analógicas y digitales utilizando el microcontrolador ESP32. Se analizará su funcionamiento básico, sus componentes principales y las ventajas que ofrece en comparación con los sistemas de control convencionales. Se le añadirá comunicación serie RS485 y conexión inalámbrica con una aplicación (App) de Android simulando una Interfaz Hombre-Máquina (HMI). Tendrá la robustez que presentan estos dispositivos en la industria debido al criterio de diseño de la placa. Además, se destacarán las características claves de un dispositivo

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

industrial, como su capacidad de programación, la interfaz de usuario, la modularidad y la conectividad, las cuales dependen del microcontrolador utilizado. Estos aspectos son fundamentales para comprender cómo el PLC diseñado puede adaptarse a las necesidades específicas de diferentes procesos industriales y cómo puede integrarse con otros dispositivos y sistemas en el entorno de la Industria 4.0.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO

En esta sección se describe el desarrollo completo del proyecto. Se desarrollarán cada una de las partes del diagrama de bloques que conforman al dispositivo. De la misma manera, se presentarán aquellas problemáticas, dudas, y resultados que se obtuvieron durante la elección de cada circuito. Este desarrollo se divide en dos etapas, la de potencia y la de control. Antes de comenzar con la descripción de la etapa de control, la cual es el núcleo principal del proyecto, mencionaremos la etapa de potencia que nos permite alimentar todo el circuito.

En el siguiente desarrollo, se describirán características técnicas de cada dispositivo electrónico utilizado, es importante aclarar que la fuente de información de cada una de ellas son las hojas de datos de cada fabricante. Lo que nos permitirá a lo largo del informe, realizar comparaciones y obtener conclusiones en cada implementación realizada.

En esta etapa, se planteó una alimentación externa de 24[V] de continua donde a partir de esta, se obtienen 12, 5 y 3.3 [V]. De los cuales se derivan 3 borneras de salida de 12[V], que estarán disponibles en el gabinete del PLC, para poder alimentar algún sensor, motor de continua, relé de salida o entrada, entre otros dispositivos posibles. Cada una de ellas con su respectiva derivación a masa (GND). Luego, se optó por colocar dos salidas de 5[V] y dos de 3.3[V]. Estas también se encontrarán en el gabinete del dispositivo, en caso de que surja la necesidad de alimentar algún dispositivo que requiera estos valores de alimentación. Por último, se posicionó una bornera interna que se distribuye a la etapa de control, la cual administra 12, 5 y 3.3[V].

A continuación, se muestra el circuito esquemático de lo descrito.

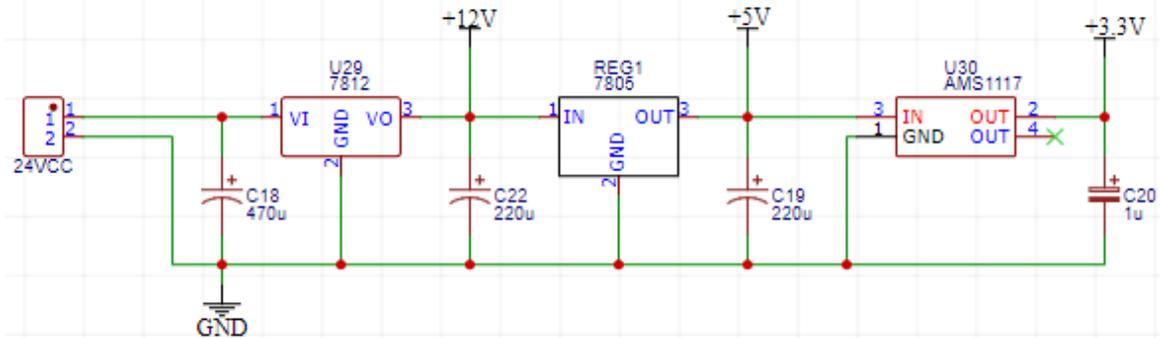


Ilustración 1 - Circuito esquemático de la etapa de potencia.

En el mencionado circuito se utilizan reguladores de voltaje fijo, debido a que la mayoría de los componentes utilizados en la etapa de control requieren de valores de alimentación establecidos y no se requiere de algún ajuste en ellos. Se puede observar que para obtener los 12[V] de continua se utiliza el integrado LM7812 con los capacitores electrolíticos de 470[uF] y 220[uF], que sirven para filtrar la continua en caso de que la fuente utilizada de 24[V] provenga de un transformador con puente de diodos. Este integrado tiene la capacidad de poder recibir un rango de tensión en la entrada de 14.5 a 27 [V], para poder entregar a su salida los 12[V] deseados.

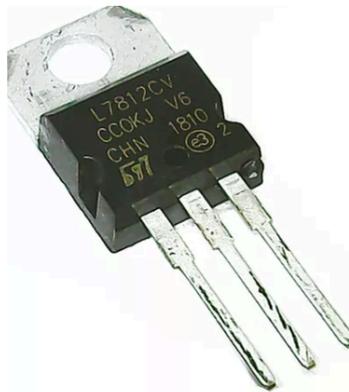


Ilustración 2 - Encapsulado del regulador LM7812 utilizado. [1]

De forma análoga se utiliza el circuito integrado LM7805, el cual provee a la salida 5[V] de continua con sus respectivos capacitores de filtrado, donde este tiene la capacidad de recibir en su entrada un rango de 7 a 20[V]. Luego, se encuentra el AMS1117, el cual es un encapsulado en SMD, que a su salida nos brinda una tensión de 3.3[V], los capacitores colocados nos permiten estabilizar la salida disminuyendo las oscilaciones en su valor. Cabe aclarar que los integrados 7812 y 7805 estarán con sus disipadores correspondientes, donde los encapsulados utilizados son los denominados TO-220. Estos

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

poseen la particularidad de soportar una temperatura de hasta 127°C. Por último, los reguladores con el encapsulado de TO-220 poseen una corriente máxima de salida de 1.5[A], mientras que el regulador de 3.3[V] con el encapsulado de montaje superficial (SMD) posee una corriente máxima de salida de 0.8[A], con las mismas características de temperatura que los otros reguladores.



Ilustración 3 - Encapsulados de los reguladores LM7805 y AMS1117 utilizados. [1] [2]

A continuación, se podrá visualizar la distribución de las borneras que alimentarán al circuito de la etapa de control, y permitirá alimentar a las entradas y salidas que se requiera, teniendo en cuenta que no se tiene que superar el consumo de 1.5[A]. En caso de que esto suceda, se deberá colocar una fuente externa para las entradas y salidas correspondientes.

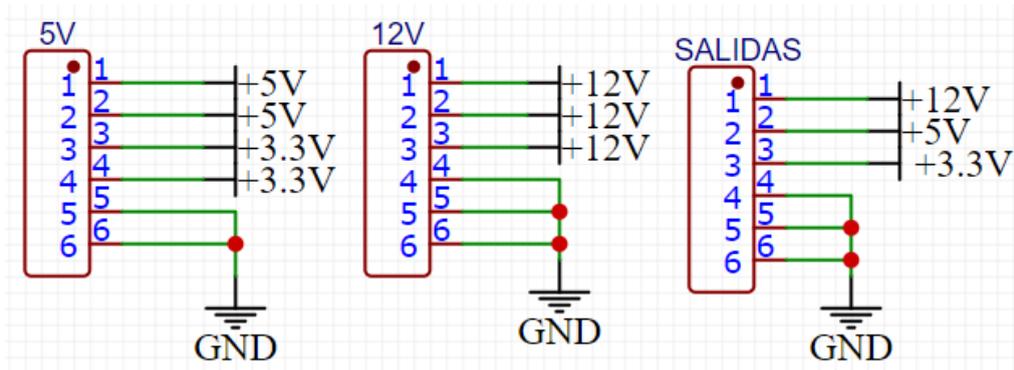


Ilustración 4 - Circuito esquemático de las borneras de salida de la etapa de potencia.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

Una de las posibilidades que se consideró fue utilizar la fuente aislada HLK-5m05 Hi Link que se alimenta a 220[V] y provee 5[V] a su salida con una potencia de 5[W], es decir, 1[A] de corriente máxima.



Ilustración 5 - Fuente aislada de 5[V] [3]

Esta opción no fue considerada debido a que se necesitaba suministrar con 12[V] para poder alimentar a los amplificadores operaciones que realizan la comparación de las entradas y salidas analógicas de 0 a 10 [V], por lo tanto, se optó por la configuración presentada.

La fuente externa con la que se alimentará este circuito es de 24[V] – 2.2[A] 50[W], debido a que las entradas y salidas con la que alimentaremos con 24[V] no tendrán un gran consumo de corriente. La marca es Schneider Electric y el modelo es ABL2REM24020K. La fuente de alimentación conmutada fue la elegida debido a que es monofásica (N-L1), bifásica (L1-L2), posee protección contra sobrecarga, protección contra sobretensiones, protección contra cortocircuitos, montaje en panel y reinicio automático.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024



Ilustración 6 - Fuente de alimentación externa de 24[V] [4]

Una vez analizada la etapa de potencia, se procede a visualizar el diagrama de bloques de la etapa de control correspondiente al dispositivo diseñado.

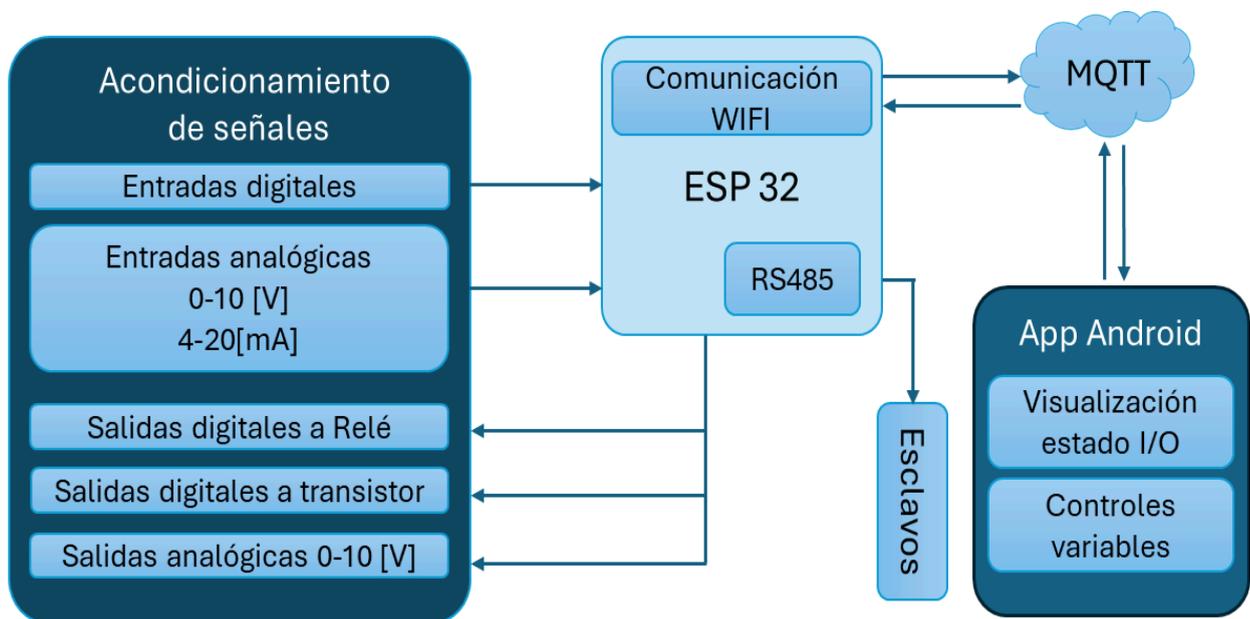


Ilustración 7 - Diagrama de bloques de la etapa de control.

2.1 Acondicionamiento de señales

Visualizando el diagrama de bloques, comenzamos analizando la primera sección, la cual está involucrada con la adaptación de señales de entradas y salidas. Dicha sección

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

permite que la placa de desarrollo pueda procesar a un valor de tensión y corriente adecuada las señales que intervienen en la aplicación de control.

2.1.1 Entradas digitales

Como se mencionó anteriormente, el PLC diseñado tendrá nueve entradas digitales, donde el común de todas ellas estará referenciado a masa.

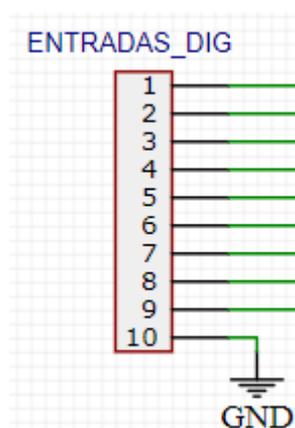


Ilustración 8 - Bornera de conexión de las entradas digitales. GND es el común.

Cada entrada digital tiene su configuración que se mostrará a continuación, las mismas pueden ser de 24, 12 y 5[V]. Se encuentran ante una resistencia limitante de corriente de 4.7[k Ω] y un capacitor cerámico de 100[nF] el cual nos ayuda a suavizar las transiciones, nos estabiliza el voltaje de entrada y realiza un filtrado de ruido, de manera de poder realizar una indicación de encendido o apagado más estable. Tanto las resistencias como el diodo LED indicador y el capacitor cerámico se encuentran en SMD.

Luego, se encuentra el optoacoplador PC814C, el cual permite la activación de componentes sin haber un contacto eléctrico, mediante un fotodiodo y un fototransistor. Luego convirtiendo la señal luminosa en un impulso eléctrico será procesado por el microcontrolador. Este elemento electrónico permite separar la etapa de control (microcontrolador), de la etapa de potencia (entradas de 5,12 y 24[V]). Cabe mencionar que la resistencia colocada de 10[k Ω] cumple la función de pull-down, la cual sirve para asegurar que la línea de señal se mantenga a un nivel bajo, o estado lógico 0, cuando no está siendo impulsada activamente a un nivel alto.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

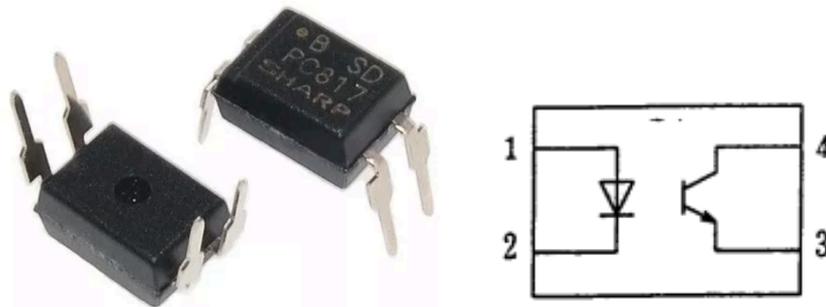


Ilustración 9 - Optoacoplador PC817C [5]

Se procede a visualizar el circuito esquemático descrito.

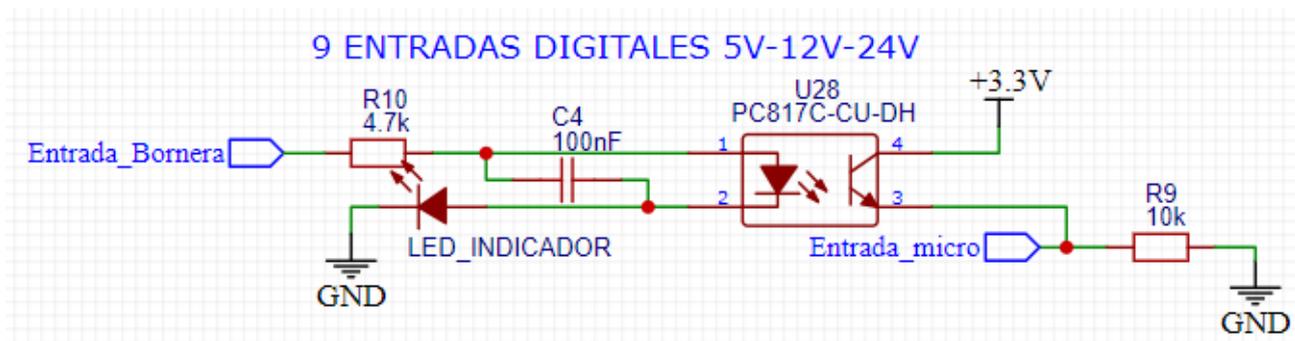


Ilustración 10 - Circuito esquemático para las entradas digitales.

Una vez activada la entrada del optoacoplador, se activará la salida del transistor produciendo la conducción de corriente del emisor al colector, provocando que se alimente la entrada del pin colocado para que pueda ser leído en el microcontrolador como un estado lógico 1 (en alto).

Los módulos de entrada de continua (CC) permiten conectar transistores del tipo PNP (fuente) o NPN (carga). Si se utiliza un interruptor no es necesario preocuparse de qué tipo es. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la mayoría de los PLC no permiten mezclar dispositivos NPN o PNP en un mismo módulo. Cuando se está utilizando un sensor es necesario averiguar si se debe considerar como NPN o PNP. La diferencia entre ellos influye cuando la carga está conectada a tierra o a un voltaje positivo. En el sensor de tipo NPN la carga tiene que estar conectada a tierra, mientras que un dispositivo PNP tiene la carga conectada a un voltaje positivo.

En este dispositivo diseñado, se utilizará la configuración para sensores de tipo PNP donde se conecta la salida a un voltaje positivo y la otra salida a la entrada del PLC. Si el

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

sensor no es energizado por la misma fuente del PLC, se deben conectar los dos terminales positivos juntos (del sensor y del PLC).

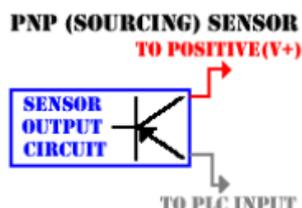


Ilustración 11 - Esquema del circuito de un sensor PNP.

Dentro del sensor, el transistor actúa como un interruptor. El circuito interno del sensor indica al transistor de salida encenderse cuando el objetivo está presente. El transistor cierra el circuito entre las dos conexiones mostradas antes, el voltaje positivo y la entrada del PLC. En este caso, el terminal común del PLC debe ser conectado a la tierra de la fuente y del sensor.

2.1.2 Entradas analógicas de 0 a 10 [V].

Luego de haber analizado las entradas digitales, comenzaremos a describir la adaptación de las señales analógicas. En esta sección se encuentran aquellas señales que van a encontrarse en un rango de voltaje de 0 a 10 [V], lo que nos exige adaptar estos valores a rangos establecidos de 0 a 3.3[V], de manera que las entradas puedan ser leídas por el microcontrolador, y que este no corra posibles riesgos de sobre tensión. Por ello, se plantea un circuito de acondicionamiento en el cual se produce una ganancia menor a uno, produciendo que disminuya el valor de la tensión a la salida de este circuito. Esta configuración es posible mediante un amplificador operacional utilizado como inversor, el cual posee la cualidad de que con una configuración de resistencias, se puede obtener un ajuste en la ganancia a la salida producto del valor de cada una de ellas, y adicionalmente, se invierte la señal.

A continuación, se muestra lo explicado.

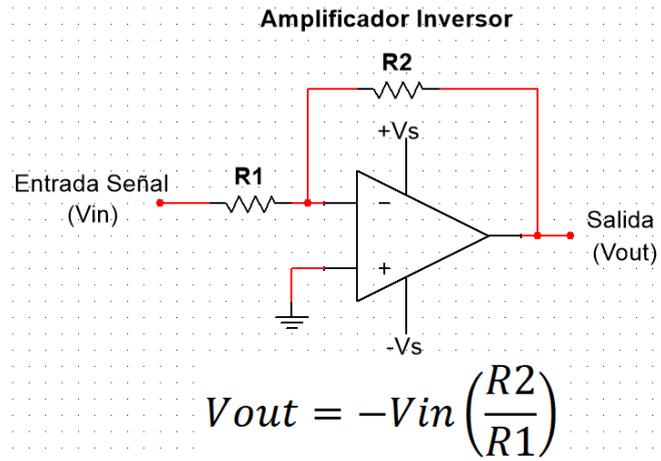


Ilustración 12 - Inversor de voltaje con amplificador operacional.

Como se puede observar en la imagen, el amplificador para que pueda otorgar a la salida un valor de voltaje negativo, debe estar alimentado con voltaje positivo y negativo. Al utilizar una fuente de alimentación continua, se planteó obtener la alimentación de valor negativo mediante el circuito integrado (CI) ICL7660 junto a un capacitor cerámico de 100[nF] y dos capacitores de tantalio de 10[uF]. Este CI tiene la particularidad de ser un convertor de voltaje positivo a negativo. Puede generar hasta 22.8[V] con una entrada de 12[V].

El CI fue alimentado con 5[V] proveniente de la entrada que se comentó en la introducción, y se utilizó la siguiente implementación.

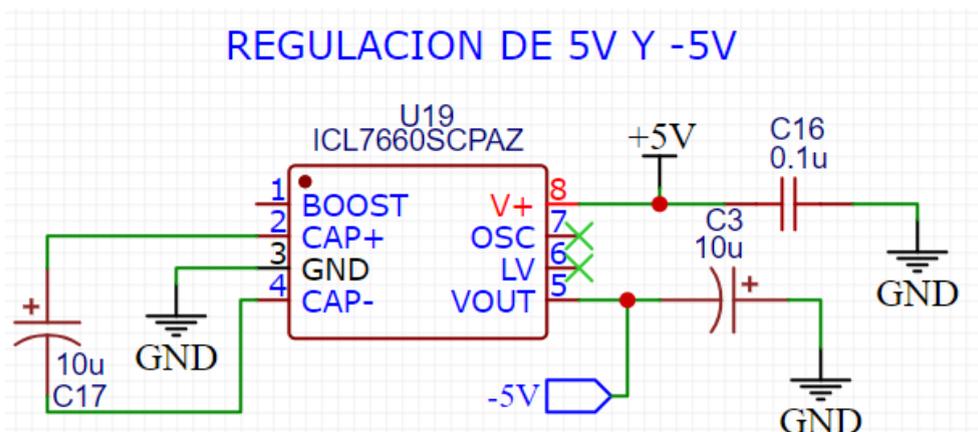


Ilustración 13 - Circuito esquemático del convertor de voltaje.

