



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Desarrollo de un banco de pruebas con Arduino Opta WiFi para el control de procesos
en la Industria 4.0.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

Roman Andres Bustamante Vivar

Director:

Ing. Hugo Torres Salamea, Ph.D.

CUENCA, ECUADOR

2025

DEDICATORIA

Yo, Roman Andres Bustamante Vivar dedico a mi familia, por ser el pilar fundamental en cada paso de este camino. A mis padres, por su amor incondicional, por confiar en mí incluso en los momentos más difíciles, y por enseñarme que con esfuerzo, perseverancia y fe, todo es posible. Gracias por su apoyo inquebrantable, por sus sacrificios y por estar siempre a mi lado. Sin ustedes, esto no hubiera sido posible. Y de manera muy especial, a Dios, por darme una nueva oportunidad de vida y permitirme continuar este camino con esperanza y propósito.

AGRADECIMIENTOS

Yo, Roman Andres Bustamante Vivar, primero que nada, quiero agradecer a Dios, por darme fuerzas en los momentos más duros y por no soltarme nunca. Sin Él, nada de esto habría sido posible. A mis padres, con todo mi amor y gratitud. Gracias por su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento, por sus sacrificios y por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba. Sin ustedes, este logro simplemente no existiría. A mi familia, por estar siempre presente, por su comprensión y por darme ese empujón cuando más lo necesitaba. A mi director de tesis, el Ing. Hugo Torres Salamea, PhD, gracias por su guía, su paciencia y sabiduría. Su apoyo fue clave para poder llevar a cabo este trabajo. A todos los que formaron parte de esta etapa de alguna manera, gracias de corazón.

DESARROLLO DE UN BANCO DE PRUEBAS CON ARDUINO OPTA WiFi PARA EL CONTROL DE PROCESOS EN LA INDUSTRIA 4.0.

Los sistemas industriales exigen soluciones prácticas y accesibles, con el fin mejorar la eficiencia y el control de procesos. Este trabajo presenta la implementación de un banco de pruebas con Arduino Opta WiFi para el control de procesos. Se detalla la metodología empleada, que incluye la construcción del banco de pruebas, la instalación de equipos y la conexión de circuitos con el propósito de implementar y evaluar soluciones de control de procesos industriales orientado a la industria 4.0. Se realizaron diversas pruebas, como el control de motores trifásicos, protocolos de comunicación y el control remoto a través de Internet de las Cosas, evidenciando la efectividad del Arduino Opta para la automatización en pequeñas y medianas empresas. Con este enfoque, se ofrece una alternativa accesible, funcional y adaptable para el desarrollo control de procesos y la automatización en industrias y en el ámbito académico.

Palabras clave: Arduino Opta, PLC, Industria 4.0, Banco de pruebas, Modbus, Siemens s7-1200.

DEVELOPMENT OF A TEST BENCH WITH ARDUINO OPTA WIFI FOR PROCESS CONTROL IN INDUSTRY 4.0.

Industrial systems require practical and accessible solutions in order to improve efficiency and process control. This paper presents the implementation of a test bench with Arduino Opta WiFi for process control. It details the methodology employed, which includes the construction of the test bench, the installation of equipment and the connection of circuits with the purpose of implementing and evaluating industrial process control solutions oriented to industry 4.0. Several tests were performed, such as the control of three-phase motors, communication protocols and remote control through the Internet of Things, evidencing the effectiveness of the Arduino Opta for automation in small and medium-sized companies. With this approach, an accessible, functional and adaptable alternative is offered for the development of process control and automation in industries and academia.

Keywords: Arduino Opta, PLC, Industry 4.0, Test Bench, Modbus, Siemens S7-1200.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice de Contenidos	v
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas	vii
I Introducción	1
II Metodología	2
II-A Construcción del banco de pruebas con Arduino Opta	2
II-B Instalación de los equipos en el banco de pruebas.	4
II-C Circuitos de conexión de los diferentes elementos del banco de pruebas.	4
III Pruebas y Resultados.	5
III-A Activación de la licencia de Arduino Opta.	5
III-B Entradas Digitales	5
III-C Entrada analógica al PLC mediante un potenciómetro.	6
III-D Lectura de señal Analógica mediante el módulo Arduino Din Celsius.	7
III-E Implementación de un contador ascendente y un contador descendente.	8
III-F Implementación de temporizadores en el PLC Arduino Opta.	8
III-G Comunicación Modbus TCP/IP entre dos PLCs arduino Opta.	9
III-H Conectividad IoT.	9
III-I Comunicacion Modbus TCP/IP entre un PLC Arduino Opta y un PLC Siemens S7-1200.	10
IV conclusiones	11
REFERENCIAS	12

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Arduino Opta WiFi [5].	3
2	Kit educativo de Arduino Opta [5].	3
3	Arduino Din Celsius [5].	3
4	Arduino DIN Simul8 [5].	3
5	Banco de pruebas.	4
6	Soldado de la placa arduino simul8.	4
7	Conexión de pulsantes y Arduino Din simul8	4
8	Control de Arduino Din Celsius	4
9	Circuito de Potencia	5
10	Activación de la licencia de Arduino Opta.	5
11	Esquema en Ladder de control secuencial de dos motores.	6
12	Arranque secuencial de dos motores trifásicos.	6
13	Esquema en Ladder.	6
14	Montaje de un potenciómetro.	7
15	Arranque de un motor trifásico mediante una señal analógica.	7
16	Conversión y Esquema en Ladder.	7
17	Control y monitoreo de temperatura con Arduino Din Celsius.	7
18	Esquema en ladder de dos contadores.	8
19	Control de mezcla y vaciado.	8
20	Esquema en ladder de secuencia cíclica para control de motores trifásicos.	9
21	Secuencia cíclica con temporizador.	9
22	a) Datos servidor Modbus b) Datos cliente Modbus.	9
23	Comunicación Modbus TCP/IP.	9
24	Diagrama en ladder del arranque de un motor.	10
25	Interfaz en Arduino Cloud.	10
26	Arranque de un motor trifásico con IoT.	10
27	Bloque servidor en TIA Portal.	11
28	Monitor Serial del Arduino Opta Cliente.	11
29	Comunicación Modbus TCP/IP en un banco de pruebas.	11

ÍNDICE DE TABLAS

I	Entradas digitales y Salidas	6
II	Entradas Analógicas y Salidas con un potenciómetro.	6
III	Entradas Analógicas y Salidas con un sensor de temperatura.	7
IV	Entradas y Salidas de un sistema de control de mezcla y vaciado.	8
V	Entradas y Salidas de un control secuencial.	8

Desarrollo de un banco de pruebas con Arduino Opta WiFi para el control de procesos en la Industria 4.0.

Roman Andres Bustamante Vivar
Escuela de Ingenieria Electronica
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
andres97@es.uazuay.edu.ec

Resumen—Los sistemas industriales exigen soluciones prácticas y accesibles, con el fin mejorar la eficiencia y el control de procesos. Este trabajo presenta la implementación de un banco de pruebas con Arduino Opta WiFi para el control de procesos. Se detalla la metodología empleada, que incluye la construcción del banco de pruebas, la instalación de equipos y la conexión de circuitos con el propósito de implementar y evaluar soluciones de control de procesos industriales orientado a la industria 4.0. Se realizaron diversas pruebas, como el control de motores trifásicos, protocolos de comunicación y el control remoto a través de Internet de las Cosas, evidenciando la efectividad del Arduino Opta para la automatización en pequeñas y medianas empresas. Con este enfoque, se ofrece una alternativa accesible, funcional y adaptable para el desarrollo control de procesos y la automatización en industrias y en el ámbito académico.

Palabras clave—Arduino Opta, PLC, Industria 4.0, Banco de pruebas, Modbus, Siemens S7-1200.