Se detalla a continuación los cálculos realizados para obtener el voltaje de salida deseado. Al tratarse de una ganancia entre 0 y 1, se requiere utilizar la configuración del

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

amplificador como inversor, ya que, con la relación descrita en la imagen, podemos obtener la ganancia que se requiere. Al tratarse de una señal de entrada de 10[V] como valor máximo y requerir una salida de 3.3[V], se plantea la siguiente ganancia:

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{3.30}{10} = 0.33$$

Se colocarán dos inversores en serie, de manera de obtener a la salida del segundo un voltaje positivo. Esto se debe a que, si solo se colocase uno, obtendremos un valor a la salida negativo de tensión. La ganancia a obtener debe ser de 0.33, por lo tanto:

$$G = -\frac{10000}{22000} * -\frac{3300}{4700} = 0.32$$

Con la configuración de esas resistencias, se puede analizar que se llegó al objetivo de ganancia requerida.

Utilizando el software de automatización de diseño electrónico desarrollado por Labcenter Electronics, Proteus Design Suite, se verifica lo calculado simulando el circuito a implementar. Comienza el análisis de funcionamiento con un valor de entrada $V_{in} = 1$. Teniendo en cuenta que el valor de salida está determinado por $V_{out} = V_{in} * G$.

$$V_{out} = V_{in} * 0.32$$

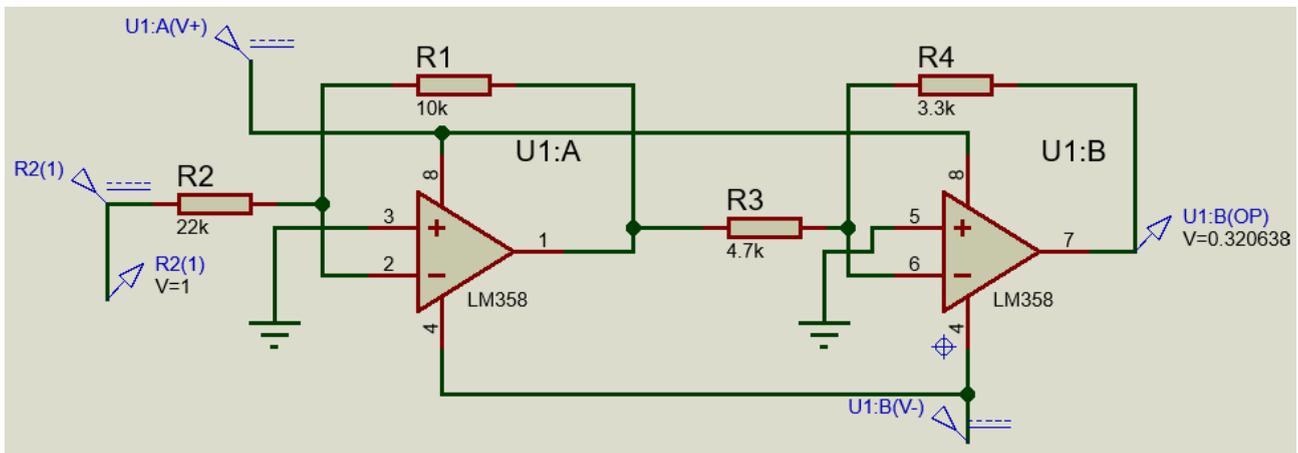


Ilustración 14 - Simulación en Proteus con $V_{in} = 1$.

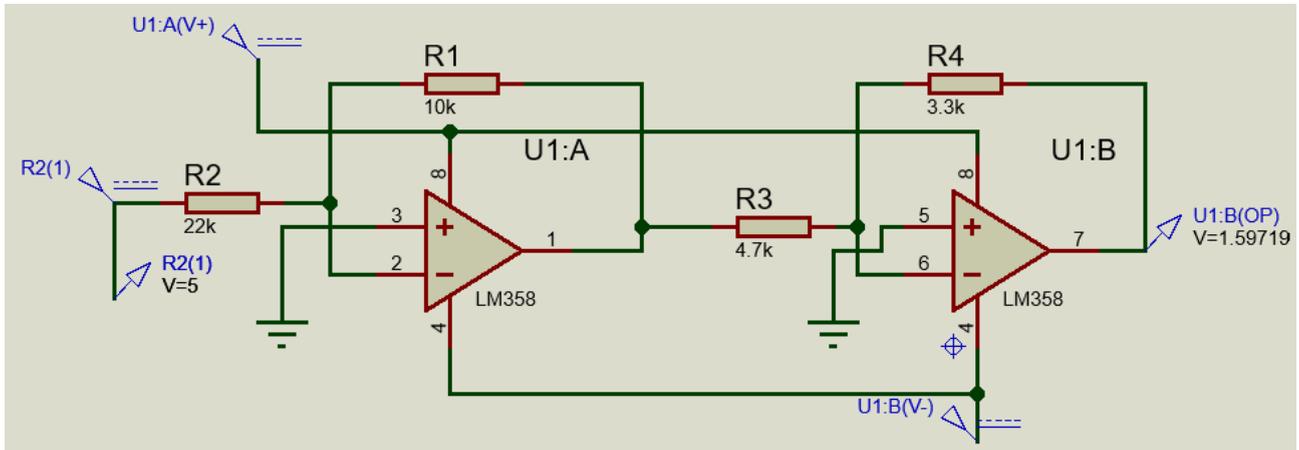


Ilustración 15 - Simulación en Proteus con $V_{in}=5$.

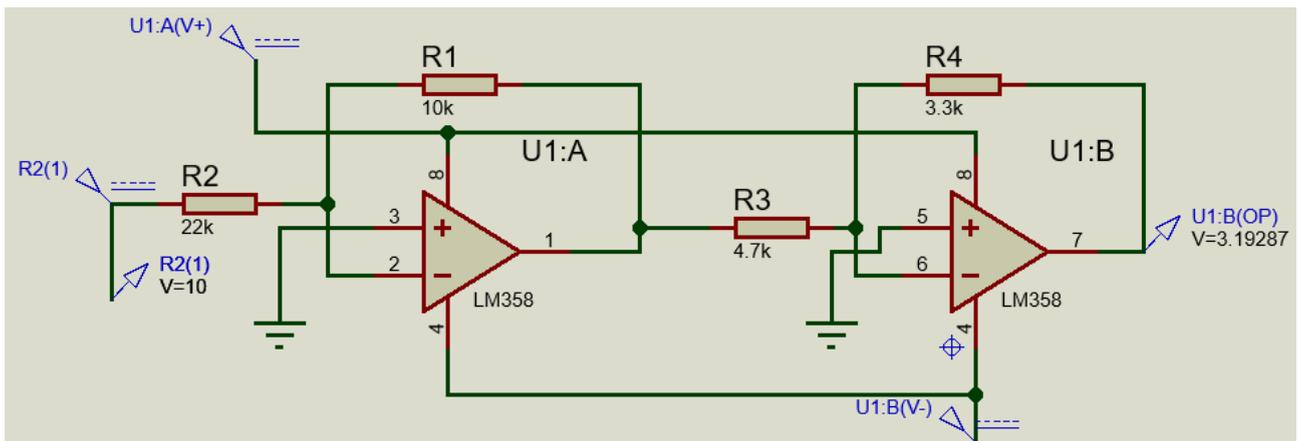


Ilustración 16 - Simulación en Proteus con $V_{in}=10$.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de la configuración diseñada, se procede a seleccionar el CI a utilizar. Investigando y comparando precios, se optó por el LM324, el cual es un CI encapsulado en SMD con cuatro amplificadores operacionales independientes, de alta ganancia y con frecuencia compensada internamente. Operan en un solo suministro de energía en una amplia gama de voltajes. Poseen la particularidad de un bajo consumo de corriente, la cual es de 375[uA], adicionalmente permiten un rango de alimentación simple de +3 a +30[V] y una alimentación con fuente partida de 1.5 a 15[V].

En la siguiente imagen se puede visualizar la distribución de los pines del CI mencionado y su encapsulado comercial en montaje superficial.

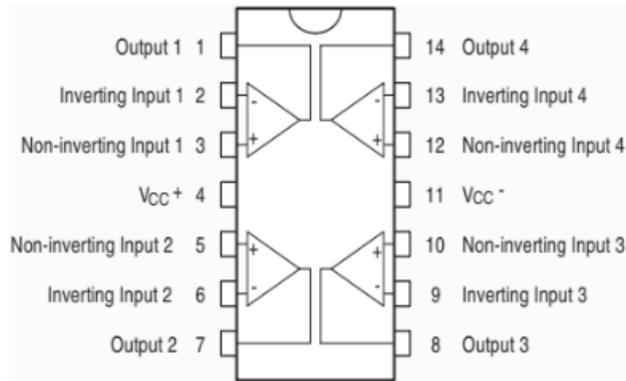


Ilustración 17 - Encapsulado en SMD del LM324 y su respectivo pinout. [6]

Finalizando con esta sección, se provee al circuito esquemático utilizado para el diseño en placa, donde se dispuso de una bornera de tres pines, un pin para cada entrada analógica y un pin derivado a masa en caso de que la entrada lo requiera.

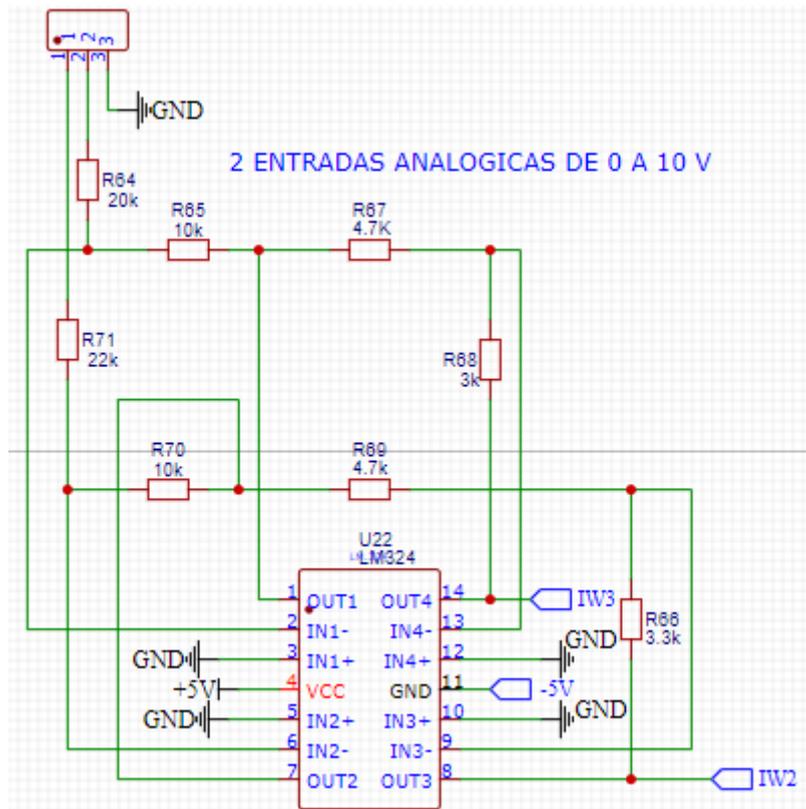


Ilustración 18 - Circuito esquemático para las entradas analógicas de 0 a 10 [V].

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

2.1.3 Entradas analógicas de 4 a 20 [mA].

Una vez analizada las entradas analógicas enfocadas en la variación de voltaje, se procede a estudiar la variación de la corriente. Para ello, será necesario utilizar el lazo cerrado de corriente de 4 a 20 [mA], el cual convertirá la señal de corriente en valores de 0 a 3.3[V] para que la variación pueda ser procesada por la placa de desarrollo.

Este tipo de sistema es utilizado para conectar señales de proceso a un controlador en aplicaciones industriales. Un transmisor de lazo mide una variable del proceso y regula la corriente de lazo entre 0,004 y 0,02 A, (4 [mA] a 20 [mA]), mediante la modificación de la oposición al flujo de corriente del lazo. Los transmisores de lazo pueden medir casi cualquier variable del proceso; alguno de ellos son la temperatura, la presión, el nivel o el flujo. Es por ello, que se utilizan sensores de estas variables para medir los cambios de sus valores. Estos sensores pueden ser activos o pasivos. El sensor activo tiene su propia entrada de alimentación externa, más dos hilos de salida 4-20 [mA] que se conectan directamente al equipo receptor. Mientras que, los sensores pasivos de dos hilos no necesitan fuente de alimentación externa, ya que se alimentan a través de la energía otorgada por el equipo receptor.

El circuito acondicionador implementado para adaptar la señal de entrada basa su funcionamiento en la ley de ohm, una ley que determina la relación entre tensión, corriente y resistencia en un circuito eléctrico.

Paralela a la entrada de corriente, se coloca una resistencia de 100[Ω], denominada resistor de detección de corriente, o derivador; donde por ella circulará la corriente en el rango de 4 a 20 [mA]. Por lo tanto, al utilizar la ley mencionada que establece que la diferencia de potencial V que se aplica entre los extremos de un conductor es directamente proporcional al producto entre la intensidad de la corriente que circula por este y la resistencia eléctrica.

$$V = I * R$$

Al conocer el valor de la resistencia y la corriente que circula por este conductor, podremos obtener el valor de tensión máximo y mínimo, pudiendo definir un rango establecido de variación de tensión.

$$V_1 = 0.004[A] * 100[\Omega] = 0.4[V]$$

$$V_2 = 0.02[A] * 100[\Omega] = 2[V]$$

Como se trata de una medición de corriente, a la salida de la resistencia de medición se plantea la configuración del amplificador operacional diferencial, debido a que esta implementación presenta rechazo de señal común, permitiendo que el amplificador rechace cualquier señal que sea común a ambas entradas. Resulta útil para eliminar el

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

ruido o interferencia presente en ambas señales, en este caso, en los extremos de la resistencia paralela a la entrada. Otra de las ventajas a considerar en este modo diferencial es la detección que posee en señales débiles, realizando mediciones de precisión. Del mismo modo, se consideran lineales en una amplia gama de señales de entrada, lo que provoca que la salida sea proporcional a la diferencia de voltaje de entrada.

A continuación, se visualiza la configuración utilizada donde la relación de ganancia en el modo diferencial es unitaria.

$$G = \frac{R2}{R1} = \frac{R4}{R3} = 1$$

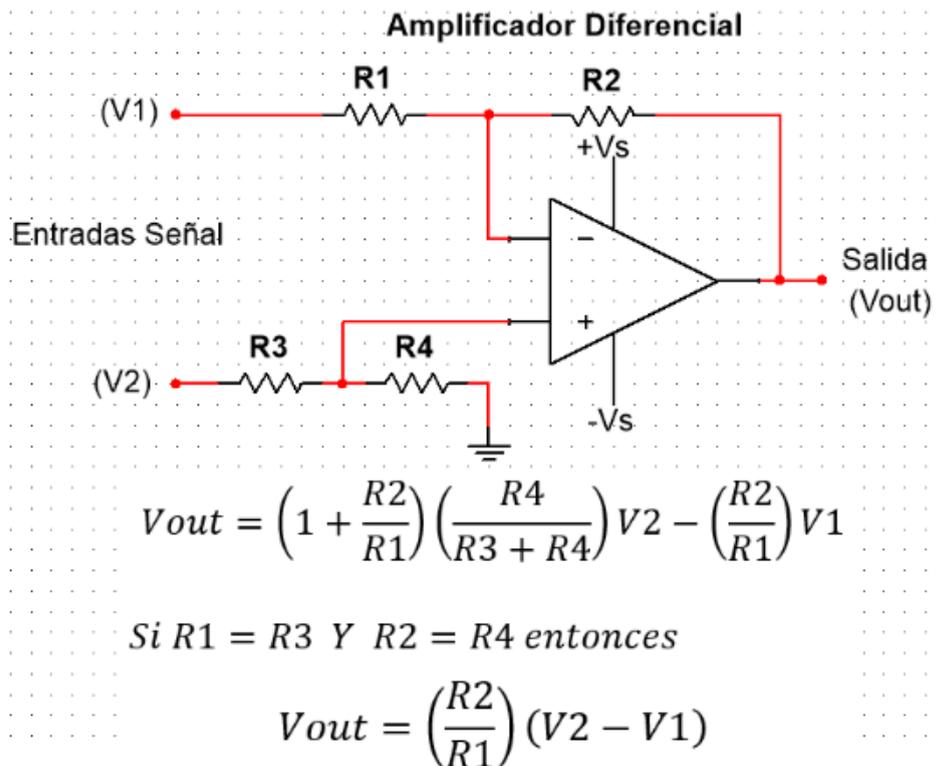


Ilustración 19 - Amplificador operacional en modo diferencial con ganancia unitaria.

Producto de la igualdad en el valor de las resistencias, el voltaje de salida estará determinado por la diferencia de las entradas y la ganancia unitaria. A esta configuración se la conoce también como amplificador restador.

$$V_{out} = V2 - V1$$

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

Una vez obtenida una señal libre de ruido e interferencias, se procede a plantear un amplificador operacional en modo no inversor para obtener a la salida valores de tensión que puedan ser procesados por el microcontrolador. Por ende, se eligió una ganancia de 1.5, para transformar el valor máximo de 2[V] a 3[V].

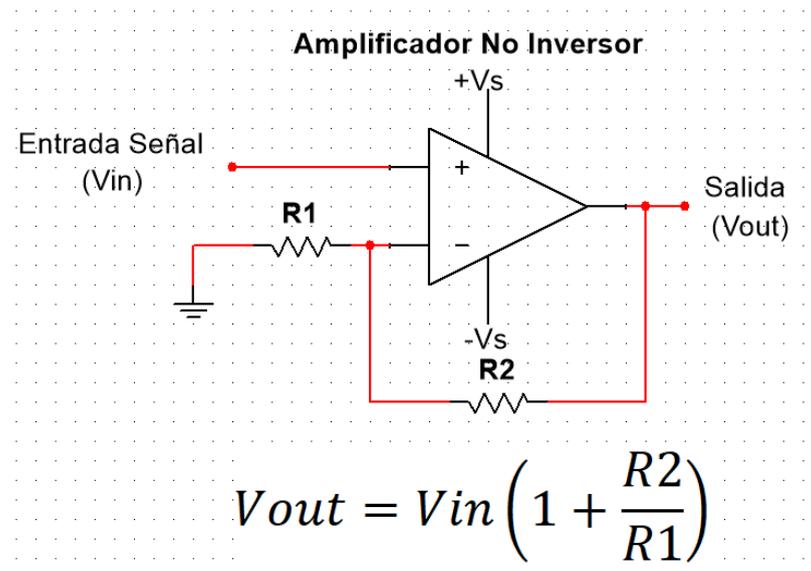


Ilustración 20 - Amplificador operacional en modo no inversor.

Para obtener esta ganancia se optó por el valor de 15[kΩ] y 7.5[kΩ]. En las siguientes imágenes se puede visualizar la simulación del circuito diseñado con Proteus, donde se verifican los valores calculados para la salida. Para ello se utilizó una fuente de corriente que varía su valor según se requiera.

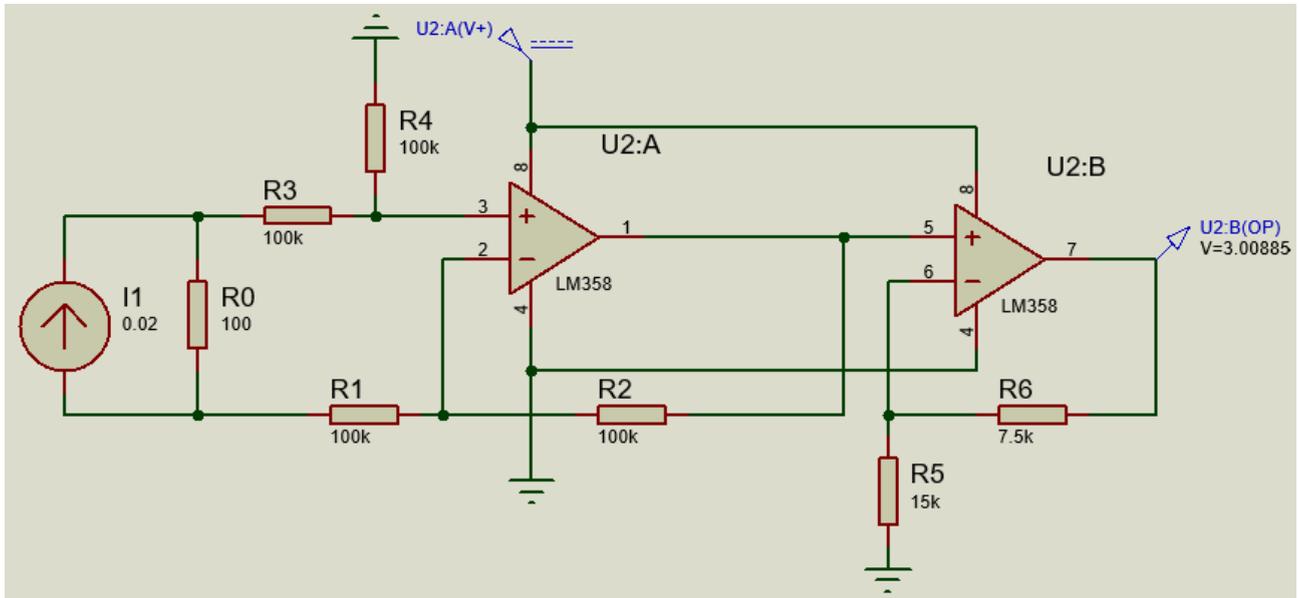


Ilustración 21 - Simulación de entrada analógica con valor de 20[mA].

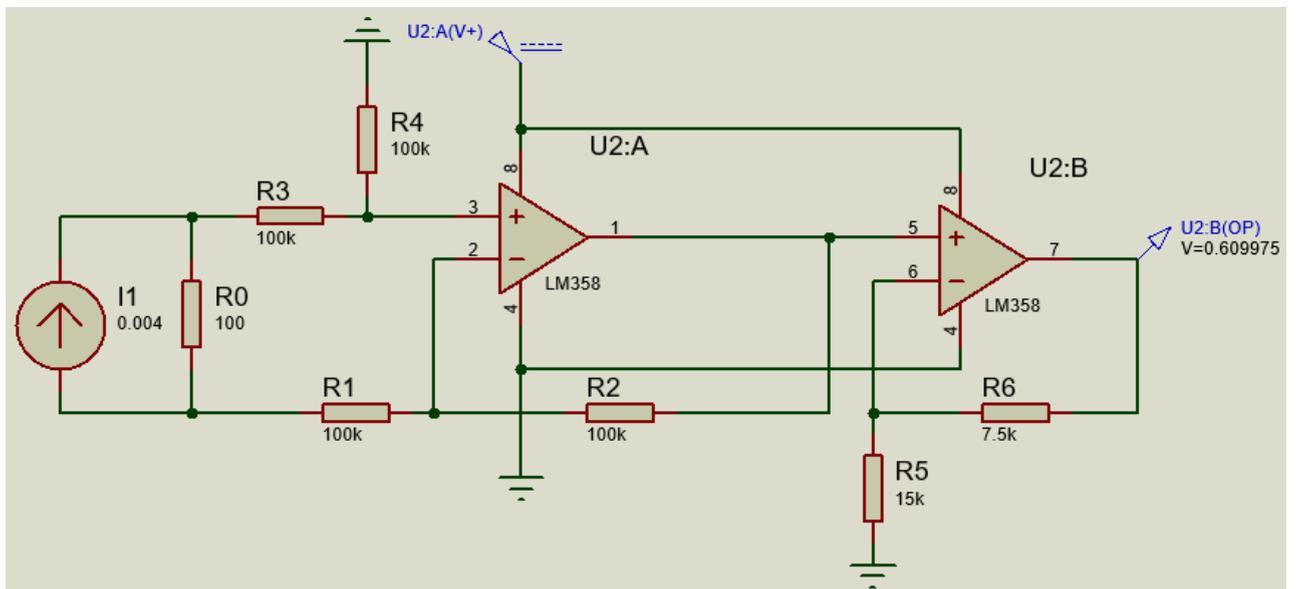


Ilustración 22 - Simulación de entrada analógica con valor de 4[mA].

En el diseño de la PCB se utilizaron resistencias SMD de 1/8[W], excepto las de 100[Ω], donde se colocaron de 1[W]. Por otro lado, el amplificador operacional utilizado es el CI LM324, mencionado anteriormente. Con la diferencia de que, en esta sección, se alimenta a fuente simple con 0 en el voltaje negativo y +5 en el voltaje positivo. Adicionalmente se



colocaron dos borneras de dos pines que se posicionaron en el exterior del gabinete del PLC diseñado, accesibles para el usuario.

La distribución del circuito esquemático se puede corroborar en la siguiente figura.

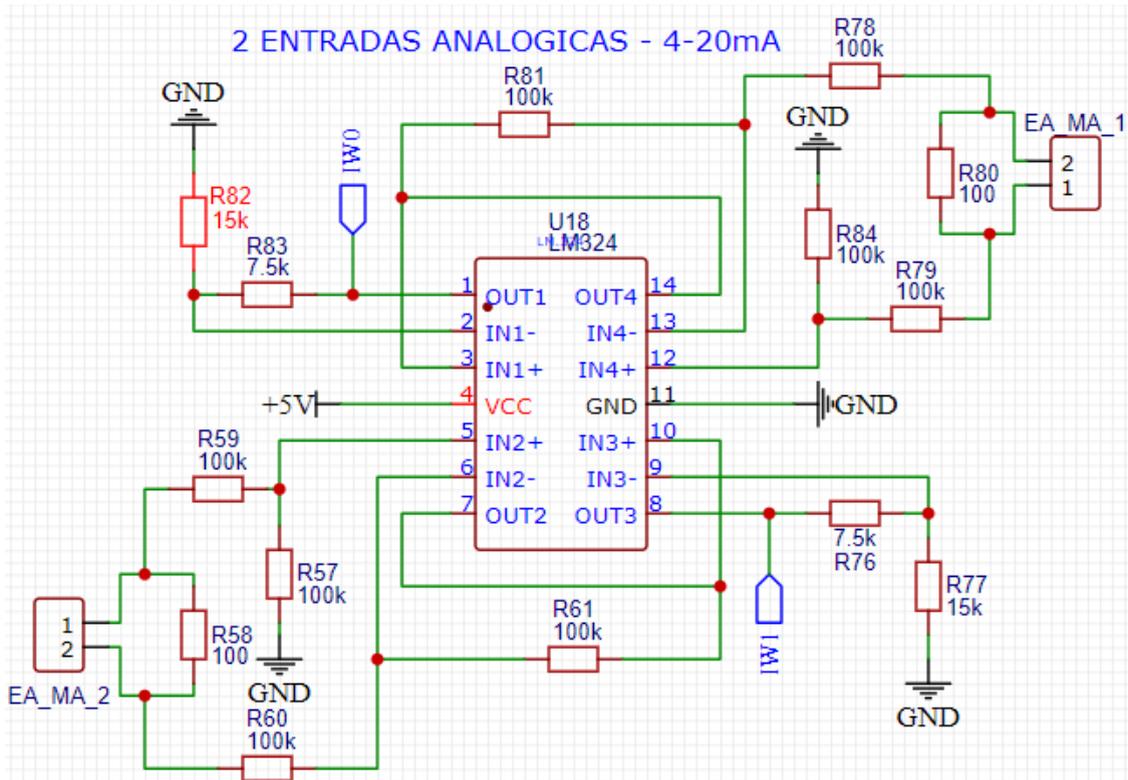


Ilustración 23 - Circuito esquemático para las entradas analógicas de 4 a 20 [mA].

2.1.4 Salidas digitales a Relé.

Analizadas las entradas del prototipo diseñado, se profundizará en las salidas digitales que permitirán la activación o desactivación de los elementos que se encuentren conectados a estas. Los relés y transistores son los encargados de activar estas salidas, dependiendo de la aplicación que se requiera realizar, se utilizará una u otra. En esta sección se desarrollarán las salidas activadas por relé.

Se encuentran siete salidas digitales controladas a relé. La configuración de cada una de ellas está determinada por el CI UNL 2003AD, conformado por un conjunto Darlington el cual soporta un voltaje de entrada de 30 [V] y un voltaje de salida de 50[V]. Además, soportan una corriente de 500[mA] y picos de 600[mA]. Este CI incluye diodos de supresión para inducción y conducción de carga activa. Este diodo en antiparalelo protege al circuito de la bobina del relé, debido a que esta se opone al cambio de corriente produciendo un pico de tensión inversa que puede alcanzar hasta diez veces su tensión

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

de alimentación denominada fuerza contraelectromotriz (fcm). Este pico de tensión inversa, por más lapso de tiempo breve que sea, puede llegar a dañar el semiconductor si se supera la tensión máxima de operación del mismo. En estos picos de tensión entra en conducción el diodo de protección absorbiendo el pico inverso, protegiendo el conjunto de transistores Darlington.

A la salida del CI descrito, en cada salida se colocó un relé con 5[VDC] para su bobina de activación marca Tongling modelo JQC-3FF-S-Z, el cual tiene la capacidad de soportar 10[A] y 250[VAC] en su pin de contacto NC. El material de contacto es de aleación de plata, donde tiene una corriente máxima de 15[A] y el máximo voltaje es de 250[VAC] y 30[VDC]. Poseen una vida útil de 100 mil operaciones eléctricas y 10 millones de operaciones mecánicas. Paralelo a este relé, se dispuso un diodo led indicador con su respectiva resistencia limitadora de corriente de 1[kΩ]. Ambos elementos mencionados en montaje superficial.

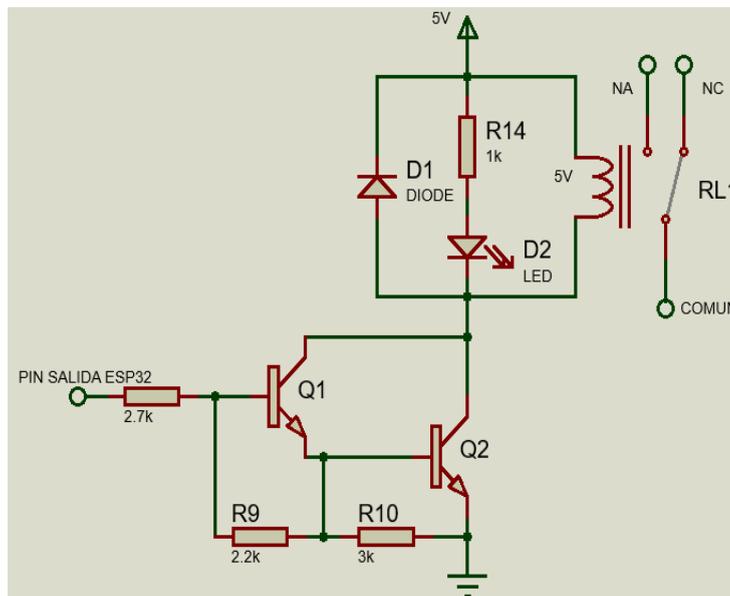


Ilustración 24 - Configuración utilizada para una entrada digital.

El conjunto Darlington, junto con sus resistencias de polarización y el diodo en antiparalelo pertenecen a la configuración interna del circuito integrado mencionado con anterioridad. En la siguiente imagen se puede visualizar lo analizado.

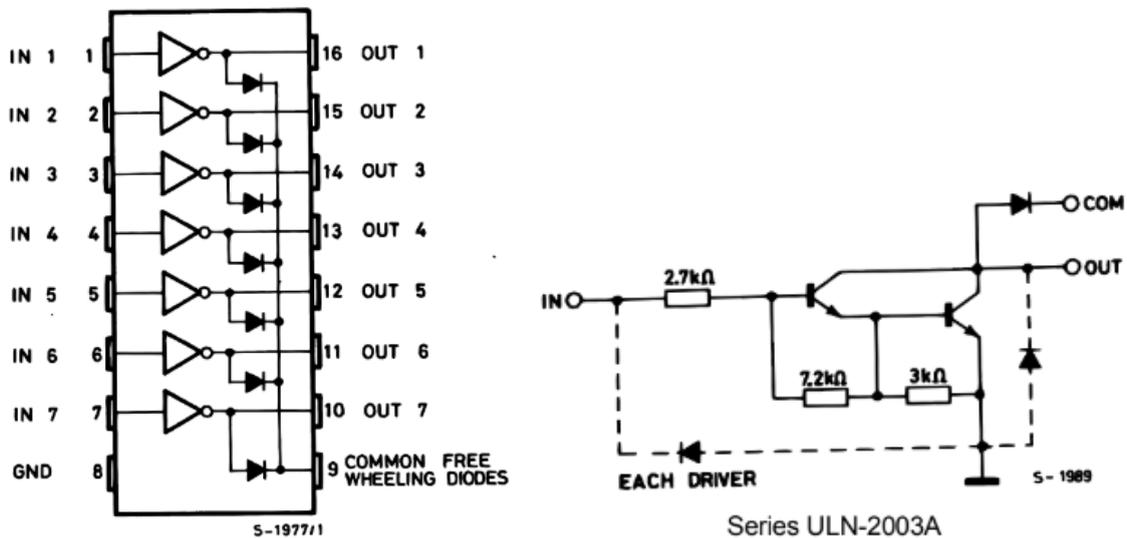


Ilustración 25 - Salida de pines y configuración interna del CI UNL2003A. [7]

Este dispositivo se adquirió con el encapsulado DIP-16. Se menciona que posee un común junto con los diodos de protección correspondiente a la alimentación positiva, la cual es de +5[V] debido a que este modelo se corresponde a tecnologías TTL y CMOS. Los pines de entrada (IN X) de este CI corresponden a los pines definidos para las salidas digitales del ESP32 que introducen el estado alto o bajo. Cinco de las salidas digitales poseen el pin común (COM) y normal abierto (NA), mientras que las dos restantes se encuentran con tres pines en su salida: COM, NA y normal cerrado (NC).

Una de las opciones que se consideró para la activación de este tipo de entrada fue colocar solo un transistor junto a su resistencia de polarización y el diodo de protección en antiparalelo, pero luego, investigando acerca de las opciones que ofrecía el mercado sobre los CI, el UNL-2003A resultó ser lo que se estaba buscando, provocando que se descartara la opción mencionada. El conjunto Darlington de este CI nos permite trabajar con una mayor corriente, eliminando las limitaciones.

La contrapartida de la salida a relé es que se trata de un sistema mecánico con un cierto retardo (milisegundos) y un desgaste asociado a cada conmutación. Por ello, se plantean dos salidas digitales a transistor, en caso de que se requiera de varias conmutaciones en un corto período de tiempo.

2.1.5 Salidas digitales a transistor.

Una vez analizada las salidas digitales a relé, elemento electromecánico, se continuará con el diseño de las salidas que se activan mediante el transistor. La salida a transistor es un elemento electrónico, por lo que no tiene ningún tipo de desgaste mecánico apreciable. Permite en la práctica un número infinito de conmutaciones, prácticamente instantáneas.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

Sin embargo, esta se encuentra limitada en cuanto a la tensión que puede conmutar, siendo habitual 30[VDC] como máximo, siempre en continua. Las salidas transistor son habituales en controles tipo PID donde el número de conmutaciones por hora es muy elevado o para codificar señales binarias.

La adaptación de la señal esta determinada por el optoacoplador descripto PC817C, con el capacitor cerámico que permite una mayor estabilidad en la conmutación del fotodiodo, y la resistencia de 470[Ω] de manera de limitar la corriente proveniente del microcontrolador.

La etapa de potencia de esta sección está determinada por el transistor de efecto de campo metal-óxido semiconductor MOSFET por sus siglas en ingles. Se utilizó el MOSFET IRF540. Actúa como un interruptor, proporcionando señales de un voltaje determinado durante un corto período de tiempo.

La estructura MOS está compuesta de dos terminales y tres capas. Un sustrato de silicio, dopado p o n, sobre el cual se genera una capa de Oxido de Silicio (SiO₂) que, posee características dieléctricas y aislantes, lo que presenta una alta impedancia de entrada. Por último, sobre esta capa se coloca una capa de Metal (Aluminio o polisilicio), que posee características conductoras. En la parte inferior se coloca un contacto óhmico, en contacto con la cápsula. Se optó por estos transistores debido a que la estructura MOS permite crear una densidad de portadores libres suficiente para sustentar una corriente eléctrica.

Se utilizará un transistor MOSFET de canal N, cuanto mayor sea la tensión de puerta (Gate) mayor será el campo eléctrico y, por tanto, la carga en el canal. Una vez creado el canal, la corriente se origina aplicando una tensión positiva en el drenador (Drain) respecto a la tensión de la fuente (Source). En la siguiente figura, se puede visualizar lo comentado.

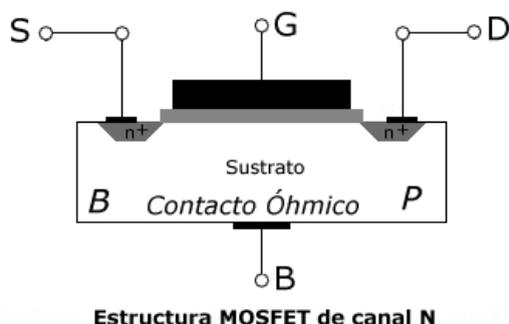


Ilustración 26 - Estructura MOSFET de canal N.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

Acerca del transistor elegido, este soporta una tensión máxima Drain-Source de 100[V], de igual manera para la tensión máxima de Drain-Gate. Por otro lado, la tensión máxima entre las compuertas Gate-Source es de 20[V]. Una de las principales características por las que se eligió este componente es debido a su corriente de drenador, la cual es de 30[A] a 25[°C], permitiendo una disipación de potencia de 150[W]. Por último, trabaja en un rango de temperatura de -65 a 175[°C], lo que permite utilizar este elemento en sectores tanto de baja como alta temperaturas. Se optó por el encapsulado TO220, donde se le colocó un disipador a cada uno.

Como se puede observar en la imagen, la etapa de control se encuentra del lado izquierdo del optoacoplador. Mientras que la de potencia del lado derecho.

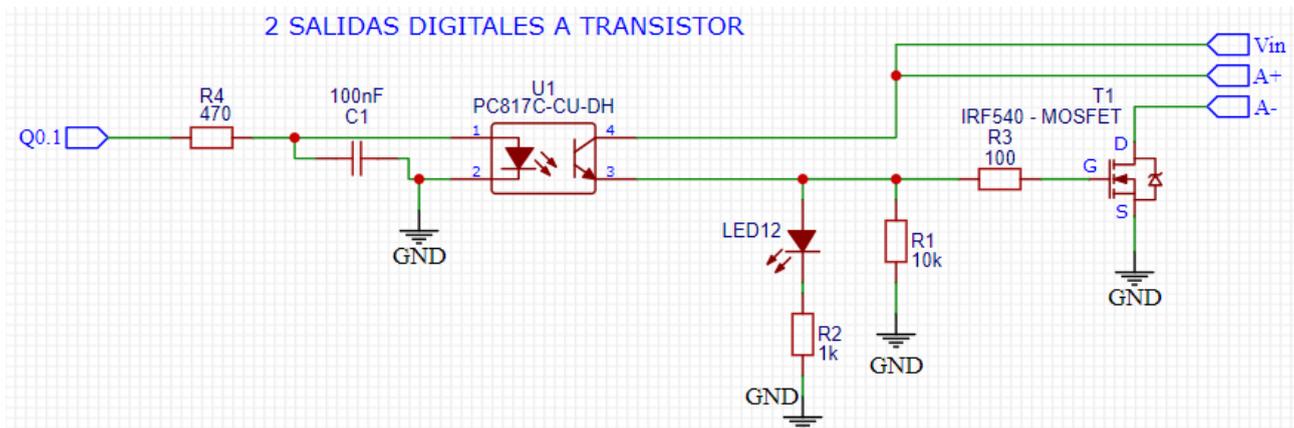


Ilustración 27 - Circuito esquemático para cada salida digital a transistor.

La resistencia de 100[Ω] cumple la función de limitar la corriente, mientras que la de 10[kΩ] se utiliza como pull-down provocando que los estados de alto y bajo se encuentren definidos de manera estable. Adicionalmente, se colocó un diodo LED con su respectiva resistencia de 1[kΩ] como indicador de activación. Se planteó una bornera de cuatro pines para cada salida, establecidas en un terminal block de 10 pines. Se encuentra el voltaje de entrada (Vin), el terminal negativo de la fuente en este caso masa (GND), la alimentación del pulso positivo (A+), la alimentación del pulso negativo (A-).

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

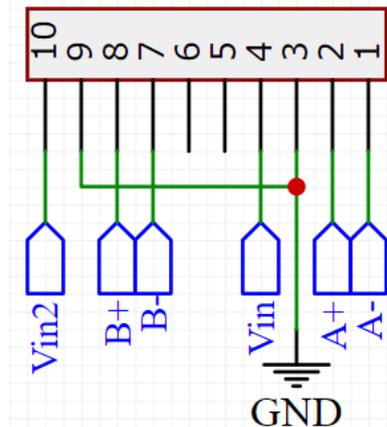


Ilustración 28 - Distribución de pines salidas digitales a transistor.

Estas salidas digitales a transistor son ideadas para poder ser utilizadas como conmutaciones rápidas, en las cuales se requiera generar señales de pulso en el driver de un motor de continua, o en alguna aplicación específica que se utilice esta señal cuadrada. Donde mediante el microcontrolador se podrá controlar la frecuencia de trabajo. Adicionalmente, estas salidas pueden ser utilizadas como PWM (modulación por ancho de pulso), donde la programación del micro permite que se definan los ciclos de duración de cada período.

2.1.6 Salidas analógicas de 0 a 10[V].

Analizadas las salidas digitales, se plantean las dos salidas analógicas con una variación de 0 a 10[V]. En el diseño de este prototipo, se implementó la configuración del amplificador operacional en modo no inversor, de manera que la ganancia triplique el valor de salida del microcontrolador, ya que sus valores pueden variar de 0 a 3.3[V]. Por lo tanto, se calcula la ganancia a obtener y las resistencias necesarias para obtenerla.

$$G = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{10}{3.3} = 3.3$$

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{27000}{12000} = 3.25$$

$$G = 3.25$$

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

Utilizando las resistencias de 27[k Ω] y 12[k Ω], se obtiene la ganancia deseada. Se debe considerar que la alimentación utilizada para el amplificador en esta sección es de 12[V] en el voltaje positivo y GND en el voltaje negativo, para que a su salida nos pueda brindar el valor de tensión calculado. En la siguiente figura se puede visualizar la configuración con el conexionado de su respectiva bornera.

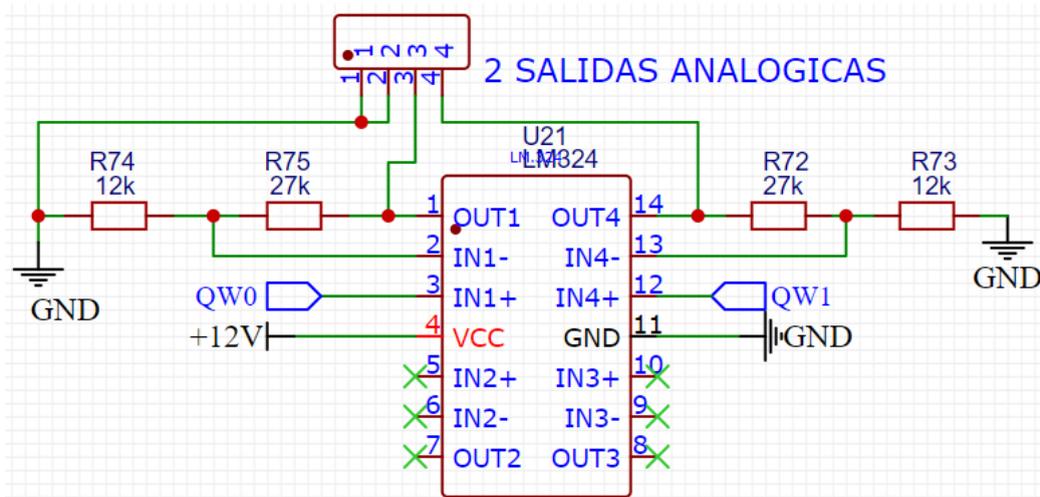


Ilustración 29 - Circuito esquemático de las salidas analógicas de 0 a 10 [V].