I. INTRODUCCIÓN

En un contexto de rápido avance tecnológico, las industrias no se pueden estancar. No obstante, para muchas pequeñas y medianas empresas (PYMES) confrontan desafíos significativos al introducir tecnologías relacionadas con la industria 4.0, como la carencia de conocimiento o recursos limitados. Por tanto, es crucial investigar los factores que influyen en la implementación de la industria 4.0 en las pequeñas industrias [1]. Para abordar esta problemática, surge la necesidad de investigar cómo las pequeñas empresas pueden tener herramientas de automatización sin grandes inversiones. En respuesta, Arduino ha desarrollado un PLC basado en hardware abierto, el cual ofrece una alternativa económica y flexible a los controladores industriales tradicionales. Arduino Opta ofrece características robustas, como 8 entradas configurables tanto analógicas como digitales, con un rango de 0 a 24 voltios. Asimismo, cuenta con cuatro salidas a relés [2]. Permitiendo así a pequeñas empresas experimentar con diversas configuraciones de automatización y control de procesos. Además, un problema importante que enfrentan los estudiantes de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Azuay es el poco conocimiento sobre la Industria 4.0 y los equipos necesarios para desenvolverse en esta nueva

era de industrialización. Esta brecha en su formación les impide aprovechar al máximo los avances tecnológicos que están transformando el sector industrial, y podría afectar su competitividad en el mercado laboral. Un PLC es un ordenador clave en la automatización y control de procesos, el lenguaje Ladder es el más utilizado para programarlos y el más popular en la industria [3]. También se puede programar usando cinco lenguajes como se define en IEC-61131-3 [4]. Aunque su simplicidad lo hace popular, depender solo de Ladder puede ser un problema, ya que dificulta la implementación de nuevas tecnologías y la integración de nuevos dispositivos. Es aquí donde Arduino Opta lidera y se presenta como un dispositivo compatible con lenguajes de PLC y lenguajes de programación de Arduino basado en código abierto. De esta manera permite a los profesionales ampliar los proyectos de automatización gracias a su amplia gama de bibliotecas y recursos disponibles [5]. Además, en aplicaciones donde las respuestas en tiempo real son esenciales, como en el control de maquinaria o procesos industriales complejos y la capacidad de procesar datos localmente. Aquí es donde Arduino Opta WiFi destaca, gracias a su conectividad WiFi y Bluetooth integrados en el PLC y las diversas opciones de conectividad hacen que mantener todo bajo control sea muy sencillo a través de paneles de control en tiempo real combinados con la intuitiva nube de Arduino (o servicios de terceros) [5]. Por otro lado, soluciones como los PLCs de Siemens requieren la adición de módulos específicos, como el Scalance W, para conectarse a redes WiFi, lo que incrementa tanto los costos como la complejidad de implementación. Dado la expansión de los sistemas de control de procesos aplicados a la industria 4.0 se han empezado investigaciones para desarrollar plataformas tecnológicas que optimicen su eficiencia y precisión, sobresaliendo el uso del Arduino Opta para integración y monitorización de procesos industriales. A continuación, se abordarán los enfoques más relevantes en el desarrollo de bancos de prueba y soluciones tecnológicas, así como los avances recientes que han sentado las bases para esta investigación. En este contexto, un estudio realizado por Alessandro Borgherini, evaluó un controlador lógico programable (PLC) Arduino Opta

en sistemas HVAC-R, demostrando un impacto positivo de los dispositivos inteligentes en la industria, estos pueden ser sensores, software u otras tecnologías que usan algoritmos de aprendizaje automático para gestionar la distribución de calor y aire en edificios. El proyecto probó que Arduino Opta WiFi es una herramienta versátil en automatización, mostrando eficiencia en la comunicación Modbus y como dispositivo de procesamiento [2]. En otro estudio realizado por J. A. C. Yanez y D. D. G. Nuñez propone la implementación de un banco de pruebas de sistemas industriales didácticos mediante un PLC S7-1200, con el objetivo de mejorar la formación práctica de los estudiantes. Este banco fue construido para ser ergonómico, compacto y de fácil instalación y se ha diseñado para controlar motores, variadores de frecuencia y sensores, simulando un entorno industrial. En conclusión, el banco de pruebas fue implementado con éxito, cumpliendo con los objetivos del proyecto. La función y las capacidades del banco de pruebas aseguran un excelente aprendizaje académico. Además, el banco de pruebas también incrementa las habilidades prácticas de los estudiantes, preparándose para la productividad futura en la industria [6]. En el trabajo desarrollado por Yu-cong Kuang titulado comunicación entre un arduino y un PLC basado en el protocolo ModBus, se describe una comunicación entre un PLC y un Arduino usando el protocolo Modbus en una configuración maestro esclavo, donde el PLC actúa como maestro y el Arduino actúa como esclavo, ambos se comunican mediante una conexión RS485. El sistema permite controlar tanto al PLC como al Arduino, a través de las entradas y salidas programables, facilitando el encendido y apagado de periféricos en el Arduino a través de señales enviadas desde el PLC. Kuang utiliza la biblioteca SimpleModbusSlave lo que facilita la implementación del protocolo [7]. El estudio titulado Diseño e implementación de un entorno de desarrollo en diagrama de escalera (HT-PLC) para Arduino con conexión Ethernet, desarrollado por H. I. Inzunza Villagomez, B. Perez Arce, S. I. Hernandez Ruiz, y J. A. Lopez Corella propone un entorno de desarrollo en diagrama escalera para Arduino con conexión Ethernet, permite utilizar placas Arduino como controladores lógicos programables enfocado a la automatización. En el entorno de desarrollo llamado HT-PLC, permite programar y realizar diagramas de escalera en la placa de Arduino con Ethernet facilitando la comunicación utilizando el IDE visual Studio con el lenguaje C, este proyecto está orientado principalmente a la educación y al movimiento "Maker" o de bricolaje en automatización, dando una solución al aprendizaje de control de procesos y programación en Ladder sin recurrir a altos costos de un PLC comercial [8]. En el presente trabajo de investigación, titulado, Propuestas de soluciones IoT para la Industria 4.0 nacional, llevado a cabo por Dioen Biosca y Ariel Balloira Reyes, propone soluciones IoT 4.0 para la industria nacional. Donde el sistema permite la supervisión remota de los procesos industriales mediante sensores conectados a un PLC que envía datos a la nube. Resalta aplicaciones como robots autónomos, monitoreo por SMS, control con RFID y supervisión de temperatura y humedad. Concluyendo que estas

tecnologías mejoran la gestión de recursos industriales [9]. En este análisis identificado como creación de una comunicación ethernet entre un PLC Simatic S7-1200 y Arduino Mega para una plataforma móvil omnidireccional y equipo industrial, consiste en crear un sistema de comunicación Ethernet para conectar un PLC con Arduino Mega a través de una Raspberry Pi. Para la configuración del Hardware y software se instaló el sistema operativo Raspbian en la Raspberry Pi y se configuraron las direcciones IP para ambos dispositivos. Para la comunicación, se utilizó la librería node-redcotrib-s7 y se desarrolló una conexión serial entre la Raspberry pi y el Arduino mega, configurando los pines necesarios como entradas y salidas. Esto facilitó que el PLC pueda leer y manejar en tiempo real el estado de los sensores y actuadores conectados al Arduino Mega [10]. A continuación, se presenta un trabajo similar al anterior, en este caso se trata del Control de un robot cartesiano mediante PLC S7-1200 de Siemens y Arduino para impresión 3D. Los Autores menciona que el sistema de control se apoyan en un PLC Siemens S7-1200, una placa Arduino Mega 2560 y un módulo Ethernet Shield 2.0. Para lograr la comunicación entre el Arduino y el PLC, utilizaron una conexión Ethernet, haciendo uso del protocolo de comunicación UDP (User Datagram Protocol). Además, usa el formato G-Code que es un lenguaje de descripción de operaciones. El control del robot cartesiano utiliza una interfaz HMI. Se ha diseñado un sistema donde Arduino lee un archivo G-CODE, lo interpreta y calcula las instrucciones de movimiento, que son ejecutadas por el PLC [11].