Se diseñaron dos salidas analógicas, ambas conectadas a una bornera de 4 pines. Las resistencias utilizadas se encuentran con el encapsulado en SMD, mientras que se utilizó el amplificador LM324 ya descrito. Como se verá en el siguiente capítulo del desarrollo, el microcontrolador posee dos conversores digitales a analógico (DAC), es por ello por lo que solo se plantearon dos salidas de este tipo.

2.2 Módulo ESP32.

2.2.1 Módulo ESP32 – Descripción general.

Para el procesamiento de las entradas y salidas digitales y analógicas se utiliza la placa de desarrollo ESP32 DevKit V4, la cual es una placa de 5[cm] de largo, por 2[cm] de ancho. Utiliza el chip ESP32 de Espressif Systems. Este microcontrolador posee el microprocesador Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 con 600 DMIPS, el cual tiene la particularidad de tener un bajo consumo energético y encontrarse a un precio accesible en el mercado. Tiene capacidad de conectividad inalámbrica integrada, como Wi-Fi y Bluetooth.

El DevKit V4 incluye un módulo ESP32-WROOM-32D, que tiene un procesador de doble núcleo a 240[MHz], 4 [MB] de memoria flash y 520[KB] de SRAM. Esta placa contiene un conector micro-USB para la alimentación de 5[V] y carga del programa, una antena PCB



integrada para la conectividad inalámbrica, una ranura de tarjeta microSD compatible con tarjetas de hasta 4[GB] y 34 pines GPIO (Interfaces de entrada-salida) para la conexión de dispositivos externos, incluyendo en ellos pines de entrada analógica y PWM, comunicación UART (2 pines), SPI (4 pines), I2C (2 pines), I2S (2 pines), ADC de 12 bits, DAC de 8 bits, y alimentación de 3.3[V]. Adicionalmente, es compatible con el entorno de desarrollo Arduino y con el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Espressif. A continuación, se podrá visualizar la distribución de pines de lo comentado.

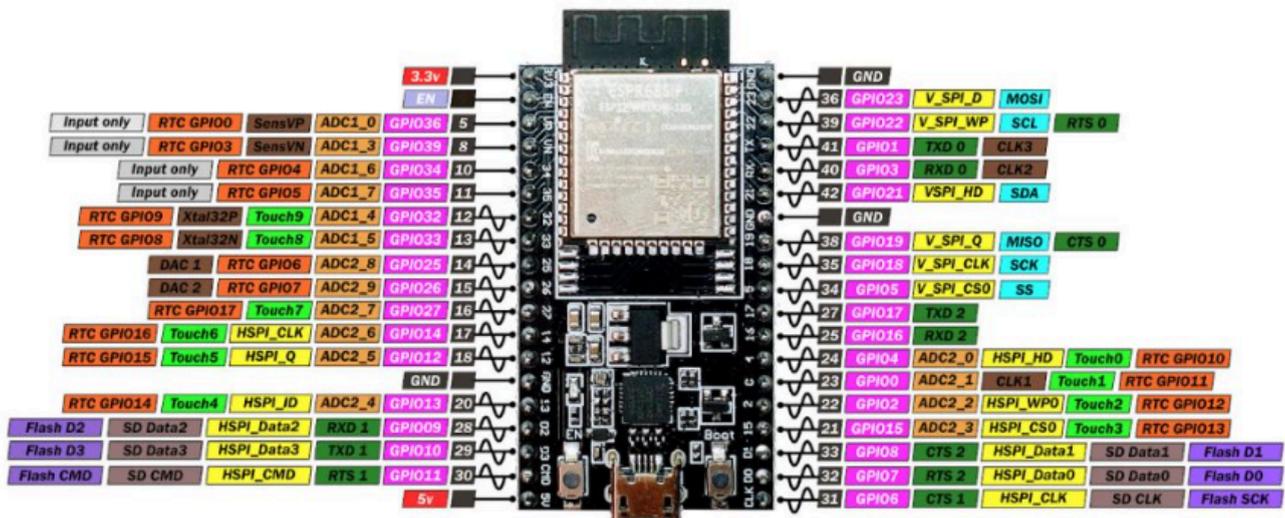


Ilustración 30 - Distribución de pines del ESP32 DevKit V4. [8]

- Los pines 5, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23 y 24 son ADC de 12 bits y estos poseen un Real-Time Clock (RTC) interno.
- Los únicos pines que pueden ser configurados como DAC son los números 14 y 15. Como se mencionó en la anterior sección.
- Los pines del 28 al 33 se utilizan para configurar la memoria flash y SD. En este caso, no fueron utilizados.
- El pin 40 y 41 se estableció para comunicación serial RS485 y para posibilitar el agregado de una comunicación RS232 en caso de que se requiera.

Se muestra la distribución de pines del diseño junto a sus borneras.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

En esta sección, procederemos a describir la forma de establecer la conexión WiFi con el módulo ESP32. Para ello, se requiere incluir la librería WiFi.h. Luego, se utilizan las funciones que proporciona esta librería para conectarse a una red, como se muestra en la siguiente figura.

```

#include <WiFi.h>

const char* ssid = "nombre_de_tu_red_wifi";
const char* password = "contraseña_de_tu_red_wifi";

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  // Conectarse a la red WiFi
  WiFi.begin(ssid, password);

  Serial.print("Conectando a ");
  Serial.print(ssid);

  // Esperar a que la conexión se establezca
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }

  // Mostrar dirección IP asignada
  Serial.println("");
  Serial.print("Conexión establecida. Dirección IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}

void loop() {
  // Tu código aquí
}

```

Ilustración 32 - Definición de WiFi en ESP32.

El desarrollo del firmware se ejecutó en el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino mediante la placa de desarrollo mencionada. Es esencial aclarar que este software permite además realizar edición de código, verificación y compilación, gestión de librerías, posee un monitor serie, y configuración del puerto serial. El lenguaje de programación utilizado fue C++.

Una de las alternativas a utilizar como entorno de desarrollo fue Visual Studio creado por Microsoft. Esta plataforma permite el desarrollo de aplicaciones de escritorio, aplicaciones web, aplicaciones móviles y servicios en la nube. Se optó por el Arduino IDE debido al

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

manejo competente y eficiente utilizado en desarrollos anteriores durante el transcurso de la carrera.

De manera de poder definir las entradas y salidas, y realizar las lecturas y escrituras correspondientes, se planteó en tablas las nomenclaturas de cada una de ellas, junto con el pin correspondiente de la placa de desarrollo y su número de I/O asignado. El nombre de variable de la primera columna es el definido como etiqueta en el circuito esquemático, luego la segunda columna es una forma de identificación según el número de entrada o salida, tal como Entrada Digital 1 (ED1). Mientras que, la última columna corresponde a la nomenclatura de la entrada a la placa de desarrollo, la cual tiene dos formas de mencionarlo, mediante el número de IO determinado por la hoja de datos del fabricante, o mediante el número de pin de esta placa. Se colocan ambas, de manera de ubicarse mejor a la hora de realizar la programación.

Tabla 1 - Entradas digitales y analógicas

Entradas Digitales R			Entradas Analógicas		
I0.0	ED1	IO17 - P28	4-20[mA]		
I0.1	ED2	IO33 - P8	IW0	EA1	IO34 - P5
I0.2	ED3	IO19 - P31	IW1	EA2	IO35 - P6
I0.3	ED4	IO14 - P12	0-10[V]		
I0.4	ED5	IO12 - P13	IW2	EA3	IO36 - P3
I0.5	ED6	IO23 - P37	IW3	EA4	IO39 - P4
I0.6	ED7	IO27 - P11			
I0.7	ED8	IO32 - P7			
I1.0	ED9	IO22 - P36			

Tabla 2 - Salidas digitales y analógicas

Salidas Digitales T	Salidas Analógicas
---------------------	--------------------

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

Q0.1	SDT1	IO4 - P26	0-10[V]		
Q0.2	SDT2	IO16 - P27	QW0	SA1	IO25 - P9
Salidas Digitales R			QW1	SA2	IO26 - P10
Q0.3	SDR1	IO5 - P29			
Q0.4	SDR2	IO18 - P30			
Q0.5	SDR3	IO21 - P33			
Q0.6	SDR4	IO13 - P15			
Q0.7	SDR5	IO0 - P25			
Q1.0	SDR6	IO2 - P24			
Q1.1	SDR7	IO15 - P23			

2.2.3 Diagrama de flujo.

Ese estableció el siguiente diagrama de flujo para el funcionamiento del sistema completo:

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

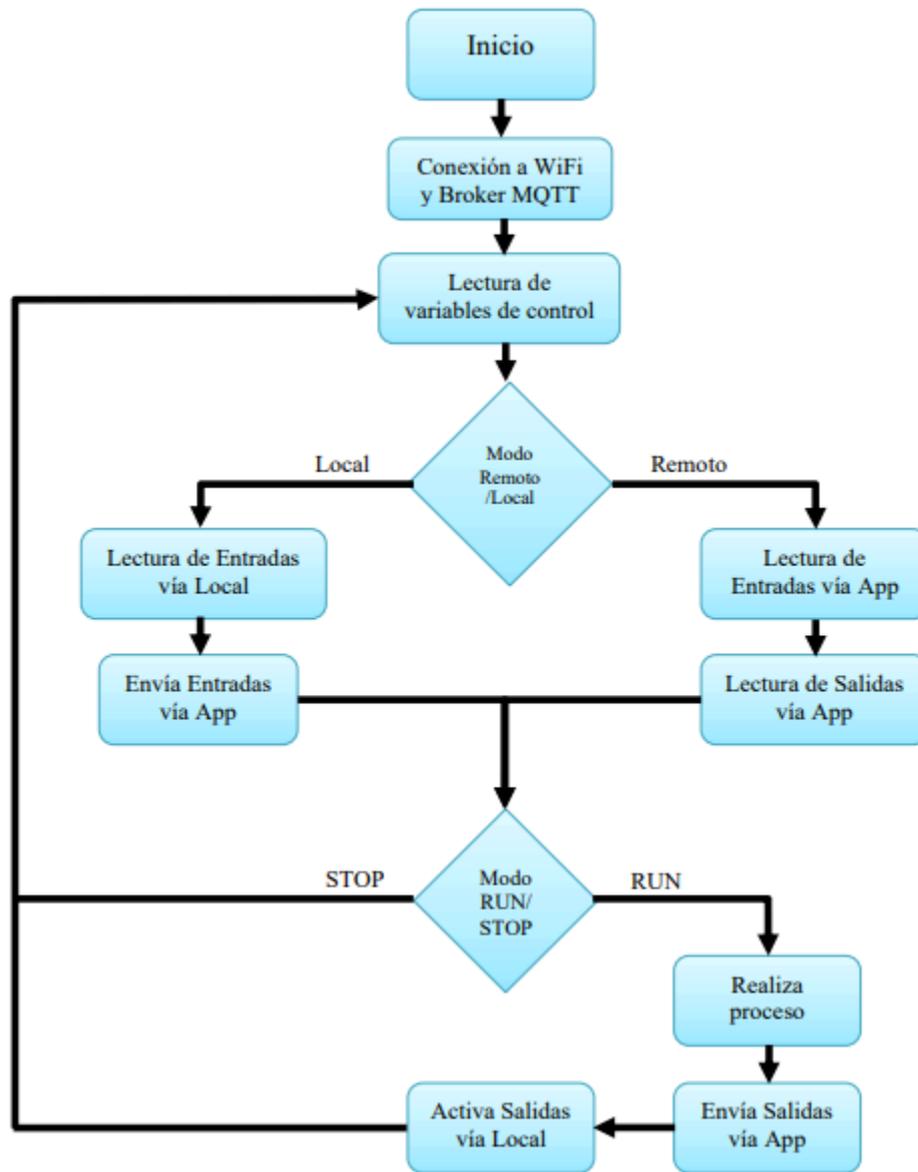


Ilustración 33 - Diagrama de flujo del Módulo ESP32

Su funcionamiento comienza estableciendo conexión a internet mediante red WiFi, cuyos datos se encuentran previamente cargados, para luego proceder con la conexión al broker MQTT. Para ello utilizamos el bróker público EMQX, el cual consta con una licencia gratuita limitada a 1000 sesiones a la vez, entre las que debemos distribuir las 16660 hs mensuales de conexión y 1GB de transferencia de datos mensual. El broker cumple la función de gestionar los mensajes enviados tanto por la aplicación como por el PLC,

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

permitiendo que los demás dispositivos que realicen las consultas reciban dichos mensajes.

Luego se realiza la lectura de las variables de control recibidas desde la aplicación. Esto implica:

- ID del PLC con el que se desea comunicar
- Usuario que desea acceder
- Contraseña del usuario

Si los valores recibidos coinciden con los almacenados localmente dentro del PLC, se habilita la comunicación con la aplicación. Acto seguido, se leerán los valores de control:

- Control Remoto o Local
- Estado activo (RUN) o detenido (STOP) del PLC

En base a los valores obtenidos, el programa realizará dos opciones:

- Control Remoto: el PLC será controlado mediante la aplicación, por lo que se tomarán los valores de entradas y salidas registrados en la misma.
- Control Local: el PLC tomará los valores de las entradas y los enviará a la aplicación para su visualización

Una vez realizadas dichas acciones, se evaluará si realizar los procesos y activación de salidas o no, dependiendo si el PLC se encuentra en modo RUN o STOP, respectivamente. En caso de que no se encuentre en modo activo, volverá a la etapa de lectura de las variables de control.

2.2.4 Funciones establecidas.

El sistema desarrollado cuenta con las siguientes funcionalidades:

- Lectura de variables digitales de 0 a 5, 12 y 24V
- Lectura de variables analógicas de 0 a 10V
- Lectura de variables analógicas de 4 a 20mA
- Salidas digitales a relé de 10A a 250VAC o 30VCC
- Salidas digitales a transistor de 5A 30V
- Salidas analógicas de 0 a 10V
- Comunicación por RS232 y RS485
- Comunicación por WiFi mediante MQTT
- Visualización y control de Entradas/Salidas mediante aplicación
- Control de estado RUN/STOP mediante aplicación

Esto permite que el usuario tenga la capacidad de controlar una amplia variedad de aplicaciones, ya sea que incluyan entradas y salidas digitales, como analógicas. Además,

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

brinda la posibilidad de controlar el estado del PLC de forma remota mediante la aplicación de Android.

2.3 Aplicación Móvil

2.3.1 Protocolo MQTT.

El protocolo de comunicación utilizado para realizar la conexión inalámbrica mediante WiFi desde el microcontrolador con la aplicación móvil es MQTT son las siglas de Message Queuing Telemetry Transport. Se trata de un protocolo de mensajería ligero para usar en casos de clientes que necesitan una huella de código pequeña, que están conectados a redes no fiables o con recursos limitados en cuanto al ancho de banda. Se utiliza principalmente para comunicaciones de máquina a máquina (M2M) o conexiones del tipo de Internet de las cosas. MQTT fue creado originalmente por el Dr. Andy Stanford-Clark y Arlen Nipper en 1999. El propósito original de este método de comunicación era permitir que los dispositivos de monitoreo utilizados en la industria del petróleo y el gas enviaran sus datos a servidores remotos.

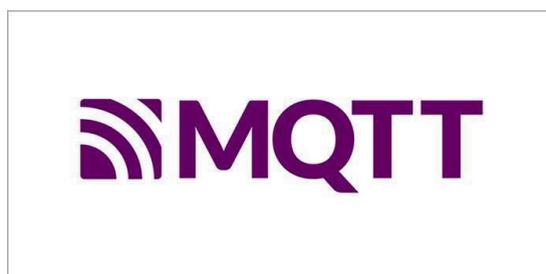


Ilustración 34 - Logo MQTT. [9]

Este protocolo se ejecuta sobre TCP/IP utilizando una topología PUSH/SUBSCRIBE. En la arquitectura MQTT, existen dos tipos de sistemas: clientes y brókeres. Un bróker es el servidor con el que se comunican los clientes: recibe comunicaciones de unos y se las envía a otros. Los clientes no se comunican directamente entre sí, sino que se conectan con el bróker. Cada cliente puede ser un editor, un suscriptor o ambos. Es un protocolo controlado por eventos, donde no hay transmisión de datos periódica o continua. Así se mantiene el volumen de transmisión al mínimo. Un cliente sólo publica cuando hay información para enviar, y un bróker sólo envía información a los suscriptores cuando llegan nuevos datos.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

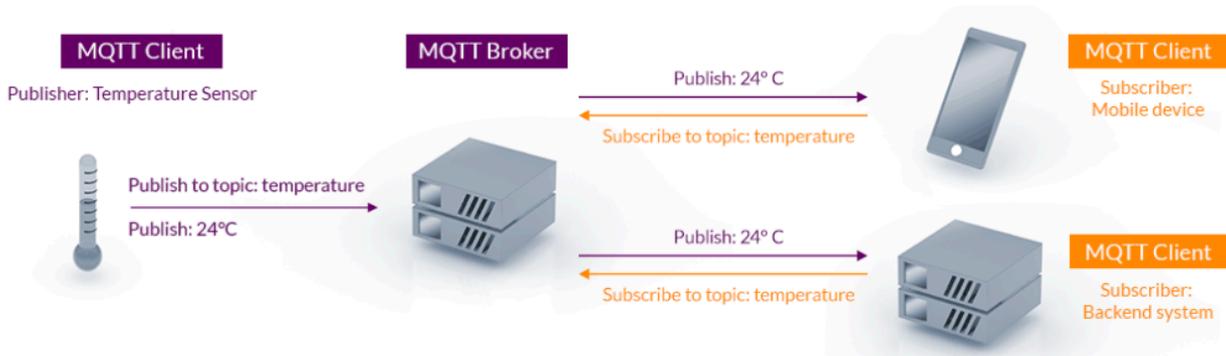


Ilustración 35 - Protocolo MQTT. [9]

Otra forma en que MQTT minimiza sus transmisiones es con un tamaño de mensaje pequeño y bien definido. Cada mensaje tiene un encabezado fijo de apenas 2 bytes. La carga útil del mensaje está limitada a 256 MB. Tres niveles diferentes de calidad de servicio (QoS) permiten a los diseñadores de redes elegir entre minimizar la transmisión de datos y maximizar la fiabilidad.

- **QoS 0:** ofrece la cantidad mínima de transmisión de datos. Con este nivel, cada mensaje se entrega a un suscriptor una vez, sin confirmación, por lo que no hay forma de saber si los suscriptores recibieron el mensaje.
- **QoS 1:** el bróker intenta entregar el mensaje y, luego, espera una respuesta de confirmación del suscriptor. Si no se recibe una confirmación dentro de un período de tiempo especificado, el mensaje se envía de nuevo.
- **QoS 2:** el cliente y el bróker utilizan un protocolo de enlace de cuatro pasos para garantizar no sólo que el mensaje se reciba, sino que lo haga una única vez.

QoS 0 puede ser una opción para situaciones donde las comunicaciones son fiables pero limitadas. En aquellos casos en que las comunicaciones no sean fiables, pero donde las conexiones tampoco gozan de recursos limitados, QoS 2 sería la mejor opción. QoS 1 proporciona una solución entre ambas metodologías, pero requiere que la aplicación que recibe los datos sepa cómo gestionar los duplicados. Por último, cabe aclarar que los mensajes dentro de MQTT se publican como temas. Los temas son estructuras en una jerarquía que utilizan el carácter de barra (/) como delimitador.

2.3.2 Servidor MQTT.

Como servidor o broker MQTT utilizamos el servidor público EMQX broker [10]. Este sitio te permite gestionar un broker MQTT mediante diferentes tipos de licencias. La licencia gratuita brinda lo siguiente:

- 1000 sesiones activas
- 1 millón de minutos mensuales

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

- 1GB de transferencia de datos mensual

En caso de que se superen dichos límites, se cobrará un recargo.

Para poder hacer uso del mismo basta con registrarse, elegir una licencia, y automáticamente se activa el servicio.

Deployment Info

Deployment Name: Proyecto_Final_UTN 🗑️ 📄

Plan: Serverless

Tier: 1,000 Sessions / 1,000 TPS

Billing Method: Pay as you go

Spend Limit: \$0.00 Change Spend Limit

Ilustración 36 - Descripción de la licencia de servidor MQTT contratada. [10]

A su vez, cuenta con una interfaz en la que permite suscribirse a tópicos para recibir los mensajes que se estén enviando, como así también generar tópicos y enviar mensajes en los mismos. Esto brinda una mayor facilidad en el control del tráfico, como así también poder realizar pruebas mientras se desarrolla un sistema que haga uso del servicio.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

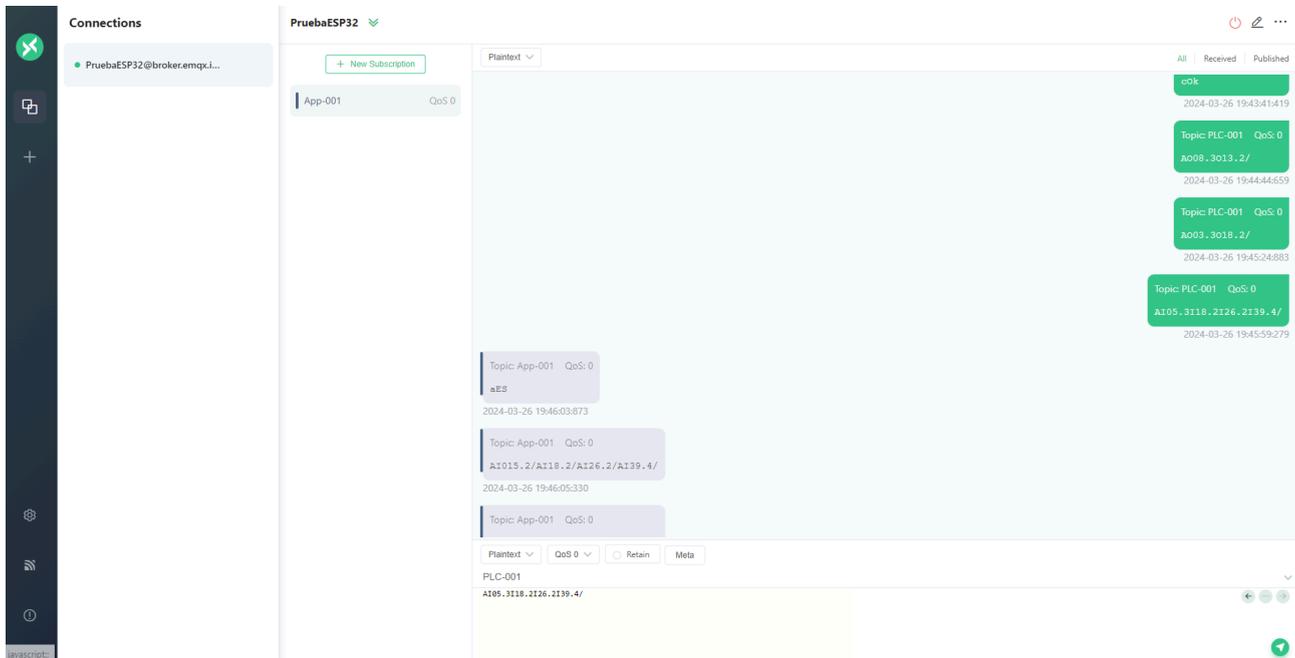


Ilustración 37 - Página web de monitoreo de tráfico de datos MQTT. [11]

2.3.3 App Inventor

Para desarrollar la aplicación de Android se utilizó la plataforma App Inventor, diseñada por el MIT. Este sitio web permite diseñar aplicaciones para dispositivos móviles mediante la programación con bloques. Posee una pestaña destinada al diseño gráfico de la aplicación, y luego se puede proceder a la pestaña de programación de las funciones. A continuación se ilustra su interfaz.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

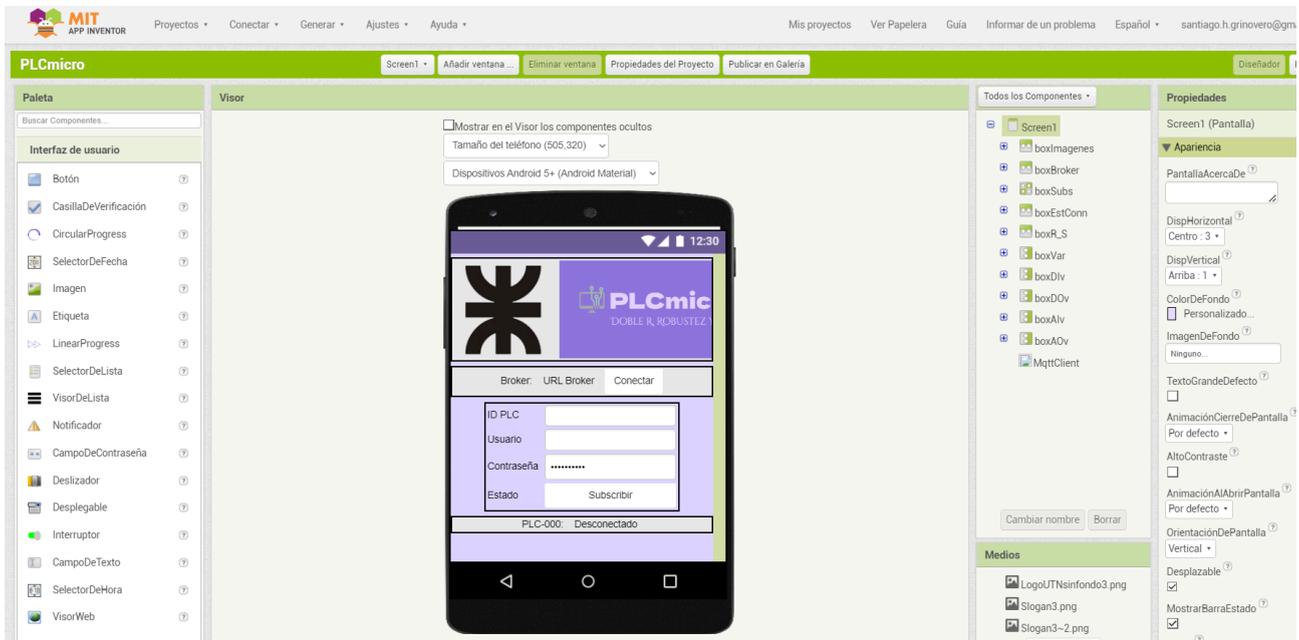


Ilustración 38 - Interfaz de diseño gráfico - App Inventor [12]

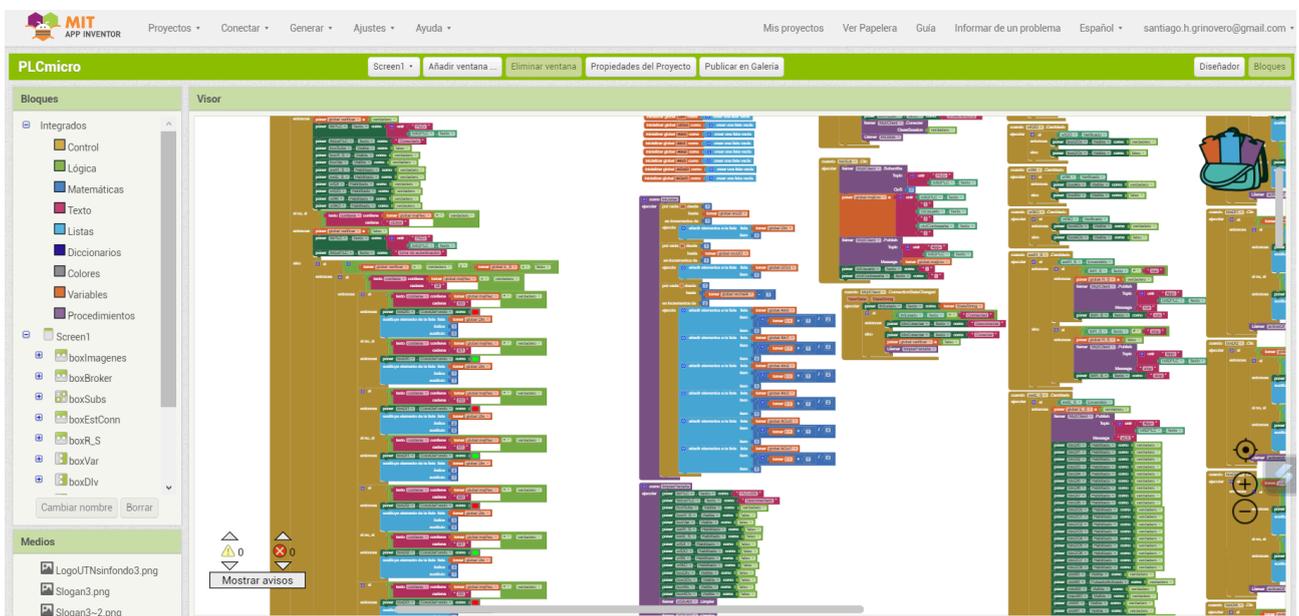


Ilustración 39 - Interfaz de programación - App Inventor [12]

Esta plataforma es gratuita, únicamente requiere registrarse con un usuario. Sumado a esto, tiene una amplia variedad de librerías desarrolladas que permiten ampliar las

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

funciones ya brindadas en el sitio web. Entre ellas se encuentra la librería **UrsPahoMqttClient** [13]. La misma brinda el soporte necesario para generar la comunicación de la aplicación mediante el protocolo MQTT.

2.3.3 Aplicación móvil.

El funcionamiento de la aplicación de Android desarrollada para este proyecto se basa en el siguiente diagrama de flujo.

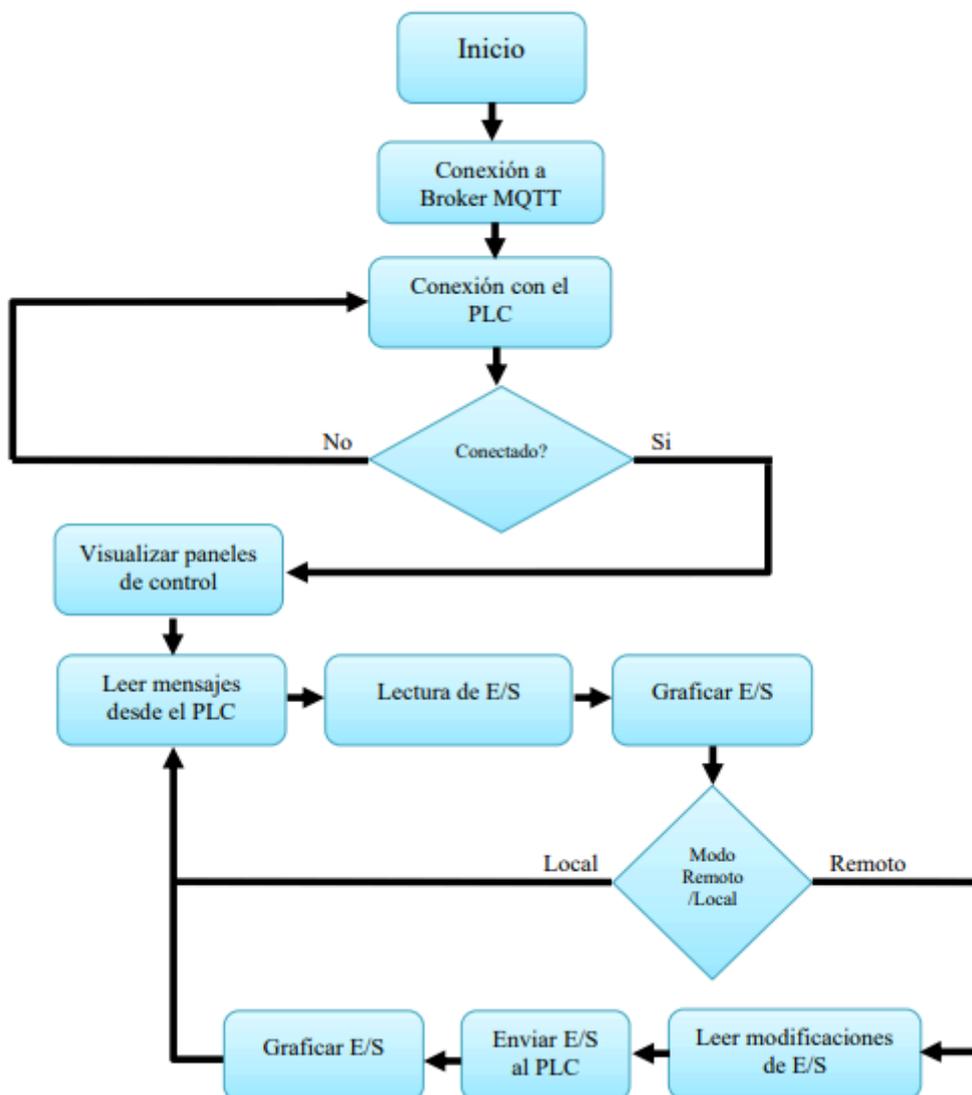


Ilustración 40 - Diagrama de flujo de la Aplicación móvil.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

Dado que la aplicación centra su funcionamiento en la activación mediante señales, su diagrama no sigue un ciclo completamente secuencial. Sin embargo, debido a las restricciones de los distintos actuadores, se puede establecer cierta secuencia en sus procesos.

Primero se comienza realizando la conexión con el servidor MQTT. Una vez conectado, se debe ingresar el ID del PLC a conectar, un usuario con acceso permitido, y su respectiva contraseña. Si desde el PLC se recibe una señal de datos correctos, se activan los controles de modo RUN/STOP, modificación de E/S desde la app, y visualización del estado del PLC. Caso contrario, se muestra un mensaje de error.

Luego, se pueden visualizar los datos del PLC, y si está habilitada la modificación de variables, se puede modificar las variables digitales pulsando los botones correspondientes, o las variables analógicas cambiando el valor de los deslizadores.

En caso de que se desconecte la aplicación del servidor MQTT, se reinician todos los valores y controles tal como se encontraban al inicio. Esto permite no solo conectar otro PLC desde la misma aplicación, sino también mantener la seguridad de los datos del equipo.

A continuación, se muestran capturas de las diferentes etapas y controles de la aplicación.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

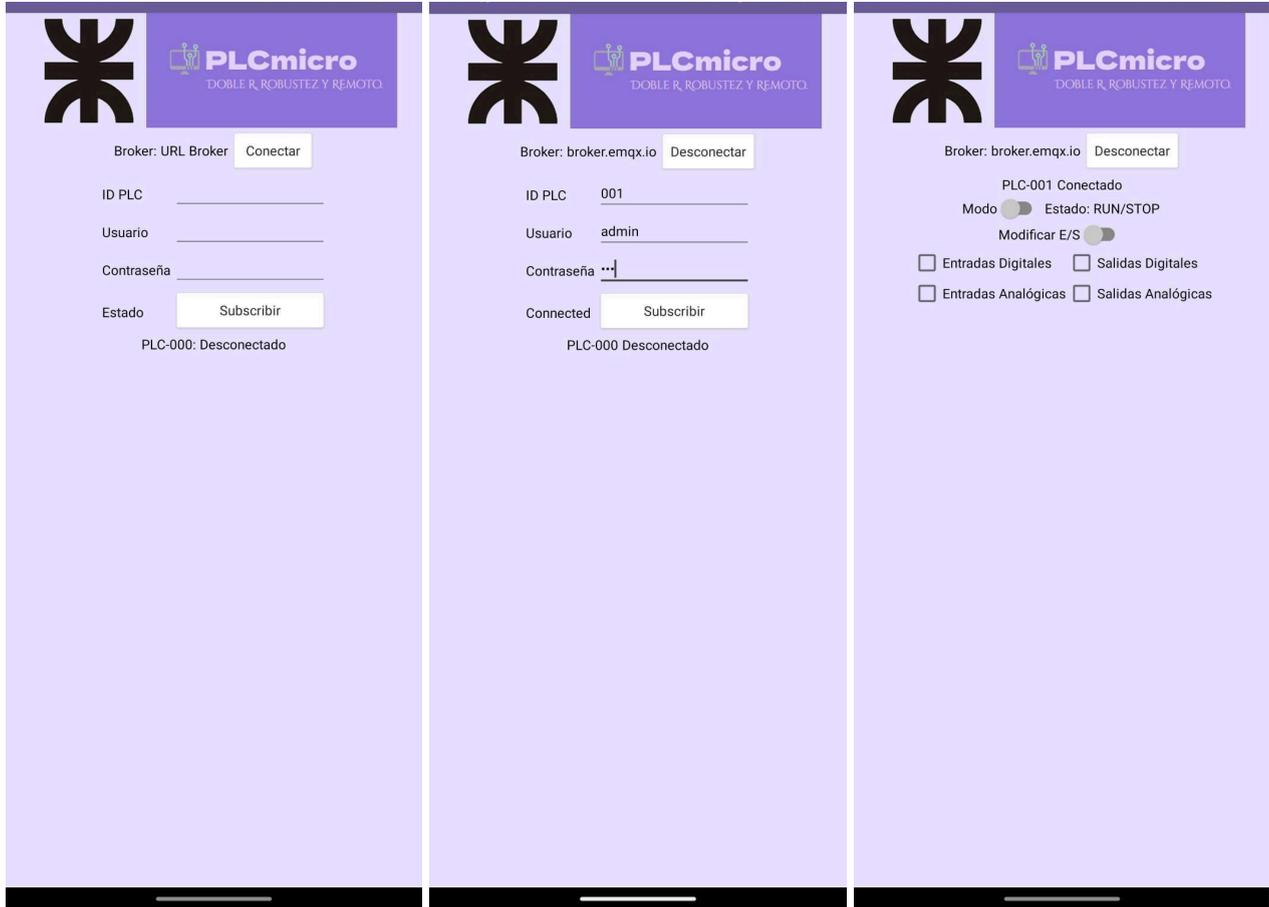


Ilustración 41a, b y c - Pantalla inicial, App conectada al servidor, App conectada al PLC.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

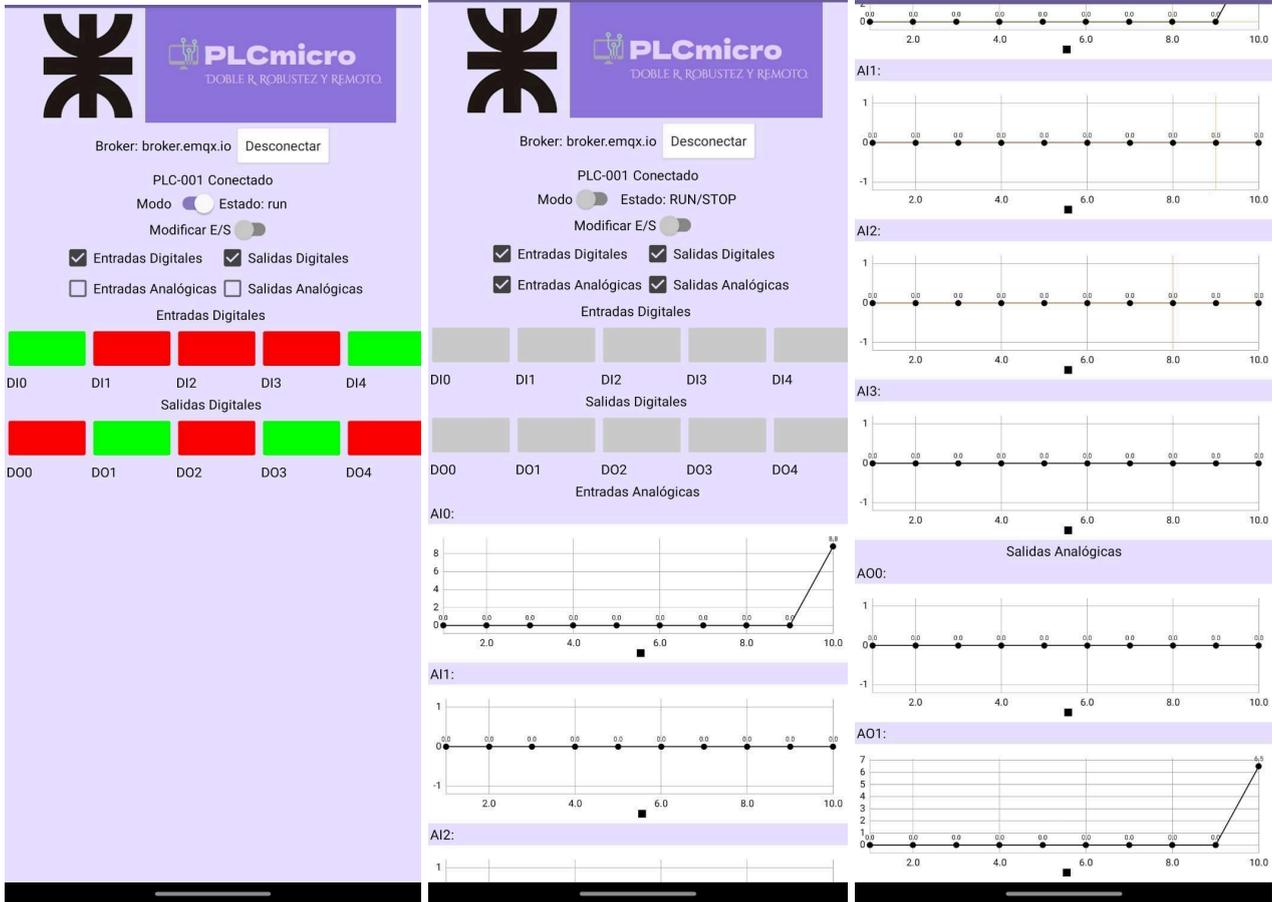


Ilustración 42a, b y c - Ver E/S digitales, modo RUN activo, Ver E/S 1, Ver E/S 2.