II. METODOLOGÍA

A. Construcción del banco de pruebas con Arduino Opta

En esta sección se describe el enfoque y el procedimiento que se llevará a cabo para el Desarrollo de un banco de pruebas con Arduino Opta WiFi como componente principal, orientado al control de procesos en la industria 4.0. La investigación tiene un enfoque experimental, ya que se propone diseñar, construir e implementar una maqueta funcional para realizar pruebas en un entorno controlado. Empezando con las características que ofrece Arduino Opta tenemos un potente microcontrolador STMicroelectronics STM32H747XI (ARM Cortex-M7 + Cortex-M4) que es el núcleo de todos los procesos. Además, cuenta con una conectividad completa como WiFi integrado con un módulo Murata 1DX compatible con Wi-Fi 2.4 GHz y Bluetooth Low Energy (BLE) y Ethernet para la comunicación industrial con protocolos como Modbus TCP. Para la programación y depuración dispone de un puerto Usb-C. Gracias a que sus 8 entradas son configurables por software, se definirán seis entradas como digitales y dos como analógicas. Asimismo, dispone de cuatro salidas de relé, lo que permite ampliar sus capacidades de control. En tanto a la compatibilidad con software. Para programación en lenguaje Ladder (LD), Structured Text (ST) y Functional Block Diagram (FBD) se usa Arduino PLC IDE. Por otro lado, se puede utilizar Arduino IDE para programar en C++, lo que brinda mayor flexibilidad a la hora de desarrollar aplicaciones personalizadas según las necesidades del proyecto. Arduino

oferta un kit educativo, en el que es posible escoger el Arduino Opta como parte de este kit. Se ha seleccionado el Arduino Opta WiFi dentro de los 3 PLCs que ofrece la empresa ya que es el más completo y se ajusta a las necesidades de este proyecto, tiene características como entradas y salidas tanto analógicas como digitales. La característica más importante es su capacidad de conectarse de manera eficiente a redes WiFi, facilitando así la comunicación entre dispositivos y sistemas de control industrial [5]. Además, ofrece características de comunicación industrial como Modbus, Ethernet, RS485 y Bluetooth. Este PLC lo podemos observar en la “Fig. 1” y los elementos que componen este kit educativo lo vemos en la “Fig. 2”, la selección de Arduino Opta WiFi se debe a su compatibilidad con entornos de control y su capacidad para tener ya integrado módulos de comunicación inalámbrica, lo cual es clave para la industria 4.0.



Fig. 1: Arduino Opta WiFi [5].

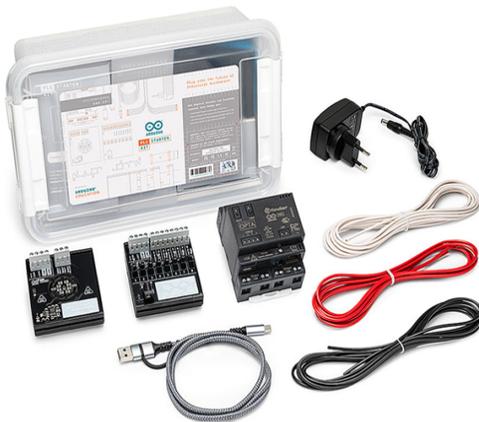


Fig. 2: Kit educativo de Arduino Opta [5].

Para realizar la programación del PLC Arduino Opta WiFi se utilizará el software Arduino PLC IDE, el cual permite desarrollar el programa usando cualquiera de los 5 lenguajes de programación compatibles, además este software ofrece

la ventaja de ser de Código abierto. Para la realización de las pruebas se usará el sensor de temperatura que incluye el kit educativo de Arduino, este sensor es el TMP236A2DBZR como lo podemos ver en la “Fig. 3”. Cuenta con las siguientes características. Un rango de temperatura de 10 °C a 125 °C con una precisión de +/- 2.5 °C, 2 circuitos de calefacción independientes, 2 conectores de +24v DC, 2 conectores GND, 2 conectores para los circuitos de calefacción independientes (24V), 1 conector para la tensión del sensor de temperatura.

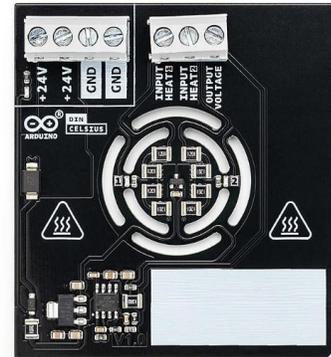


Fig. 3: Arduino Din Celsius [5].

Otro dispositivo que incluye el kit educativo de Arduino es el Arduino DIN Simul8 que se puede ver en la “Fig. 4”. Este cuenta con las siguientes características. 8 interruptores de palanca SPST, 8 leds, 2 conectores de +24 V DC, 2 conectores para GND, 8 conectores que enlazan la salida de los interruptores de placa (0-10V), un sensor de temperatura TMP 236 A2 y dos resistencias de calentamiento.

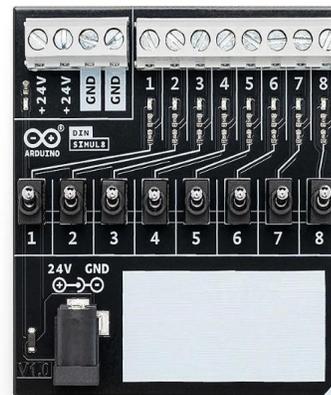


Fig. 4: Arduino DIN Simul8 [5].

El kit educativo de Arduino Opta viene con tres cables de doble extremo de 20 cm en colores blanco, negro y rojo. Estos cables son esenciales para conectar el Arduino Opta con el Arduino Simul8 y el Arduino Din Celsius, facilitando la integración entre los dispositivos.

B. Instalación de los equipos en el banco de pruebas.

Para continuar con el diseño de la estructura, se tiene previsto seguir el esquema mostrado en la “Fig. 5”. En el tablero, el elemento principal será el PLC Arduino Opta WiFi, acompañado por un Arduino DIN Simul8, un Arduino DIN Celsius, además de un *breaker* trifásico, uno bifásico y otro monofásico. También se integrarán tres contactores y un relé térmico. En la parte inferior del banco de pruebas, se dispondrán seis pulsadores, nueve bornes para las salidas de los contactores, ocho bornes para las salidas del PLC Arduino Opta, cuatro lámparas piloto y dos tomacorrientes de 110 V AC que servirán como fuente de alimentación.

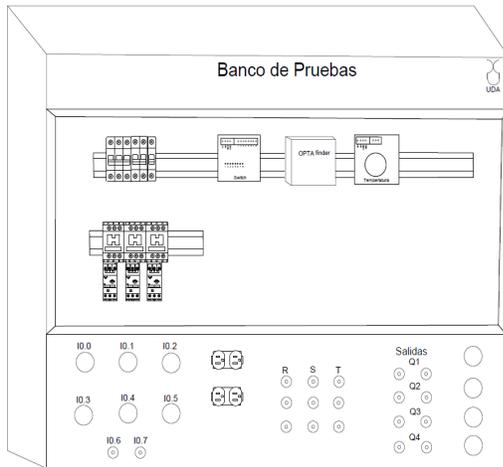


Fig. 5: Banco de pruebas.

La instalación de los pulsadores fue llevada a cabo luego de completar el montaje de todas las partes eléctricas y electrónicas del sistema. Los mismos fueron conectados en paralelo con la placa Arduino DIN Simul8 y, mediante este arreglo, se logró que ambos funcionaran al mismo tiempo y que cualquiera de ellos activara el circuito. Para concluir con esta configuración, se tuvo que actualizar la conexión del cableado de la placa. Es decir, se realizó un punto de soldadura en el terminal del GND del Arduino DIN simul8. Gracias a esta intervención fue posible encontrar la referencia de tierra común entre todos los pulsadores, así se muestra “Fig. 6” de esta manera, los pulsadores cumplen su funcionamiento sin afectar el rendimiento de la placa.

C. Circuitos de conexión de los diferentes elementos del banco de pruebas.

La “Fig. 7” muestra el esquema de conexión entre el Arduino Opta WiFi y el Arduino DIN Simul8. Para esta configuración, se utilizan las seis primeras entradas del Opta, las cuales se conectan directamente a los seis interruptores del Simul8. Además, los pulsadores están conectados en paralelo con el Arduino DIN Simul8, lo que permite un control uniforme de las señales. Gracias a esta disposición, el sistema puede ser comandado tanto desde los pulsadores como desde el Simul8, asegurando un funcionamiento correcto y versátil.



Fig. 6: Soldado de la placa arduino simul8.

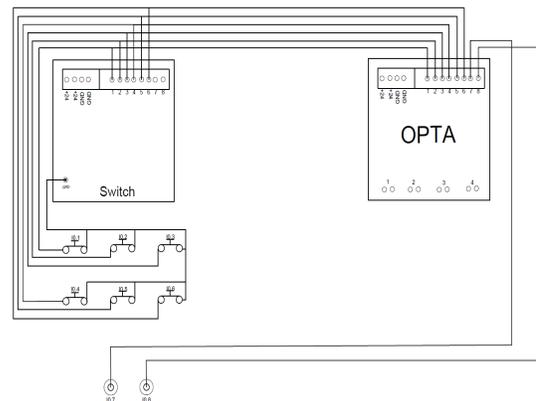


Fig. 7: Conexión de pulsantes y Arduino Din simul8

El esquema de la “Fig. 8” ilustra el circuito de conexión entre el Arduino Opta WiFi, el Arduino DIN Simul8 y el Arduino DIN Celsius. Este circuito se utilizará para gestionar lazos de control de temperatura y monitorear la lectura del sensor. Para ello, la octava entrada del Arduino Opta se conecta al *Output Voltage* de la placa DIN Celsius, mientras que las entradas *Input Heat 1* e *Input Heat 2* se enlazan a los contactos de salida de los relés 2 y 3 del Arduino Opta, respectivamente.

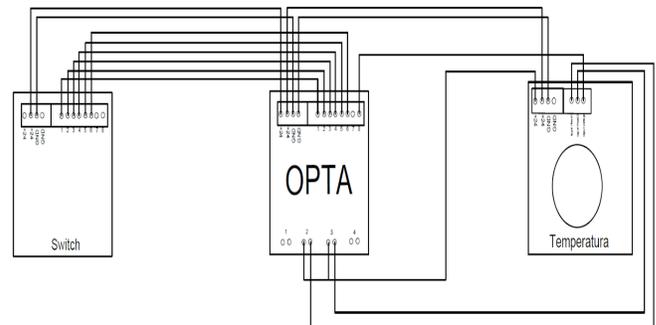


Fig. 8: Control de Arduino Din Celsius

En la “Fig. 9” se presenta el esquema de control de los contactores, lámparas piloto y salidas del PLC, los cuales

son comandados por el Arduino Opta WiFi. La bobina de los contactores está conectada al Arduino Opta y, a su vez, el contactor recibe alimentación de la red bifásica. Para su protección contra sobrecargas, se usará un relé térmico. A la salida de cada contactor se han conectado tres borneras, representando las fases R, S y T. Para ello, se utilizarán tres salidas del Arduino Opta, mientras que la salida número 4 quedará disponible para diversas aplicaciones. Además, el esquema incluye la conexión de dos tomacorrientes de 110 V, los cuales pueden utilizarse para alimentar otros dispositivos. Adicionalmente, se conectan lámparas piloto a cada salida del PLC.

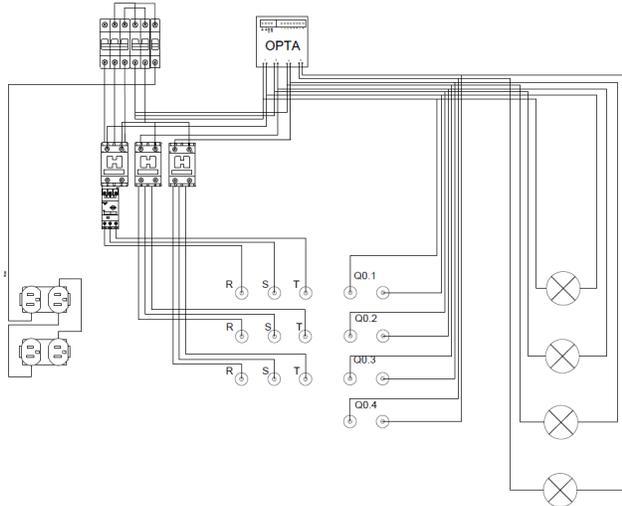


Fig. 9: Circuito de Potencia

Así mismo, se llevará a cabo la integración de la red de comunicación industrial a través de Modbus TCP/IP entre dos PLCs Arduino Opta. De igual manera, se probará la comunicación Modbus entre el PLC Siemens S7-1200 y el Arduino Opta WiFi

III. PRUEBAS Y RESULTADOS.

A. Activación de la licencia de Arduino Opta.

Empezando con la primera conexión del Arduino Opta con la computadora se procede a descargar el software PLC IDE desde la página oficial de Arduino que permitirá realizar la programación en cualquiera de los cinco lenguajes que admite el Arduino Opta. Una vez completada la descarga, se ejecuta el archivo para comenzar la instalación. Luego de que el programa se encuentre instalado, se conectará el PLC a la computadora mediante un cable USB tipo C, de inmediato, el programa detectará el PLC, pero en esta ocasión la licencia estará desactivada, reflejando un estatus de no licencia. Con el Arduino Opta conectado a la computadora, al inicio del programa se selecciona el puerto COM al cual esté conectado

el PLC. Luego, se hace clic en *Download* para actualizar el *Bootloader*. A continuación, se hace clic en *Activate PLC runtime*, se espera a que el proceso finalice y se reinicia el Arduino Opta presionando el botón de *Reset*. Después, se vuelve a conectar el Arduino Opta y, esta vez, la licencia mostrará un estatus de *ok*, indicando que ya está activada. Reflejándonos el programa de la siguiente manera “Fig. 10”.



Fig. 10: Activación de la licencia de Arduino Opta.

Una vez finalizado el ensamblaje del banco de pruebas, se procede con la realización de las pruebas prácticas. Como primer paso, se realiza la configuración de las entradas digitales y analógicas. En este caso, se ha optado por incluir seis entradas digitales y dos entradas analógicas, enumerándolas de la siguiente manera: IW0.0, IW0.1, IW0.2, IW0.3, IW0.4 e IW0.5 como entradas digitales, conectadas directamente al Arduino Dim Simul8 y, a su vez, en paralelo a los pulsadores instalados en el banco de pruebas, mientras que IW0.6 e IW0.7 están destinadas a bornes individuales como entradas analógicas. Esta configuración permite una interacción eficiente entre el banco de pruebas y el sistema de control.