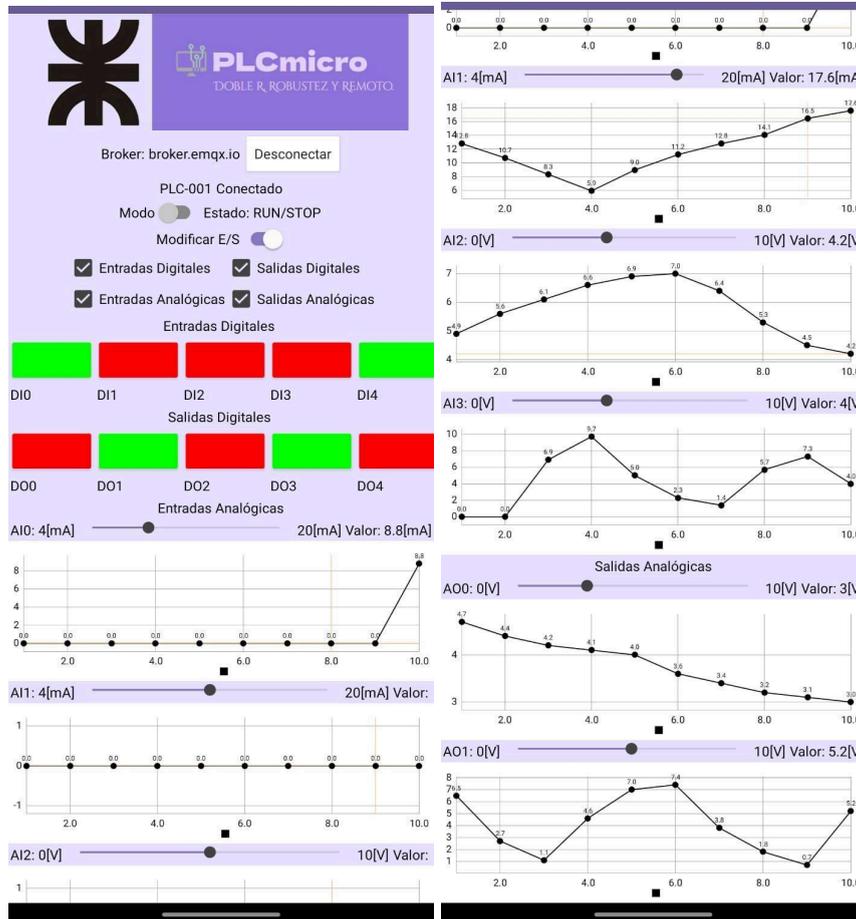


Ilustración 43a y b - Modificar E/S 1, Modificar E/S 2.

2.4 Diseño final PCB.

Finalizada la descripción y visualización del desarrollo de la aplicación móvil, se procederá a mostrar los diseños de las dos placas realizadas. Una dedicada a la etapa de alimentación, la cual con una entrada de 24[V] de continua distribuye 12, 5 y 3.3[V]. Esta configuración es posible mediante los reguladores de tensión LM7812, LM7805 y AMS1117; sus respectivos capacitores de filtrado y estabilización de señal a su salida.

Los diseños obtenidos en la placa de circuito impreso se pueden visualizar en las siguientes figuras.

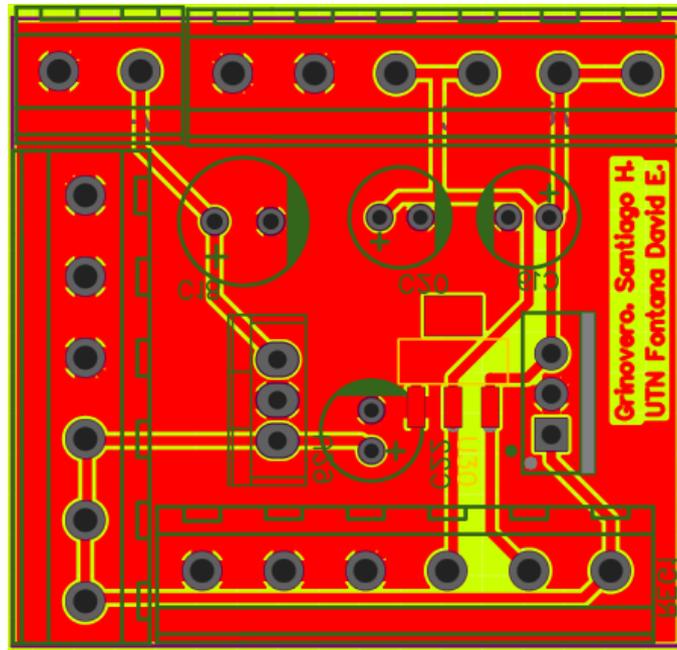


Ilustración 44 - Diseño PCB vista superior.

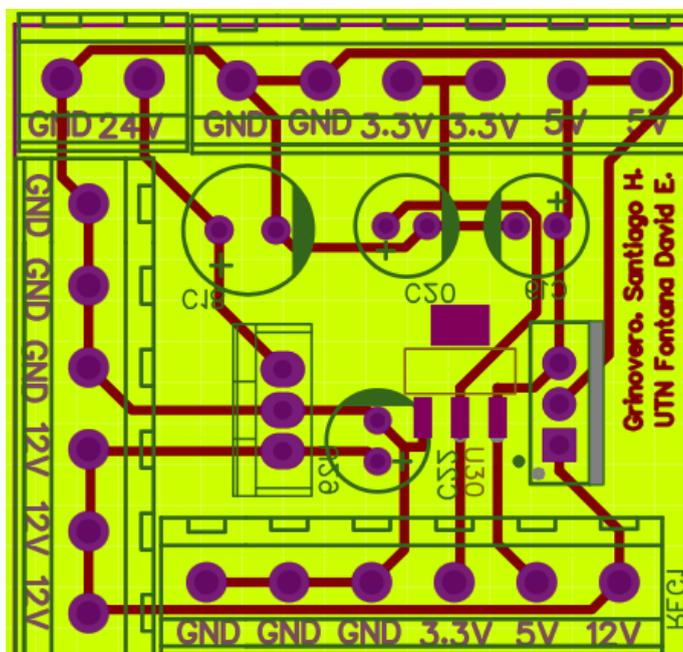


Ilustración 45 - Diseño PCB vista inferior.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

La fuente que alimentará la placa de control fue diseñada para un consumo de 1.5[A] máximo en los terminales de 5 y 12[V], mientras que el regulador de 3.3[V] al ser de SMD soporta una corriente menor, de unos 0.85[A] según la hoja de datos del fabricante. Al implementar una aplicación donde solamente se mostrarán las características de cada entrada y salida, no se requerirá de un diseño para un mayor consumo. Si se necesitase realizar una implementación que requiera una elevada potencia, habría que comenzar con un análisis de consumo en cada entrada y salida, para obtener de este modo la corriente máxima. A partir de ella, se diseñaría la fuente solicitada que cumpla con las protecciones necesarias para el usuario.

2.4.1 Análisis de ruido.

Durante el diseño de las placas a utilizar, se analizó cómo disminuir el ruido de línea de manera de poder obtener un producto que compita a nivel comercial con otros dispositivos. Adicionalmente, se buscó que al momento de utilizarlo las entradas y salidas utilizadas no presenten inestabilidad en sus estados, algún offset acumulado en alguna de sus señales, o en el caso de las salidas conmutadas a transistor que no presenten variaciones en el ciclo de trabajo definido o en la frecuencia establecida.

El ruido eléctrico puede proceder de diversas fuentes, tanto internas como externas a los dispositivos electrónicos. Las fuentes más comunes de ruido eléctrico son todas aquellas que generen energía eléctrica: motores, transformadores y circuitos electrónicos (fuentes de alimentación, módulos fotovoltaicos, etc). Por lo tanto, la mayor fuente de la que podemos tener ruido eléctrico es la propia red, ya que está formada por miles de “pequeños” generadores de electricidad. La formación de campos magnéticos a frecuencias de 50-60 [Hz] con el paso de la corriente por conductores y elementos eléctricos favorece la propagación de ruido eléctrico entre los distintos sistemas.

Otras fuentes secundarias de ruido eléctrico son las variaciones de intensidad provocadas por conexión/desconexión de cargas de alto consumo y la acción de efectos meteorológicos como pueden ser los rayos, provocando estas distorsiones incluso a largas distancias.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

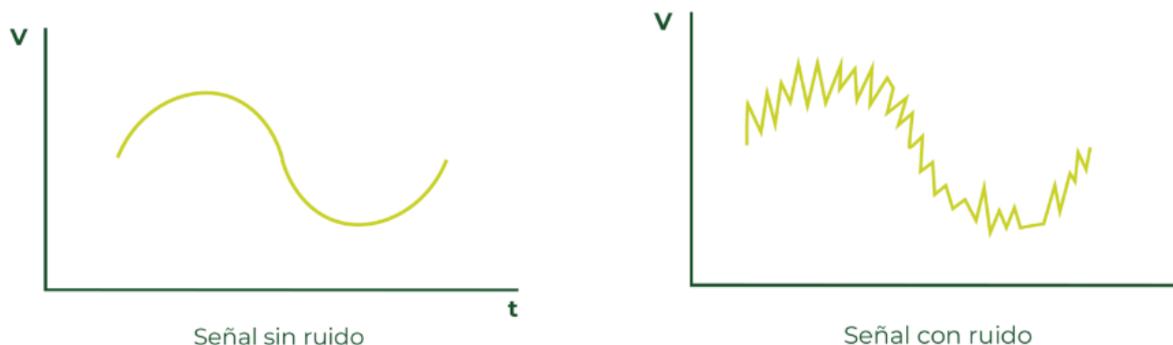


Ilustración 46 - Señales con y sin ruido.

Información obtenida de la empresa Peblex Energy, las cuales realizan soluciones de almacenamiento energético y fotovoltaica para industrias en España. Obtenido de [14].

Para ello, se presentarán algunas sugerencias que provee la empresa, y que recomendamos al usuario que instale un dispositivo electrónico en la industria, que tenga en cuenta debido a que podrá reducir los riesgos de que surjan inconvenientes.

- Tomar la tierra adecuada: Conectar los dispositivos electrónicos a una toma de tierra común para reducir la diferencia de potencial entre ellos.
- Filtros o supresores eléctricos: Los filtros están diseñados para atenuar frecuencias específicas de interferencia electromagnética, mientras que los supresores están diseñados para absorber o redirigir la energía de los picos de tensión transitorios. Tanto los filtros como los supresores pueden instalarse en corrientes eléctricas, corriente de señal o entre componentes electrónicos para reducir el ruido eléctrico.

Es de importancia mencionar que los supresores o filtros, si bien tienen un costo elevado pueden llegar a cumplir un rol fundamental a la hora de presentarse variaciones de tensión en la línea. Lo que nos evitarán pérdidas de dispositivos o paradas en la producción por problemas en los contactores o los controladores lógicos.

Por otro lado, para la creación del circuito impreso, se deben considerar algunas características donde puede aparecer el ruido eléctrico.

Rebote de tierra: en los circuitos digitales, el rápido e incesante ascenso de las frecuencias de conmutación indica que las señales eléctricas cuentan con cada vez menos tiempo para regresar al nivel de tierra de referencia. Esto puede hacer que la señal «rebote» por encima del nivel de tierra y genere picos de voltaje inesperados, que producen ruido en las señales de salida. En el caso de conmutación simultánea múltiple,

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

la cantidad de ruido también produce conmutaciones dobles o falsas, que resultan en un fallo en el circuito.

Diafonía: si las trazas del PCB no están lo suficientemente separadas, una señal (alta frecuencia o corriente) puede afectar el comportamiento de una señal transmitida en una traza adyacente. Este fenómeno de acoplamiento electromagnético no deseado se conoce como diafonía y puede ocurrir tanto cuando las trazas están muy cerca entre ellas horizontalmente, como cuando están muy cerca verticalmente en capas adyacentes.

EMI (interferencia electromagnética): la interferencia electromagnética puede tener diferentes fuentes, pero la más común se debe a un diseño incorrecto de las rutas de retorno a tierra. La regla general para evitar estos fenómenos es insertar las trazas de las señales entre los planos de potencia y de tierra, así, se permite una ruta de retorno sin obstáculos hacia el plano de tierra. De no hacerlo, la señal de retorno seguirá rutas irregulares al querer encontrar el camino a tierra, generando interferencia y ruido.

Después de haber analizado las principales fuentes de ruido en una placa de circuito impreso, podemos analizar las técnicas para solucionar este problema.

- **Añadir planos de tierra y de potencia:** En el momento de definir el diseño del PCB, cubrir la mayor área posible de la placa con planos de tierra y de potencia. Los planos de tierra deben diseñarse de tal manera que exista una ruta de retorno a tierra bien definida, en especial para las señales de alta frecuencia, y así evitar interrupciones o un uso excesivo de las vías. Este método reduce el acoplamiento de impedancia, común entre los diversos subsistemas. Siempre que sea posible, las trazas que transmiten señales de potencia deben ser paralelas a las líneas de tierra.
- **Optimizar el tamaño de las trazas:** Las trazas de señal que pasan a través del PCB deben ser lo más cortas y delgadas posible. De ser necesario, inserte orificios de paso para mantener las trazas cortas. En general, las trazas con un grosor menor a 8 milímetros y un ancho de entre 4 a 8 milímetros se consideran una solución apropiada para reducir el acoplamiento capacitivo y, por ende, el ruido, especialmente a altas frecuencias. Asimismo, la distancia entre las trazas adyacentes debe ser siempre mayor que su ancho, con el fin de reducir el riesgo de diafonía. En general, los PCB multicapa son preferibles, puesto que permiten separar las capas de tierra, potencia y señales.
- **Separar las diferentes zonas del PCB:** En el PCB, mantener separados los circuitos analógicos y digitales. Estos últimos se encargan de generar ruido digital de alta frecuencia, que puede inducir a errores en los circuitos digitales y analógicos, en especial si estos circuitos no están suficientemente separados entre ellos.
- **Utilizar condensadores de desacoplamiento:** El posicionamiento de los componentes en el PCB juega un rol clave en la reducción del ruido. Los

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

componentes de potencia deben posicionarse uno cerca del otro y en la misma capa, para así reducir la inductancia que pueda generarse entre los orificios de paso. Los condensadores de desacoplamiento deben situarse lo más cerca posible de cada pasador de potencia de los componentes activos, con el fin de reducir los picos de voltaje durante el cambio de señal y evitar el rebote de retorno a tierra. Si bien son más caros, los condensadores de tantalito de alta capacitancia ofrecen una calidad y rendimiento mayores que los condensadores electrolíticos tradicionales. Los condensadores cerámicos multicapa pueden utilizarse para desacoplar circuitos integrados, con valores de capacitancia seleccionados según la señal de frecuencia, por ejemplo, 0,1 [uF] para las frecuencias de hasta 15 [MHz].

- Enrutamiento de las trazas: Por regla general, se evita usar curvas de 90° en las trazas, reemplazando los ángulos rectos por dos ángulos de 45°.

Esta información fue provista por la empresa Proto-Electronics. Son especialistas en la fabricación y montaje de prototipos de circuitos impresos. Es una plataforma europea para el prototipado rápido de circuitos impresos en SMT y THT para profesionales. Obtenido de: [15].

2.4.2 Fuente de Alimentación.

En esta sección 2.4 se comenzarán a visualizar las implementaciones realizadas, y se comentarán algunos detalles o inconvenientes que se tuvieron durante el proceso de fabricación. La fuente de alimentación es de una capa, la cual como se pudo observar en el capítulo anterior, tiene plano de masa. La impresión de la placa quedó de la siguiente manera:

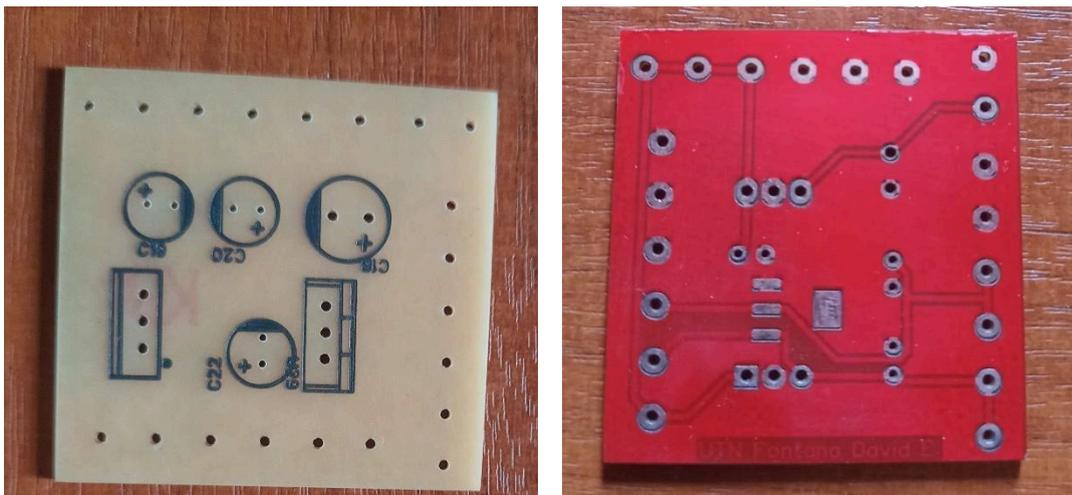


Ilustración 47 - Impresión de la placa de cobre de la fuente de alimentación.

La fuente con sus componentes soldados quedó de la siguiente manera:

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024



Ilustración 48 - Fuente de alimentación final.

2.4.3 Controlador.

Para la placa de la etapa de control, se trató de cumplir con todas las recomendaciones mencionadas en el análisis de ruido, debido a que esta es la que nos definirá que tan estable será nuestro producto diseñado. Tiene dos caras utilizadas, donde se conectan mediante vías de 0,7[mm] de ancho, mientras que el ancho de las pistas es de 0,5[mm], con una separación entre ellas de 0,2[mm]. Las dos caras poseen plano de masa. La placa diseñada se puede visualizar a continuación:

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

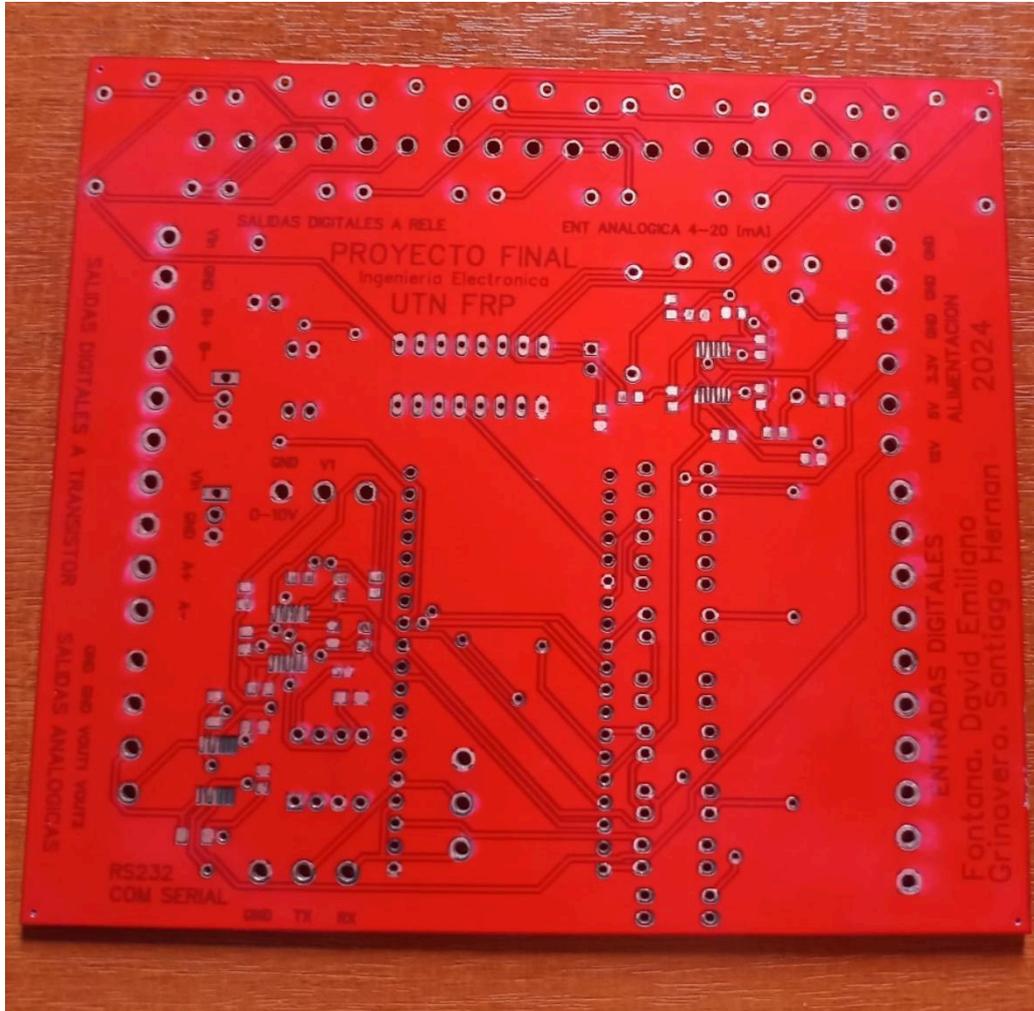


Ilustración 49 - Vista superior PCB etapa de control.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