B. Entradas Digitales

En esta práctica se implementó el control secuencial de dos motores trifásicos con pulsantes de arranque y paro, utilizando las entradas digitales del PLC, específicamente IW0.0 e IW0.1, las cuales se conectaron a dos pulsantes y, en paralelo, al Arduino Din Simul8. De esta manera, fue posible comandar los motores de dos maneras diferentes. En la Tabla I se presenta la configuración de las entradas, actuadores y su función. El sistema permitió que el Motor 1 se activará al presionar el pulsante de arranque y se mantuviera encendido mediante un contacto de auto-retención. Posteriormente el motor 2 se podrá activar solo si el motor 1 está encendido mediante la activación de su propio pulsante de arranque de igual manera el motor 2 usa un circuito de autorretención y cada uno de los motores se puede detener con un pulsante de paro. Esta lógica asegura un arranque ordenado de los motores como lo podemos ver en el siguiente esquema de lenguaje ladder “Fig. 11”.

TABLA I: Entradas digitales y Salidas

Tipo	Entradas	Función	Salida	Función
Digital	IW0.0	Arranque	QX0.0	Motor1
Digital	IW0.1	Paro		
Digital	IW0.2	ArranqueM2	QX0.1	Motor2
Digital	IW0.3	ParoM2		

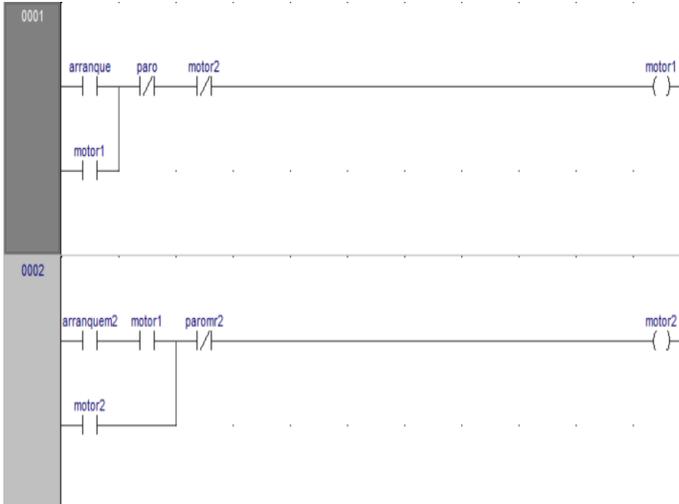


Fig. 11: Esquema en Ladder de control secuencial de dos motores.

Para la instalación en el banco de pruebas se procedió a conectar dos motores trifásicos a las fases R, S y T, respectivamente. Ambos motores fueron cableados en una configuración de arranque directo garantizando así un arranque inmediato. Así se muestra en la “Fig. 12”.

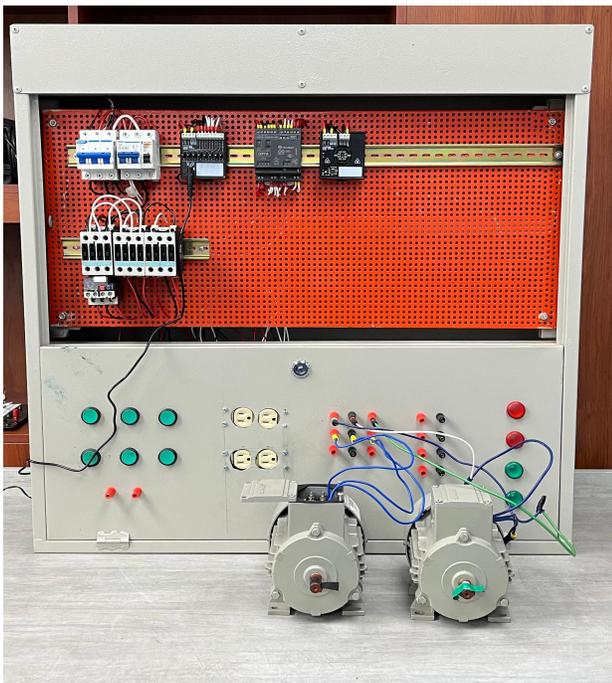


Fig. 12: Arranque secuencial de dos motores trifásicos.

C. Entrada analógica al PLC mediante un potenciómetro.

Para el desarrollo de esta prueba, se implementó la adquisición de una señal analógica mediante un potenciómetro de 100k. Con el fin de habilitar las entradas analógicas en el PLC, en la Tabla II se presenta la configuración de la entrada y salidas usadas, para esto fue necesario realizar la configuración correspondiente dentro del software Arduino PLC IDE. Dentro del circuito programado en lenguaje Ladder, se incluyó una instrucción de comparación que permite activar un motor trifásico cuando el valor de la señal analógica supera los 10,000, si la lectura se encuentra por debajo de ese umbral, el motor permanece apagado. Como se muestra en la “Fig. 13”.

TABLA II: Entradas Analógicas y Salidas con un potenciómetro.

Tipo	Entradas	Función	Salida	Función
Análoga	IW0.6	leer entrada	QX0.0	Motor
Análoga	IW0.7			

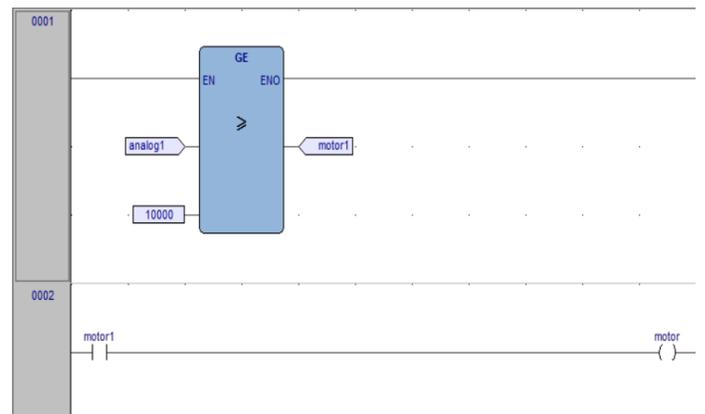


Fig. 13: Esquema en Ladder.

Para esta configuración, se utilizó la entrada analógica IW0.6 del Arduino Opta, la cual está conectada directamente al potenciómetro de 100k, el cual es alimentado con una fuente de 5 voltios. El valor de voltaje que entra al PLC pasará por el convertidor analógico digital (A/D), que transforma su señal continua en un valor numérico que puede ser procesado por el programa de control. El circuito que incluye el potenciómetro fue montado sobre un protoboard para facilitar su conexión y organización. El montaje se puede observar en la “Fig. 14”.

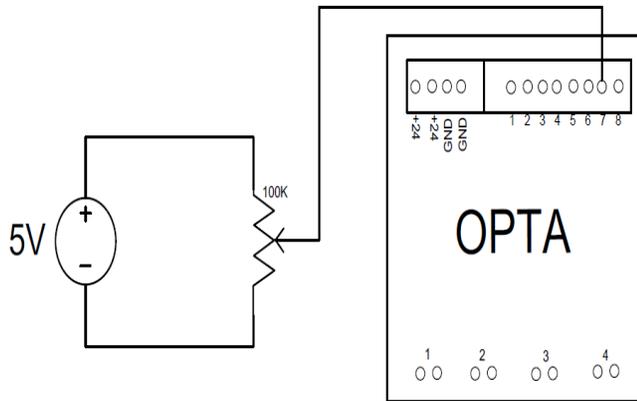


Fig. 14: Montaje de un potenciómetro.

En el montaje del banco de pruebas se describe la conexión del motor trifásico, así como la conexión de un cable conectado desde la salida del potenciómetro hacia a la entrada analógica del Arduino Opta, tal como se muestra en la siguiente “Fig. 15”.

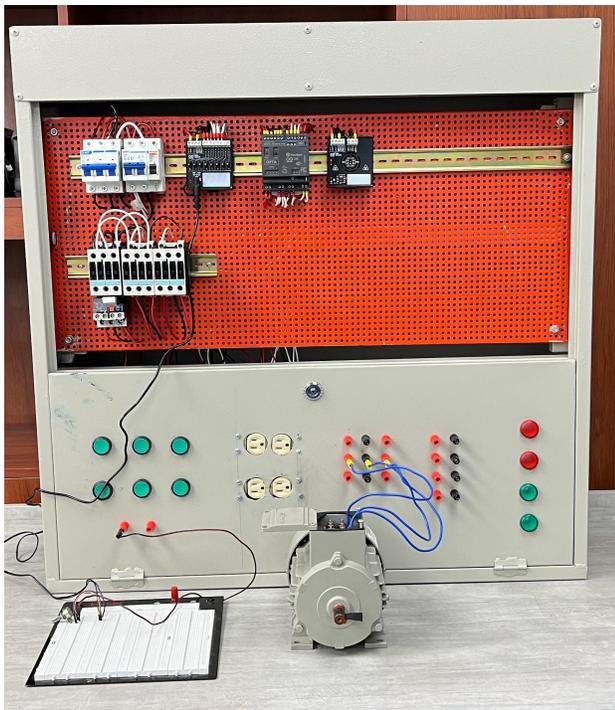


Fig. 15: Arranque de un motor trifásico mediante una señal analógica.

D. Lectura de señal Analógica mediante el módulo Arduino Din Celsius.

Para esta prueba, se simuló el control y monitoreo de temperatura en una cámara de pruebas mediante Arduino Din Celsius. El objetivo fue recrear un entorno con condiciones ambientales variables para observar el comportamiento del sistema en distintos escenarios. En esta prueba, se realizó la adquisición de una señal analógica proveniente del sensor

de temperatura TMP236 A2, incorporado en dicha placa. La Tabla III describe la asignación de los puertos de entrada analógica y salidas. Esta practica tiene como objetivo poner a prueba componentes eléctricos o materiales sensibles a la temperatura. Mediante las resistencias de calentamiento, se puede elevar la temperatura de manera controlada dentro de una cámara de pruebas. Se desarrolló un programa en lenguaje estructurado que toma la lectura analógica, la convierte en un voltaje real, y posteriormente, traduce ese voltaje a una lectura en grados Celsius. Lo cual queda reflejado en la representación mostrada en la “Fig. 16”, además de la implementación del lenguaje ladder para controlar las resistencias de calentamiento.

TABLA III: Entradas Analógicas y Salidas con un sensor de temperatura.

Tipo	Entradas	Función	Salidas	Función
Digital	IW0.0	Activa rele3	QX0.2	Calienta resistencia1
Digital	IW0.1	Activa rele4	QX0.3	Calienta resistencia2
Análoga	IW0.7	leer entrada		

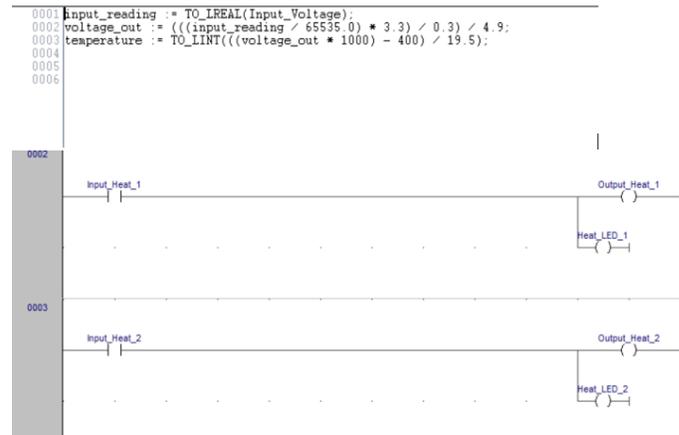


Fig. 16: Conversión y Esquema en Ladder.

Para la aplicación se uso la entrada IX0.7. Esta se declaró como entrada analógica. Para la activación de una resistencia de calentamiento, se empleó la salida QX0.2 del Opta, y para la segunda resistencia, se utilizó la salida QX0.3. Los dos LEDs de la placa alertan que las resistencias de calentamiento están prendidas, así lo podemos evidenciar en la “Fig. 17”



Fig. 17: Control y monitoreo de temperatura con Arduino Din Celsius.

E. Implementación de un contador ascendente y un contador descendente.

En esta prueba se diseñó un sistema de control de mezcla y vaciado por conteo de lotes. El sistema funciona con dos contadores, uno ascendente y el otro descendente, y se incluye un botón para reiniciar los contadores. La Tabla IV especifica la configuración de las entradas y salidas implementadas en el Arduino Opta. De tal manera, cada vez que un lote es cargado, se detecta mediante un sensor que en este caso se simula con un pulsador, incrementando el contador C1. Cuando se han cargado 5 lotes, el contador llega a su máximo nivel y se activa inmediatamente un motor de mezcla. Luego de un tiempo controlado se reinicia el contador. Posteriormente, comienza el vaciado. Por cada evento de vaciado se activa el contador descendente C2, que parte desde 5, y cuando llega a 0 se activa el motor de vaciado, que puede representar una bomba que transfiere el contenido a otro tanque o sistema. En la “Fig. 18” se muestra el esquema en lenguaje ladder del sistema.

TABLA IV: Entradas y Salidas de un sistema de control de mezcla y vaciado.

Tipo	Entradas	Función	Salidas	Función
Digital	IW0.0	Subir	QX0.0	Activa Motor1
Digital	IW0.1	Reset		
Digital	IW0.3	Bajar	QX0.1	Activa Motor2

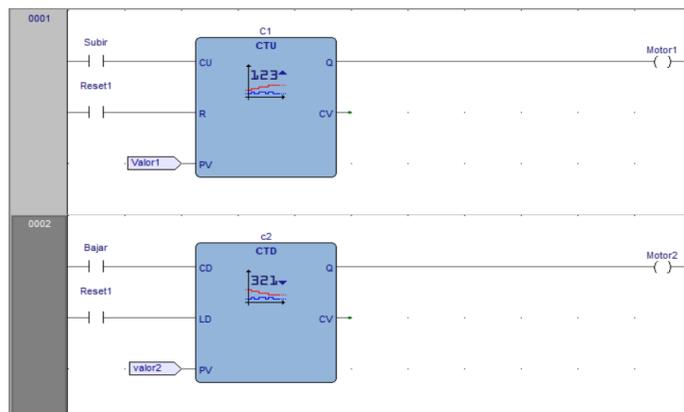


Fig. 18: Esquema en ladder de dos contadores.

La activación del contactor se realiza a través de su bobina, la cual es energizada por una salida digital del PLC Arduino Opta. Cuando se presiona el pulsador subir, el PLC envía la señal que activa la bobina del contactor, cerrando sus contactos y permitiendo así el paso de corriente hacia el motor. De igual manera, sucede cuando se pulsa bajar. En la “Fig. 19” se puede ver cómo se aplicó realmente el sistema en el banco de pruebas, mostrando su funcionamiento en un entorno controlado.

F. Implementación de temporizadores en el PLC Arduino Opta.

Se realizó una prueba de control secuencial con temporización, la cual consistió en el arranque escalonado de



Fig. 19: Control de mezcla y vaciado.

dos motores mediante el uso de un pulsador de inicio y temporizadores previamente configurados en la Tabla V, se evidencia la configuración de las entradas y salidas usadas en esta prueba. Al activarse el sistema con dicho pulsador, el motor M1 se encendía de forma inmediata, y tras un intervalo de 5 segundos, se ponía en marcha el motor M2 de manera automática. Como parte de las medidas de seguridad implementadas, se integró un pulsador de paro de emergencia, el cual permitía detener ambos motores en cualquier momento del ciclo operativo. Esta prueba permitió validar el correcto funcionamiento de la lógica de temporización, así como la efectividad del sistema de seguridad ante una eventual condición de emergencia. A continuación, en la “Fig. 20” se observa la programación en lenguaje ladder.

TABLA V: Entradas y Salidas de un control secuencial.