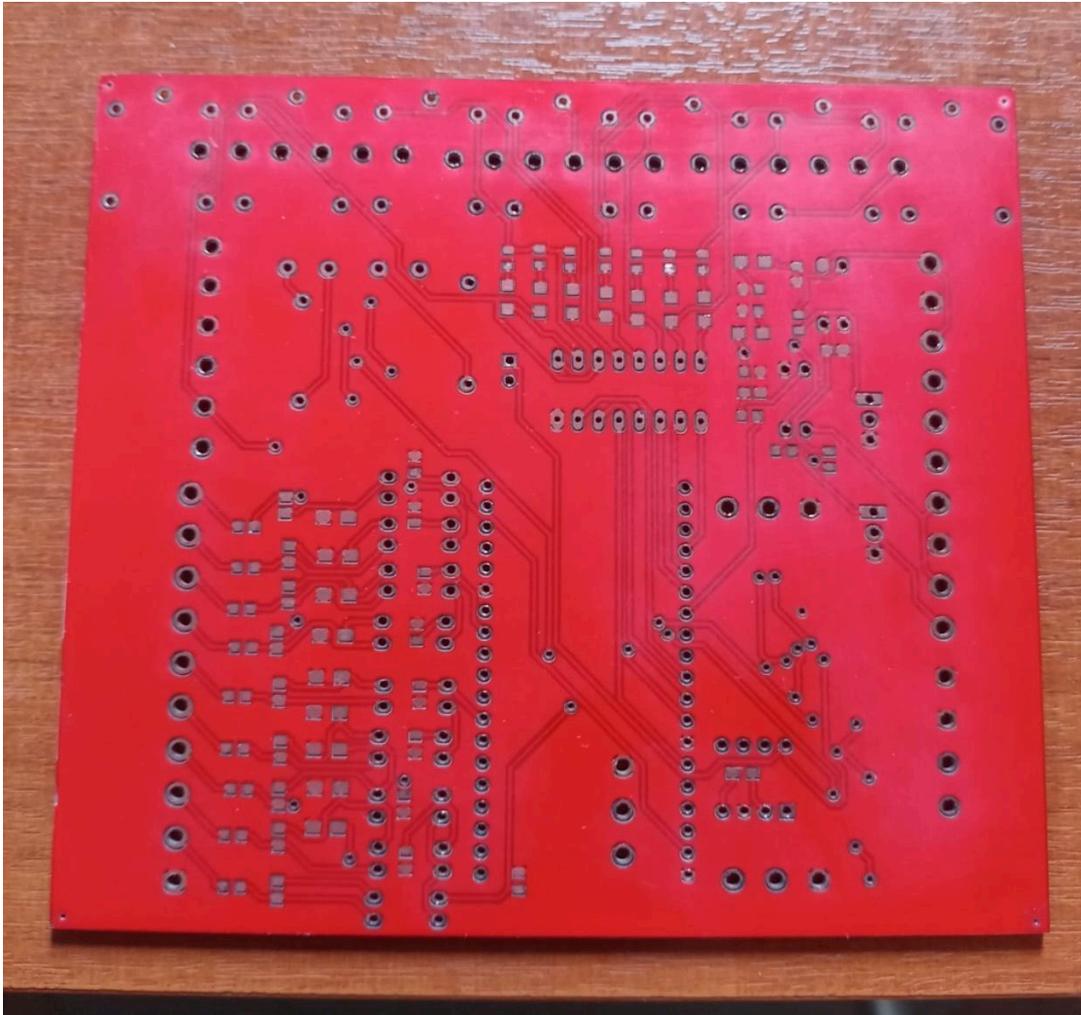


Ilustración 50 - Vista inferior PCB etapa de control.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

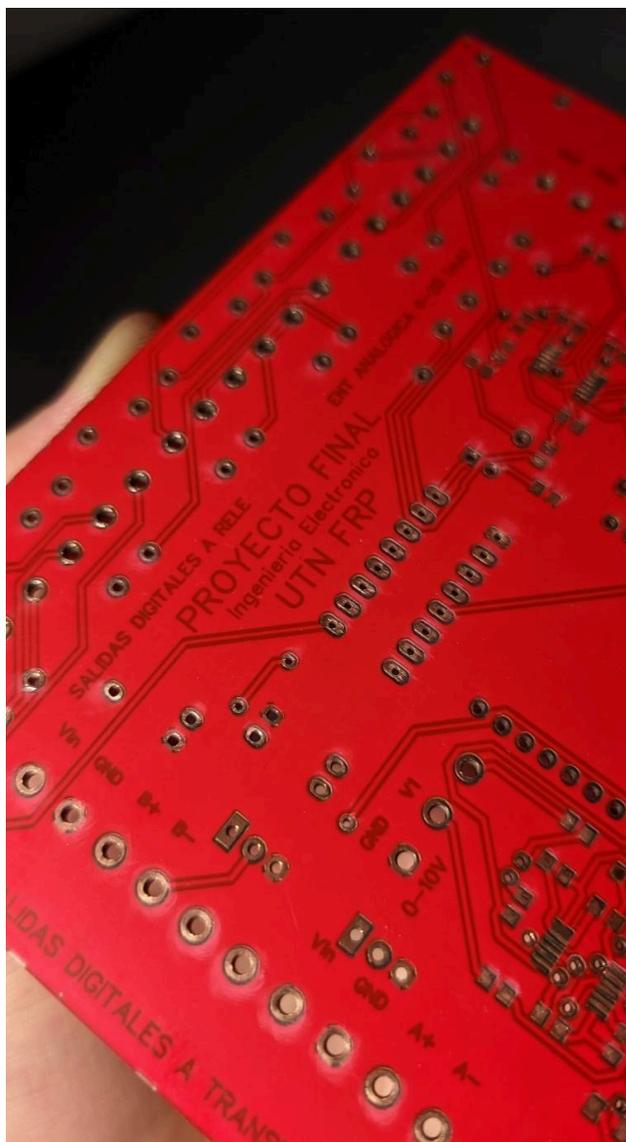


Ilustración 51 - Imagen ilustrativa de vista superior PCB etapa de control.

2.4.4 Diseño Gabinete.

El diseño del gabinete se realizó con el software de diseño 3D SolidEdge versión estudiantil de Siemens. Solid Edge es un portfolio de herramientas de software económicas y de fácil uso que abarca todos los aspectos del proceso de desarrollo de productos. Solid Edge combina la velocidad y la sencillez del modelado directo con la flexibilidad y el control del diseño paramétrico gracias a la tecnología síncrona. Los estudiantes de cualquier universidad tienen acceso a una versión gratuita de este software mediante el correo institucional.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

Descarga realizada en el siguiente enlace: [16].

El gabinete diseñado tiene una dimensión de 115[mm] de alto y 127[mm] de ancho. Tres piezas fueron impresas, por un lado, se encuentra el gabinete posterior, el cual cuenta con una profundidad de 25[mm] y se puede visualizar a continuación:

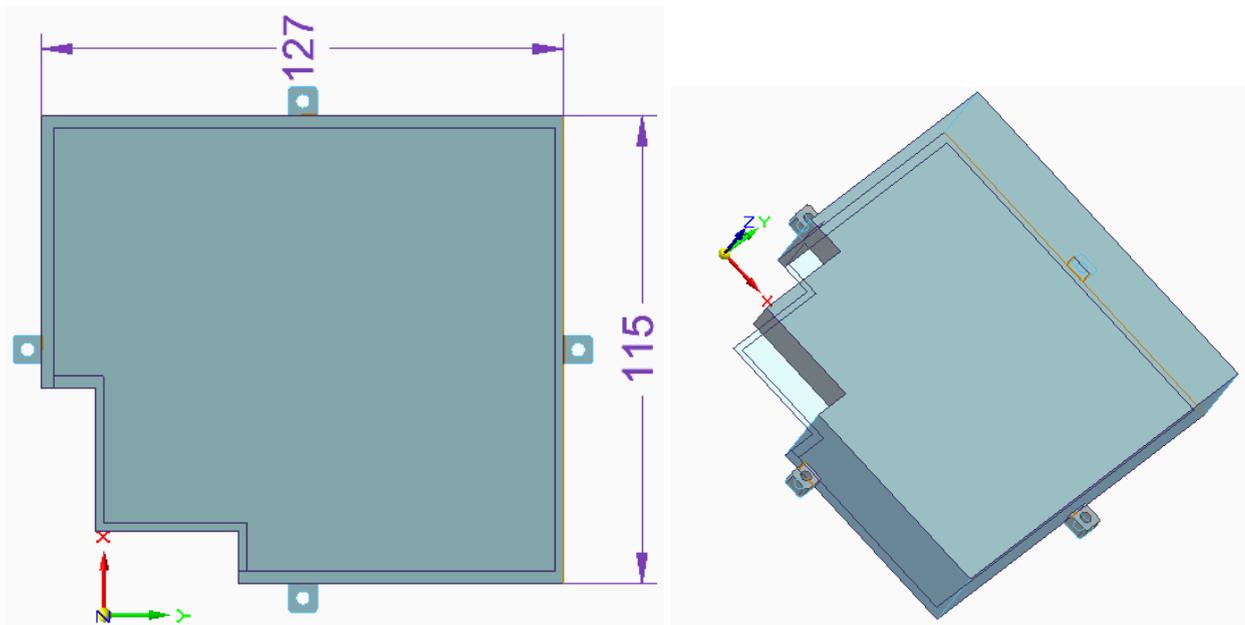


Ilustración 52 - Gabinete parte trasera.

Luego, la parte frontal del gabinete tiene las aberturas de cada bornera de las entradas y salidas digitales y analógicas, con sus respectivos diodos LEDs indicadores. Esta pieza tiene una profundidad de 10[mm].

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

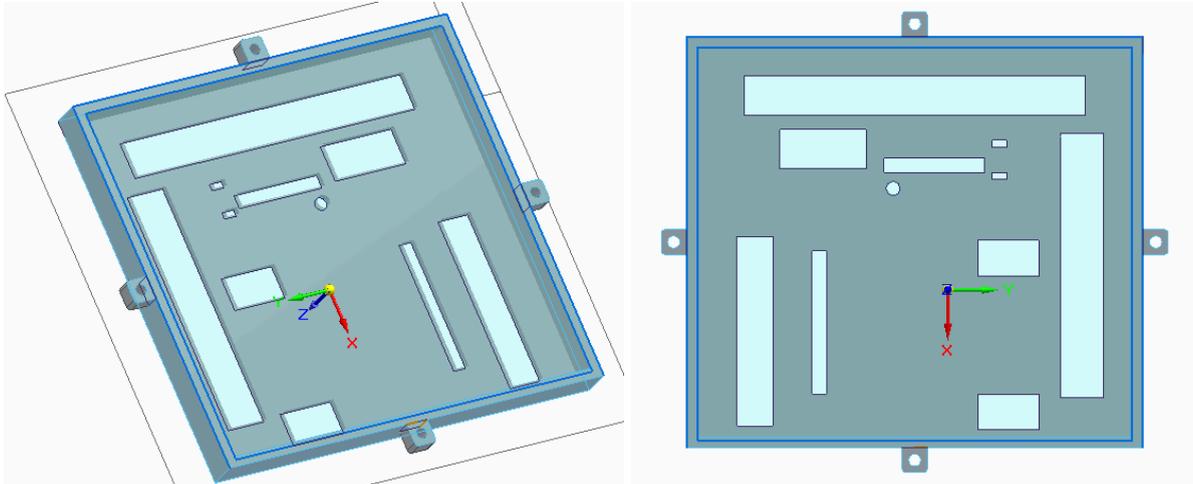


Ilustración 53 - Gabinete parte frontal.

Finalizando con el diseño del gabinete, se agregó una pieza de soporte para la fuente de alimentación, la cual tiene un ancho y alto de 50[mm], con una profundidad de 5[mm].

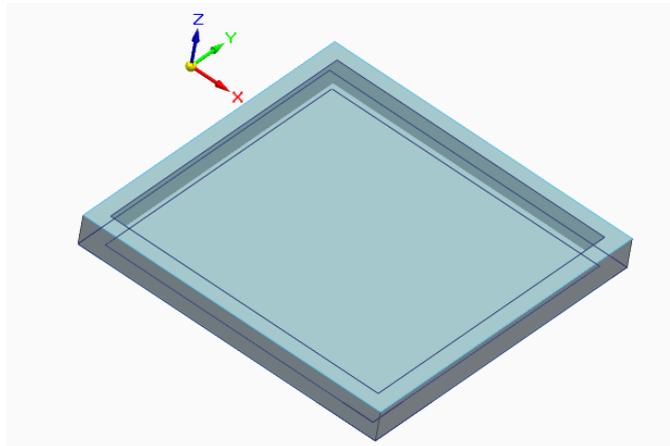


Ilustración 54 - Soporte fuente de alimentación.

2.4.5 Gabinete.

El color elegido para la impresión de este gabinete fue de color blanco, se utilizó el filamento PLA de 1.75[mm] marca Grillon. El producto final tuvo un consumo de 100 gramos de filamento aproximadamente. Se había realizado un diseño con filamento negro, pero debido a errores en la medición se realizó una segunda versión.

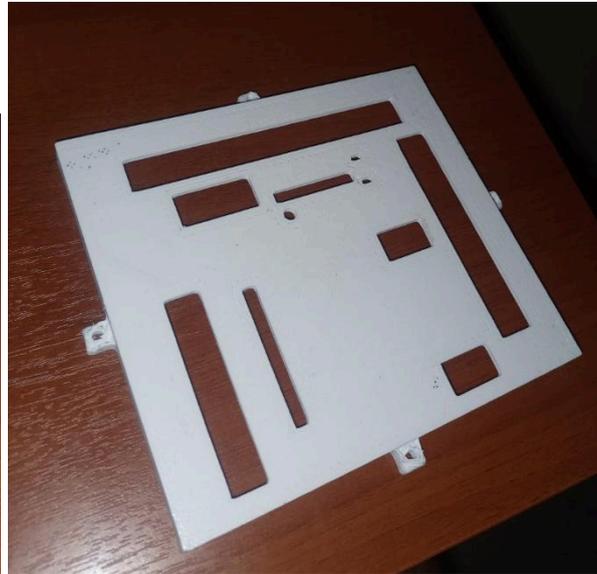
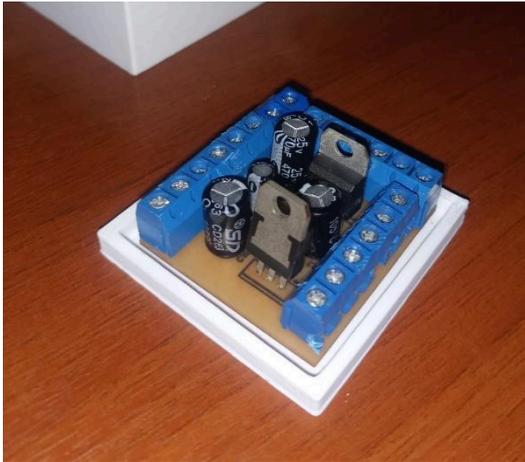


Ilustración 55 - Soporte fuente de alimentación y pieza frontal gabinete.

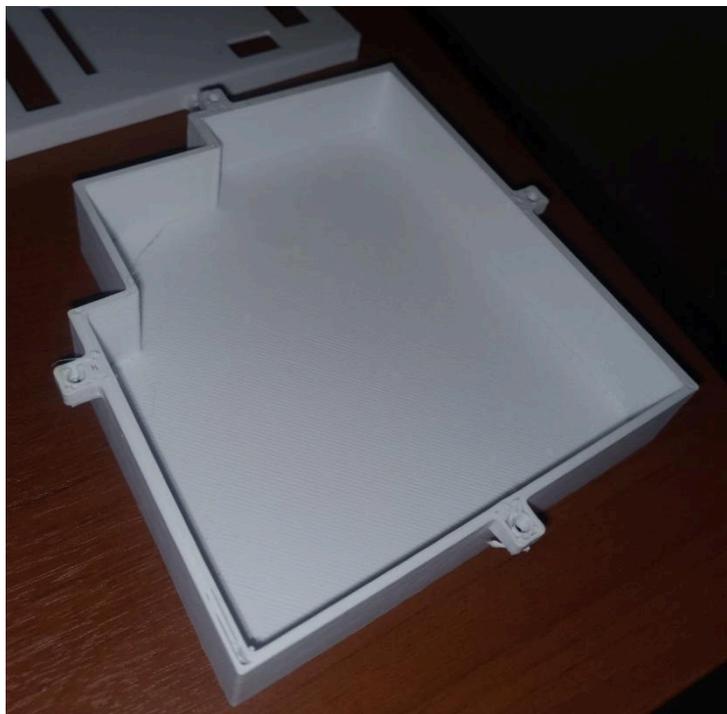


Ilustración 56 - Pieza posterior gabinete.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

2.5 Producto final.

Para la presentación del producto final se colocaron calcomanías de identificación para cada una de las entradas y salidas. Adicionalmente, se diseñó un logo con un slogan del producto denominado “PLCmicro. Doble R. Robustez y remoto”. Por último se implementó una calcomanía donde se describen las características técnicas y eléctricas del dispositivo.

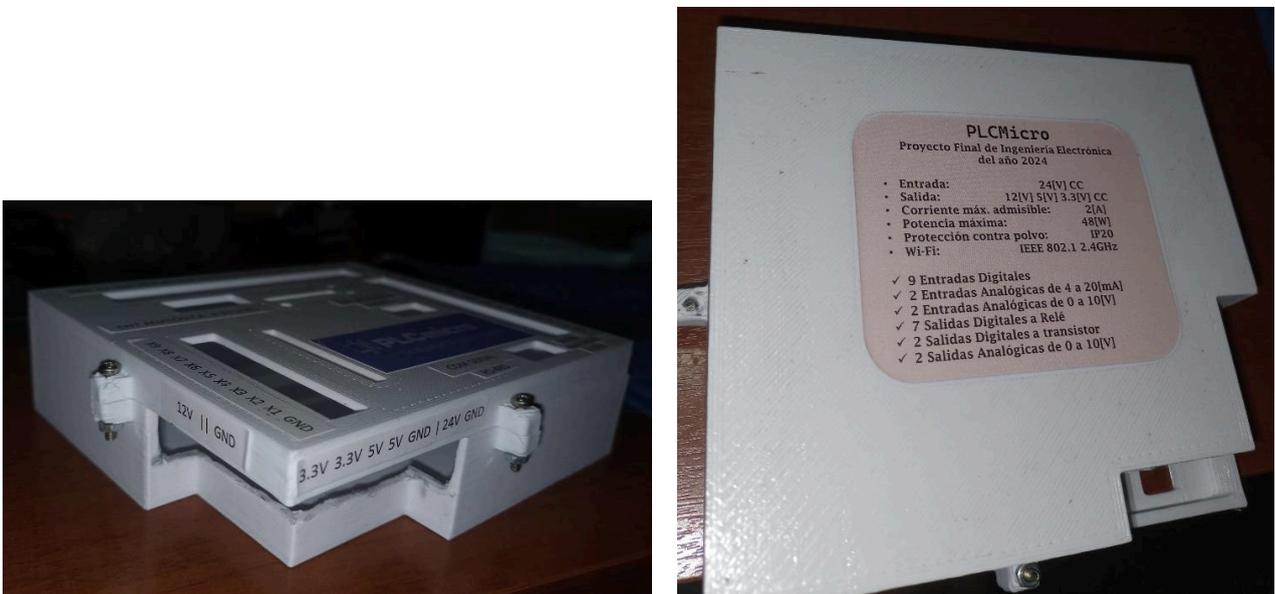
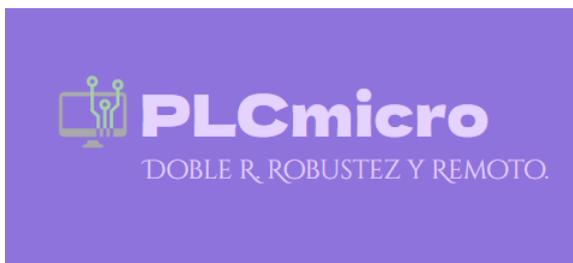


Ilustración 57 – Identificación de alimentación y características técnicas.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024



Ilustración 58 - Identificación de entradas y salidas.



PLCmicro
 Proyecto Final de Ingeniería Electrónica
 del año 2024

- **Entrada:** 24[V] CC
- **Salida:** 12[V] 5[V] 3.3[V] CC
- **Corriente máx. admisible:** 2[A]
- **Potencia máxima:** 48[W]
- **Protección contra polvo:** IP20
- **Wi-Fi:** IEEE 802.1 2.4GHz

- ✓ 9 Entradas Digitales
- ✓ 2 Entradas Analógicas de 4 a 20[mA]
- ✓ 2 Entradas Analógicas de 0 a 10[V]
- ✓ 7 Salidas Digitales a Relé
- ✓ 2 Salidas Digitales a transistor
- ✓ 2 Salidas Analógicas de 0 a 10[V]

Ilustración 59 - Logo y slogan del dispositivo diseñado, y características del equipo.

El PLC diseñado junto con el gabinete mostrado, se visualizará en la siguiente figura.



UTN Regional Paraná

PLC con acceso remoto y
reducción de ruido implementado
con micro.

Ingeniería en Electrónica

Abril de 2024



Ilustración 60 - Producto final.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

CAPÍTULO 3: RESULTADOS.

3.1 Pruebas

En esta sección se mostrarán imágenes de las pruebas realizadas de ambas placas diseñadas. Se corroboró el funcionamiento de cada una de las entradas y salidas, donde en un principio se encontraron algunos inconvenientes de soldadura en la placa de control, pero todos pudieron ser resueltos. Fue una de las etapas que nos demandó mayor tiempo debido a que además de lo comentado, se comprobó la comunicación con la aplicación, donde se integró todo lo planteado.

A continuación se visualiza lo comentado.

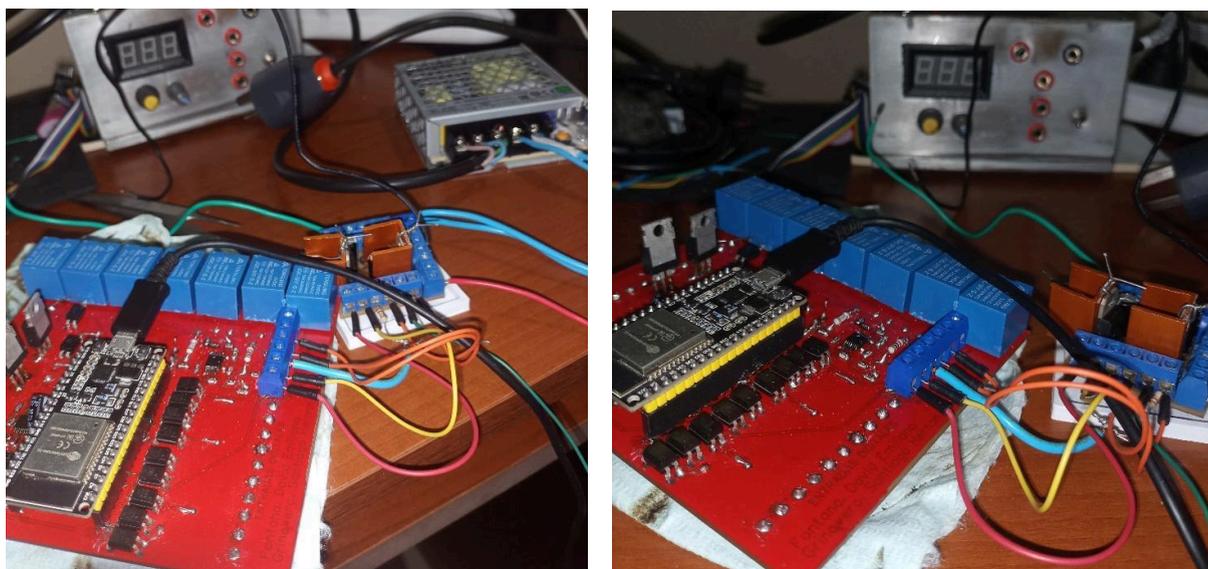


Ilustración 61 - Pruebas de funcionamiento y conexión remota.