Tipo	Entradas	Función	Salidas	Función
Digital	IW0.0	ArranqueM1	QX0.0	Activa Motor1
Digital	IW0.1	ArranqueM2	QX0.1	Activa Motor2
Digital	IW0.3	PARO		

Para esta prueba, el montaje en el banco de pruebas consistió en la conexión de dos motores trifásicos, cada uno controlado por su propio contactor. Además, se declaró la entrada IW0.0 como pulsador de arranque y la entrada IW0.2 como pulsador de paro de emergencia. Esta configuración permitió realizar las pruebas de arranque secuencial de manera segura y controlada, asegurando tanto la activación correcta de los motores como una respuesta rápida en caso de ser necesario detener el sistema. La aplicación se visualiza en la “Fig. 21”.

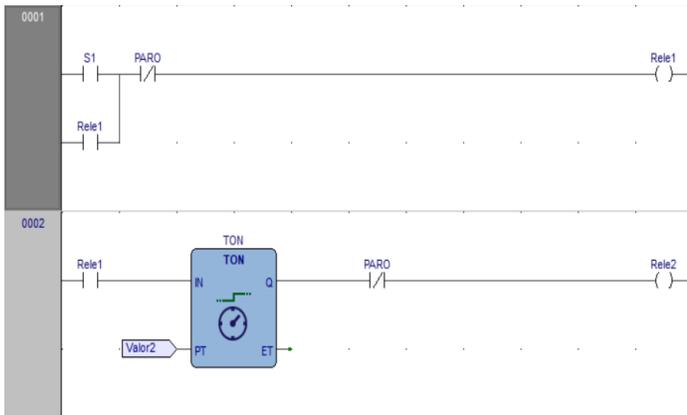


Fig. 20: Esquema en ladder de secuencia cíclica para control de motores trifásicos.

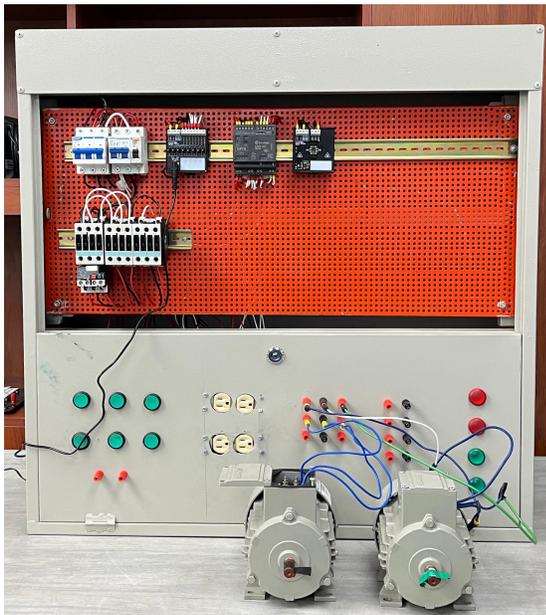


Fig. 21: Secuencia cíclica con temporizador.

G. Comunicación Modbus TCP/IP entre dos PLCs arduino Opta.

Durante esta prueba se realizó la comunicación Modbus TCP/IP entre dos controladores Arduino Opta, con la finalidad de intercambiar datos entre ellos. Uno de los dispositivos se configuró como servidor, asignándole la dirección IP 192.168.1.2, y fue programado para aumentar un contador hasta el valor de 2750, momento en el cual se reinicia automáticamente. El segundo dispositivo se configuró como cliente, con la IP 192.168.1.1, encargado de recibir el valor de ese contador. Como parte del control, se estableció que cada vez que el valor recibido sea múltiplo de 500, se active un relé (simulado con un LED indicador). Esta respuesta visual sirvió como confirmación de que la comunicación se estaba llevando a cabo de forma correcta. A continuación en la “Fig. 22” ”A” se presenta el conteo de una variable y en ”B” se presenta la adquisición de esta variable y se active una salida del Arduino

Opta.

```

A)
0001 | cnt := cnt + 1;
0002 |
0003 |
0004 | IF cnt >= 2750 THEN
0005 |   cnt := 0;
0006 | END_IF;
0007 |

B)
0001 | counter := counter_rec;
0002 |
0003 |
0004 | IF counter >= 500 THEN
0005 |   relay_1 := TRUE;
0006 |   LED1 := TRUE;
0007 | END_IF;
0008 |
0009 | IF counter >= 1000 THEN
0010 |   relay_2 := TRUE;
0011 |   LED2 := TRUE;
0012 | END_IF;
0013 |
0014 | IF counter >= 1500 THEN
0015 |   relay_3 := TRUE;
0016 |   LED3 := TRUE;
0017 | END_IF;
0018 |
0019 | IF counter >= 2000 THEN
0020 |   relay_4 := TRUE;
0021 |   LED4 := TRUE;
0022 | END_IF;
0023 |
0024 | IF counter >= 2500 THEN
0025 |   relay_1 := FALSE;
0026 |   relay_2 := FALSE;
0027 |   relay_3 := FALSE;
0028 |   relay_4 := FALSE;
0029 |   LED1 := FALSE;
0030 |   LED2 := FALSE;
0031 |   LED3 := FALSE;
0032 |   LED4 := FALSE;
0033 | END_IF;
  
```

Fig. 22: a) Datos servidor Modbus b) Datos cliente Modbus.

En el banco de pruebas, para realizar la conexión entre los dos Arduinos Optas se necesitó de un cable macho-macho rj-45 para establecer la comunicación entre los PLCs. En este caso, fue un cable categoría 6, así se evidenciamos en la “Fig. 23”



Fig. 23: Comunicación Modbus TCP/IP.

H. Conectividad IoT.

Para el desarrollo de esta práctica se empleó el arranque directo de un motor trifásico comandado desde el Arduino cloud, para realizar la comunicación entre el Arduino PLC y la nube de servicios de Arduino, fue necesario actualizar las bibliotecas del Arduino PLC IDE. Luego, se configuró y desarrolló un programa dentro del mismo entorno de desarrollo, en el cual se integraron las bibliotecas de Arduino Cloud para

establecer la conexión con la nube. En la programación mediante lenguaje Ladder lo podemos visualizar en la “Fig. 24”.

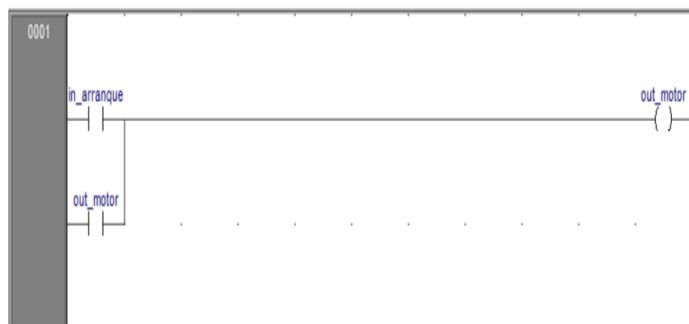


Fig. 24: Diagrama en ladder del arranque de un motor.

El funcionamiento es similar al arranque de un motor trifásico convencional, con la diferencia de que, en este caso, puede ser comandado de forma remota a través de Arduino Cloud, ya sea desde una computadora o desde un teléfono inteligente. En el caso de un dispositivo smartphone, no necesariamente debe estar conectado a la misma red de Wi-Fi, también funciona si tiene conexión a internet a través de la red de telefonía móvil. En la siguiente “Fig. 25” se puede apreciar la interfaz desde un smartphone, donde es posible realizar el accionamiento o la desactivación del Motor 1 y a su vez monitoriar el encendido o apagado del motor con un indicador led verde.



Fig. 25: Interfaz en Arduino Cloud.

Para la conexión del motor trifásico, es necesario implementar un enclavamiento del Motor 1 al momento de pulsar el botón de arranque. De esta manera, el Motor 1 permanecerá

encendido de forma continua hasta que sea desactivado manualmente desde la aplicación de Arduino Cloud. De esta manera se realizó en la “Fig. 26”.