Como resultado final se obtuvieron los objetivos principales donde se pudo realizar una conexión remota con el dispositivo desde una aplicación móvil. Adicionalmente, los criterios de diseño ante el ruido fueron eficientes a la hora de manipular cada una de ellas, ya que no se presentaron intervenciones entre una activación u otra, provocando que se haya podido obtener un dispositivo robusto como se deseaba.

La conexión remota presenta una pequeña demora de transmisión a la hora de activar o desactivar las entradas y salidas producto de la velocidad de internet pero no perjudica el funcionamiento general del dispositivo.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

De manera de corroborar y comprobar el funcionamiento de las entradas y salidas digitales y analógicas, se implementó una aplicación con dispositivos electrónicos industriales.

Se utilizó el dispositivo ojo de buey luz piloto, dos de color verde marca Kacon modelo KPL-G alimentados a 24VDC, dos de color rojo marca Sanderson modelo AD22-R alimentados a 24VDC, y dos buzzer luminicos marca Zurich modelo Buzzerjo22 alimentados a 220VAC. Estos seis elementos se conectaron a cada una de las salidas digitales a relé. Se activarán mediante las entradas digitales o de manera remota en la aplicación móvil. En la bornera de las entradas digitales se colocaron tres pulsadores en estado Normal Abierto; uno marca Schneider modelo ZA2EE101, y los dos restantes marca ABB modelo CP1-10G-10. Adicionalmente, se colocó un botón de parada de emergencia Normal Cerrado marca Schneider modelo ZA2EE102. Luego, un selector de tres posiciones se dispuso en dos de las entradas, ambas en estado de Normal Abierto, marca Schneider modelo ZA2EE101.

Por último para las dos entradas analógicas se colocaron cables de extensión de manera de poder variar con una fuente regulable el voltaje de entrada de cada una. Estas entradas serán procesadas por el ESP32 y luego irán a las salidas analógicas, donde estarán colocadas tiras de LEDs, el cual se podrá visualizar a medida que se varía el valor del voltaje en la entrada mediante la fuente regulable, o mediante la aplicación, como se modificará la intensidad de iluminación, pudiendo corroborar el correcto funcionamiento de nuestro dispositivo.

Los resultados que se obtuvieron fueron favorables, se pudo observar que cada respuesta en las salidas en el dispositivo actuaron de manera específica en cada una de las entradas e independiente al estado de las otras, lo que permite comprender la importancia del criterio de diseño considerando el análisis de ruido. Por otro lado, al encontrarse los buzzers luminosos encendidos, los cuales se suministran con corriente alterna, y los LEDs de ojo de buey, no presentaron inconvenientes de interferencia o distorsión en las señales de comunicación entre el microcontrolador y el servidor.

Se obtuvo un dispositivo donde las nueve entradas digitales funcionan correctamente, y activan las siete salidas digitales a relé, tanto de manera manual ya sea con pulsadores o selectores, como mediante la aplicación colocando en la misma la opción de modificar E/S.

Por otro lado, la lectura de las dos entradas analógicas de 0 a 10[V] se pudieron tomar de manera correcta, donde se realizaron mediciones con el tester variando desde 2[V] hasta 9[V] subiendo de a 1[V] y leyendo en la salida analógica el valor de tensión que nos

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

entrega el PLC diseñado. Donde se llegó a un error relativo porcentual de 5.21%. Lo cual es considerable debido a que en la configuraciones de cada amplificador operacional se utilizaron resistencias smd 0805 de tolerancia del 5%. En caso de que se requiera implementar una aplicación donde sea crítica la diferencia de milivoltios se deberían utilizar resistencias de precisión, es decir, con una tolerancia del 1%, considerando que tiene un incremento en su precio de compra.

Tabla 3 - Error relativo porcentual entradas analógicas.

Voltaje de entrada [V]	Voltaje de salida [V]	Error relativo	Medida Nro.
2,02	2,2	0,1	1
3,04	3,3	0,1	2
4,00	4,25	0,0625	3
5,01	5,14	0,028	4
6,05	6,22	0,03667	5
7,01	7,3	0,04283	6
8,02	8,19	0,02375	7
9,03	9,21	0,02333	8
ERROR RELATIVO PORCENTUAL			5,21

Con el análisis realizado, se puede observar que se llegó a la meta planteada. Donde se establece una conexión remota, estable y segura, con una demora brevemente despreciable. Al tratarse de una placa de desarrollo con capacidades de procesamiento altas, como se menciona en el capítulo 2, a la aplicación de prueba realizada se le podría añadir temporizadores, contadores, interrupciones de flanco de subida o bajada, entre otras funciones que mayormente presentan los PLC en el diagrama Ladder como bloques. Estas funciones no se implementaron y tampoco se utilizaron en esta ocasión, ya que la

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

esencia de la aplicación era probar el funcionamiento del hardware y de la aplicación móvil. Se menciona esto, ya que en caso de que se considere la posibilidad de un sistema de control o proceso de automatización donde se requiera lo mencionado, puede ser posible su utilización.

El análisis de ruido fue observado con el osciloscopio en la fuente de alimentación diseñada, de manera de corroborar que las tensiones en continua no presenten variaciones durante la alimentación del dispositivo, comprobando de esta manera que los tres voltajes 12, 5 y 3.3[V] presentaron un nivel bajo de variación, producto de los capacitores colocados como estabilizadores y filtro de continua. De forma análoga, se analizó la red doméstica utilizada, solo con el osciloscopio de manera de corroborar que el ruido en la señal se encontraba disminuido. Es de importancia destacar que en la industria es una tarea que se debe realizar siempre antes de colocar un controlador lógico programable, para ello se requerirá de un analizador de red y un profesional especializado en la parte de ruido eléctrico y potencia, el cual permitirá recomendar acerca de qué dispositivo de filtrado de señal alterna o continua es mejor colocar aguas arriba o aguas abajo para que todos los elementos del tablero se encuentren protegidos.

Una de las consideraciones que se tuvieron en cuenta desde un principio con el desarrollo, fue la colocación de un diagrama ladder (lenguaje lógico en escalera) para que el usuario que utilice este dispositivo pueda manipularlo y modificar el sistema de control a aplicar. Esto fue descartado debido a limitaciones en la compatibilidad entre el programa que se utilizará como interfaz y la placa de desarrollo. La interfaz que se consideró utilizar se denomina OpenPLC Editor, fue desarrollada por Thiago Alves. Esta plataforma es software de proyectos de código abierto para ofrecer un PLC funcional, es una alternativa de bajo costo para la automatización y la investigación. OpenPLC Editor se utiliza para crear programas PLC. Admite los cinco lenguajes definidos en el estándar IEC 61131-3: lógica de escalera (LD), diagrama de bloques de funciones (FBD), lista de instrucciones (IL), texto estructurado (ST) y diagrama de funciones secuenciales (SFC). Luego de haber realizado el programa, lo convierte en C++, implementa el firmware y permite subirlo a la placa de desarrollo que se desee. Es compatible con el ESP32, también puede ser utilizado con las siguientes placas de desarrollo:

- Arduino Uno/Nano/Leonardo/Micro, Arduino Mega/Due, Arduino NanoEvery/IoT/BLE, Arduino RB2040 Connect, Arduino Mkr/Zero/WiFi, Arduino Pro.
- Controllino Maxi/Automation/Mega/Mini.
- ESP8266 (nodemcu), Raspberry Pi 2/3/4.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

Al dejar inhabilitada la función del WiFi, no permitía la posibilidad de manipular en bajo nivel lo que se enviaba al microcontrolador, esto produjo que no consideremos esta opción ya que no íbamos a poder tener la manipulación que deseábamos de la comunicación..

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE COSTOS.

A fin de poder realizar un análisis de costos eficiente y a largo plazo, se expresan los valores en dólares. En la tabla a continuación, se presentan los costos de los elementos utilizados, la cantidad de cada uno, y el costo total.

Tabla 5 - Costo de componentes.

Item	Cantida d	Costo u. U\$D	Costo u.	Costo total U\$D	Costo total
Nodemcu Esp32	1	\$15,76	\$13.500	\$15,76	\$13.500
Degson Borne Enchufable Macho Recta 10p 5.08mm	3	\$2,33	\$2.000	\$7,00	\$6.000
Degson Borne Enchufable Hembra Recta 10p 5.08mm	3	\$2,33	\$2.000	\$7,00	\$6.000
Borne 2p 5.08mm	2	\$0,64	\$550	\$1,28	\$1.100
Borne 3p 5.08mm	3	\$0,64	\$550	\$1,93	\$1.650
Borne 4p 5.08mm	1	\$0,70	\$600	\$0,70	\$600
Borne 6p 5.08mm	1	\$0,76	\$650	\$0,76	\$650
Convertor de tensión ICL7660SCPA	1	\$9,92	\$8.500	\$9,92	\$8.500
Array Darlington ULN2003	1	\$2,92	\$2.500	\$2,92	\$2.500
Relé 12V10A	7	\$1,40	\$1.200	\$9,80	\$8.400
Optoacoplador PC817 DIP4	11	\$0,41	\$350	\$4,49	\$3.850
Módulo Convertor RS485 TTL MAX485	1	\$3,50	\$3.000	\$3,50	\$3.000
Operacional Cuádruple LM324DT SMD SO14	3	\$2,92	\$2.500	\$8,75	\$7.500
Pack 600 Resistencias 1/4w Metal Film 1% Genéricas	1	\$15,76	\$13.500	\$15,76	\$13.500

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

Pack x5 Capacitores Electrolíticos	1	\$3,50	\$3.000	\$3,50	\$3.000
Pack X10 Capacitores Cerámicos	2	\$2,63	\$2.250	\$5,25	\$4.500
Pack X10 Led 3mm Difuso	2	\$4,09	\$3.500	\$8,17	\$7.000
Transistor Mosfet Canal N IRF540	2	\$2,92	\$2.500	\$5,84	\$5.000
Fuente 24V2A CC	1	\$46,69	\$40.000	\$46,69	\$40.000
Estaño En Pasta Mechanic Xg-30 - Sn63/pb37 - 20 Gramos	1	\$7,59	\$6.500	\$7,59	\$6.500
Realización de placa doble faz Epoxi Fr4	1	\$46,69	\$40.000	\$46,69	\$40.000
Filamento 3D PLA Printalot de 1.75mm 1kg Blanco	1	\$23,34	\$20.000	\$23,34	\$20.000
Impresión de gabinete	1	\$35,02	\$30.000	\$35,02	\$30.000
Costos varios (10% del resto de los costos)	1	\$7,02	\$6.015	\$7,02	\$6.015
Horas de trabajo (producción)	12	\$5,25	\$4.500	\$63,03	\$54.000
Ganancia del 20%	1	\$21,30	\$18.250	\$21,30	\$18.250
Horas de trabajo (desarrollo del proyecto)	400	\$5,25	\$4.500	\$2.101,01	\$1.800.000
Total Costos				\$341,72	\$292.765
Total Venta				\$363,03	\$311.015
Total Inversión				\$2.442,74	\$2.092.765

Para este proyecto estimamos que se emplearon aproximadamente 400 horas de trabajo. Este tiempo es el considerado como invertido en lo referido a investigación, desarrollo, producción, y testeo. Para la producción de un equipo con una persona trabajando en el mismo se estimó que conlleva aproximadamente 12 horas de trabajo. Este valor se tiene en cuenta para la estimación del costo de producción de un equipo para la venta comercial, junto con una ganancia del 20% respecto a los costos de elaboración. Para el cálculo de la inversión total se tuvo en cuenta el costo implicado en las horas de trabajo de desarrollo.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

A modo de análisis de la rentabilidad del proyecto, realizamos una proyección a futuro de las posibles ventas, y luego se calculó el VAN y TIR. El flujo neto mostrado en la primera tabla, hace referencia a la ganancia neta obtenida.

Tabla 6 - Análisis de VAN y TIR del proyecto.

Año	Cantidad vendida	Flujo neto
1	150	\$2.737.500
2	200	\$3.650.000
3	250	\$4.562.500

	Flujo neto
Descuento	0,8
Mom 0	-\$2.092.765
1	\$2.737.500
2	\$3.650.000
3	\$4.562.500
VAN	\$1.336.933
TIR	140,82%

Mediante los valores obtenidos nos permitió identificar que el proyecto tiene una alta rentabilidad, ya que incluso se recuperará lo invertido en el primer año de ventas. Cabe destacar que en el análisis presente, no se realizó la estimación de gastos en mantenimiento de los equipos utilizados, pero dado el bajo costo de los mismos, lo consideramos despreciable respecto a las ganancias obtenidas.

A su vez, realizamos la comparación con otros equipos similares disponibles en el mercado, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5 - Comparación con otros productos del mercado.

	Schneider - TM221C24T/R	Siemens - 6ED1-052-1MD0 0-0BA6	Industrial Shields - ESP32 PLC 21	Equipo diseñado
E. digital	14	8	13	9
E. analógica	2	4	6	4
E. totales	14	8	13	13
S. digital a relé	10 (R) / 0 (T)	4	0	7
S. digital a transistor	0 (R) / 10 (T)	0	8	2

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

S. analógica	0	0	3	2
S. totales	10	4	8	11
Display	No	Si	No	No
Comunicación	USB, Ethernet, RS232, RS485, Modbus, microSD	Ethernet, microSD	USB, Ethernet, RS232, RS485, I2C, SPI, Modbus WiFi, Bluetooth LE, microSD	USB, RS232, RS485, WiFi, Bluetooth LE
Capacidad de expansión	Si	Si	No	Si
Precio U\$D	\$350,17	\$402,69	\$408,53	\$363,03

Para la tabla de comparación, se utilizaron PLCs compactos de características similares al desarrollado. Allí se puede apreciar los dos primeros equipos (de izquierda a derecha, Scheider y Siemens), los cuales son de marcas mundialmente reconocidas. Estos equipos cuentan con características similares de Entradas/Salidas, destacando que ambos no cuentan con salidas analógicas. Respecto a las interfaces de comunicación, poseen características similares, con el detalle de no poseer conexión WiFi. Para el caso del tercer equipo, está desarrollado por la empresa Industrial Shields, radicada en Europa, y la cual realiza equipos similares al desarrollado en el proyecto, basados en microcontroladores. Dicho equipo es muy similar al desarrollado, e incluso respecto a este, nuestro producto tiene un menor costo.

Esto nos permite afirmar que el producto realizado tiene una alta capacidad de inserción y competencia en el mercado, estando a la altura de los equipos utilizados actualmente.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

CAPÍTULO 5: CONCLUSIÓN.

El equipo desarrollado logró cumplir con los objetivos planteados inicialmente, los cuales incluían contar con múltiples entradas y salidas (el equipo final tiene nueve entradas digitales donde se pueden ingresar 5, 12 y 24[V], dos entradas analógicas de 0-10[V], dos entradas analógicas de 4-20[mA], siete salidas digitales a relé, dos salidas digitales de PWM por transistor y dos salidas analógicas de 0-10[V]), permitir la comunicación mediante la interfaz RS485 y por WiFi mediante el protocolo de comunicación MQTT. Además, se cuenta con la interfaz mediante aplicación de Android para visualización y control remoto.

Como características de funcionamiento, se logró mantener una comunicación estable y segura con el dispositivo móvil, una amplia capacidad de procesamiento para procesos de avanzada complejidad, se logró realizarlo con un bajo costo de producción, y a su vez, el equipo presenta una gran robustez ante señales de ruido.

Esta última característica es de alta importancia, ya que se puso especial atención sobre ello al momento de desarrollar la placa del equipo, con la intención de reducir al máximo la acción e interferencia de las posibles fuentes de ruido en las señales dentro del circuito.

Se obtuvo un dispositivo con una tolerancia en la conversión de la señales analógicas del 5%, una consideración a mejorar es utilizar resistencia de la menor tolerancia posible, de manera de conseguir un producto

Gracias a los resultados obtenidos, logramos que nuestro producto tenga la capacidad de competir comercialmente con otros dispositivos disponibles actualmente en el mercado. Un PLC de gama media, con características similares al desarrollado, ronda alrededor de los USD350 o USD400, incluso comparando con otro desarrollado en base al mismo microcontrolador, mientras que el costo de producción del nuestro se encuentra por debajo de los USD365. Sumado a esto, nuestro producto tiene la ventaja adicional de contar con la aplicación que permite el monitoreo y control remoto y seguro del equipo.

Una posible mejora a desarrollar sería agregar la capacidad de ampliación del equipo mediante el agregado de módulos. Esto le daría una competitividad aún mayor en el mercado, permitiéndole aumentar sus capacidades tanto en entradas y salidas, como en interfaces de comunicación. Una de ellas es el módulo de comunicación Ethernet, donde en la industria se utiliza de manera que cada PLC utilizado esté identificado con un número de IP, algunos de estos proyectos poseen una interfaz hombre-máquina (HMI) lo que al asignarle el IP, luego mediante algún programa compatible con la marca, se pueda visualizar ingresando los datos del número de IP, y la clase del dispositivo. Es una ventaja ya que permite visualizar las alarmas y el funcionamiento del sistema desde la oficina, y

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

no requiere del constante control presencial. Otra posible mejora a considerar es la incorporación de un display en el mismo equipo, a fin de poder visualizar ciertos datos In Situ, sin necesidad de una pantalla de visualización extra. Por último, podemos considerar la posibilidad de adicionarle un sistema de interacción de interfaz gráfica donde el usuario pueda modificar las entradas y salidas mediante diagrama ladder/lógica de escalera. Se tiene que considerar que esta consideración demandará tiempo de programación y comparación con otros programas que se encuentren disponibles, de manera de corroborar que funciones son las que se tienen que colocar de manera primordial, y cuales son aquellas que se pueden optimizar mediante bloques simplificados. Este desarrollo requiere de análisis y comparativa donde se demanda tiempo de investigación. Es por ello, que lo consideramos como una posible mejora de nuestro dispositivo a largo plazo.

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

CAPÍTULO 6: REFERENCIAS.

- [1] Texas Instrument, «LM340,LM340Aand LM78xxWide VIN1.5-A Fixed VoltageRegulators Datasheet,» 2016.
- [2] YFW, «AMS1117-X.XSOT-89 Datasheet».
- [3] Shenzhen Hi-Link Electronic Co. Ltd., «HLK-5M05 AC to DC 5v 5w Step Down mini Power Supply Module Converter Intelligent household switch power module,» [En línea]. Available: <https://www.hlktech.net/index.php?id=115>. [Último acceso: 02 Abril 2024].
- [4] Schneider Electric Co., «Single phase power supply, 100...240V input, 24V DC output, 53W, 2,2A,» [En línea]. Available: <https://www.se.com/sg/en/product/ABL2REM24020K/single-phase-power-supply-100-240v-input-24v-dc-output-53w-22a/>. [Último acceso: 02 Abril 2024].
- [5] SHARP, «PC8171xNSZ0F Series Datasheet,» 2005.
- [6] Texas Instrument, «LMx24, LMx24x, LMx24xx, LM2902, LM2902x, LM2902xx, LM2902xxxQuadruple Operational Amplifiers Datasheet,» 2023.
- [7] FCI Semiconductor, «UNL2003/UNL2004 Darlington Arrays Datasheet».
- [8] Last Minute Engineers, «ESP32-WROOM-32 Pinout Reference,» [En línea]. Available: https://lastminuteengineers.com/esp32-wroom-32-pinout-reference/#google_vignette. [Último acceso: 02 Abril 2024].
- [9] MQTT Org., «MQTT: The Standard for IoT Messaging,» [En línea]. Available: <https://mqtt.org>. [Último acceso: 02 Abril 2024].
- [10] EMQX, «EMQX Start Page,» [En línea]. Available: <https://www.emqx.io>. [Último acceso: 02 Abril 2024].
- [11] EMQX, «Online MQTT Client,» [En línea]. Available: <http://www.emqx.io/online-mqtt-client#>. [Último acceso: 02 Abril 2024].
- [12] MIT (Massachusetts Institute of Technology), «App Inventor v2,» [En línea]. Available: <https://ai2.appinventor.mit.edu>. [Último acceso: 02 Abril 2024].

 UTN Regional Paraná	PLC con acceso remoto y reducción de ruido implementado con micro.
Ingeniería en Electrónica	Abril de 2024

- [13] Ullis, «AI2 MQTT Extension,» [En línea]. Available: <https://ullisroboterseite.de/android-AI2-PahoMQTT.html>. [Último acceso: 02 Abril 2024].
- [14] Pebblex Energy, «Ruido Eléctrico,» [En línea]. Available: <https://bepebblex.com/ruido-electrico-baterias-inteligentes/>. [Último acceso: 02 Abril 2024].
- [15] Proto-Electronics, «Nuestras 5 reglas principales para la reducción del ruido en el PCB,» [En línea]. Available: <https://www.proto-electronics.com/es/blog/principales-ventajas-pcb-nucleo-metalico-metal-core-pcb-0>. [Último acceso: 02 Abril 2024].
- [16] Siemens, «Free Solid Edge learning resources for students,» [En línea]. Available: <https://solidedge.siemens.com/en/solutions/users/students/>. [Último acceso: 02 Abril 2024].
- [17] Espressif, «ESP32 Series Datasheet,» 2024.
- [18] A. D. Tremosa, Electrónica del estado sólido, Buenos Aires: Editorial Marymar, 1976.
- [19] D. L. Schilling, Circuitos Electrónicos discretos e integrados, McGraw-Hill, 1993.
- [20] C. L. Phillips y H. T. J. Nagle, Sistemas de control digital.