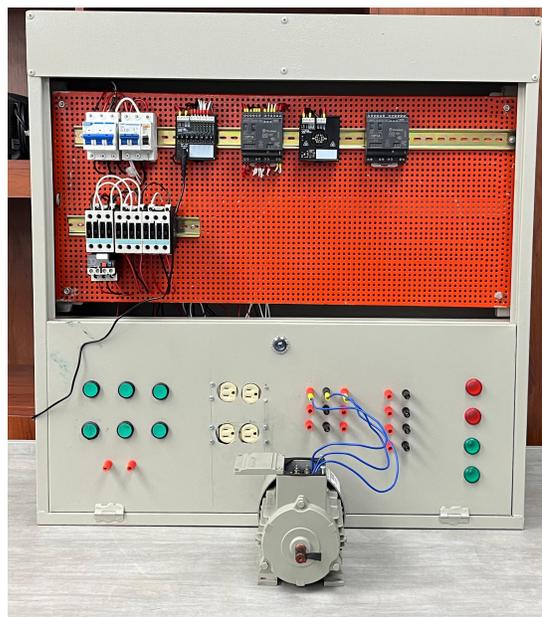


Fig. 26: Arranque de un motor trifásico con IoT.

I. Comunicación Modbus TCP/IP entre un PLC Arduino Opta y un PLC Siemens S7-1200.

Para llevar a cabo esta práctica fue necesario utilizar un router para direccionar tanto el Arduino Opta como el PLC de Siemens S7-1200. Se inició la configuración del Arduino Opta en el entorno Arduino IDE definiendo la dirección IP 192.165.1.4 y para el Siemens se configuró con el uso del TIA Portal la IP 192.165.1.3, los dos PLCs deben estar en la misma subred para garantizar la correcta comunicación, una vez establecidas las direcciones IP, se procedió a realizar la configuración en modo servidor en el PLC de Siemens S7-1200 para ello, en TIA Portal fue necesario la creación de dos variables de tipo *WORD*, que recibirán datos enviados de Arduino Opta. Posteriormente, se generó un bloque de datos *MB Server DB* como se ve en la siguiente “Fig. 27” en donde se asignara las entradas del bloque para que funcione correctamente como servidor.

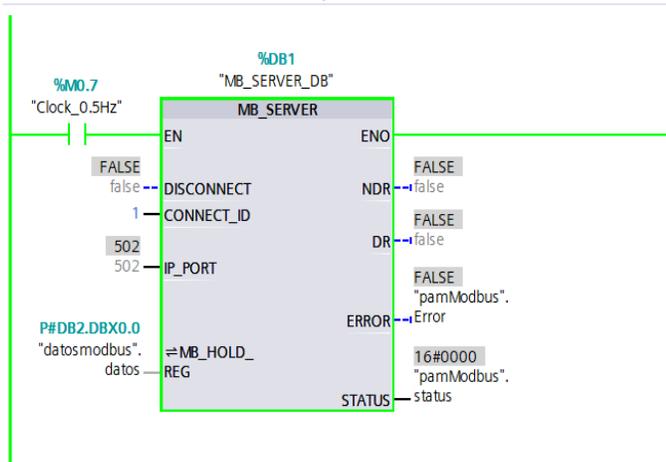


Fig. 27: Bloque servidor en TIA Portal.

Después, se configuró el Arduino Opta en el Arduino IDE, definiendo este PLC como cliente, el cual mandará datos a leer al PLC de Siemens para que se active y desactive una salida Q0.0 cada dos segundos. De este modo, se prueba que la comunicación se realizó correctamente. De otra manera, podemos verificar la comunicación en el monitor serial del Arduino IDE, como se puede ver en la siguiente “Fig. 28”.

```

Salida Monitor Serie X
Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'Opta' a 'COM8')
- Intentando conectar con el servidor Modbus TCP...
- Falló la conexión con el servidor Modbus!
- Intentando conectar con el servidor Modbus TCP...
- Falló la conexión con el servidor Modbus!
- Intentando conectar con el servidor Modbus TCP...
- Conectado al servidor Modbus!
-> Bobina 0x00 activada
-> Bobina 0x00 desactivada

```

Fig. 28: Monitor Serial del Arduino Opta Cliente.

A continuación en la “Fig. 29” se muestra la forma en la que queda montado en el banco de pruebas. Donde la laptop se encarga de la carga de los programas tanto en el Arduino opta como el Siemens s7-1200.

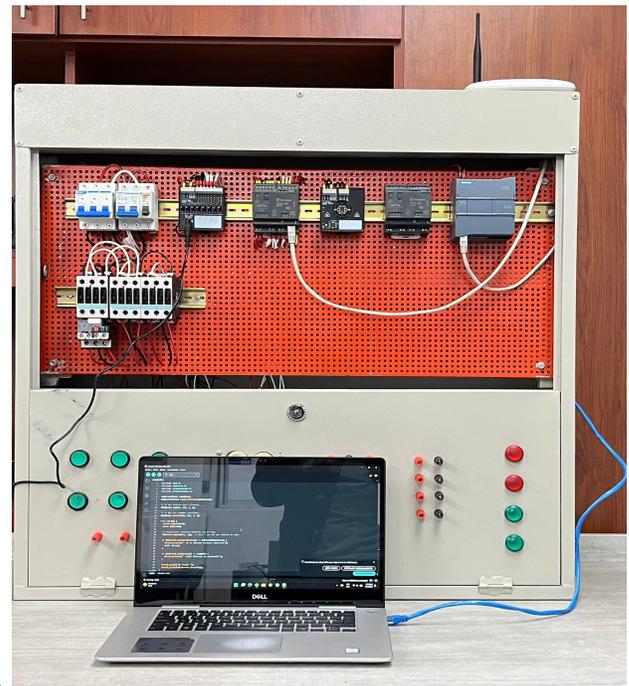


Fig. 29: Comunicación Modbus TCP/IP en un banco de pruebas.

IV. CONCLUSIONES

El uso del Arduino Opta WiFi en la industria 4.0 orientado al control de procesos industriales ofrece una ventaja significativa al incorporar WiFi, conectividad IoT sin interrupciones, soporte para lenguajes PLC estándar IEC 61131-3. Esto en la práctica resulta muy provechoso e indispensable, además de ser muy accesible y flexible frente a los sistemas de control tradicionales. Asimismo, la implementación del banco de pruebas demostró la viabilidad técnica del dispositivo en aplicaciones de control y automatización. La utilización del Arduino Opta WiFi junto con el entorno de programación Arduino PLC IDE permitió comprender las capacidades del equipo a nivel de programación y de integración con protocolos de comunicación, además facilitó la carga de distintos programas desarrollados para cada una de las pruebas prácticas realizadas. En cuanto al diseño y la construcción del banco de pruebas que simula los procesos industriales reales resultó adecuada, ya que facilitó la instalación de los dispositivos y la organización del cableado, asegurando un montaje eficiente y ordenado. Con ello se logró comprobar la suficiencia como banco de pruebas y la comprobación en ambientes académicos y de desarrollo. Asimismo, se realizaron pruebas prácticas con las entradas digitales del arduino opta, siendo estas exitosas al lograr conmutación de la entrada digital mediante pulsadores y a su vez del Arduino Simul8, de igual manera, fueron exitosas las prueba de adquisición de señales análogas haciendo uso de las entradas analógicas del PLC, demostrando eficiencia en las dos configuraciones. Un aspecto clave fue la implementación de la comunicación industrial con el protocolo modbus TCP/IP, se alcanzó satisfactoriamente la interoperabilidad entre los dos dispositivos Arduino Opta logrando la transferencia de datos en una configuración servidor/cliente. De manera exitosa se

logró implementar la comunicación Modbus TCP/IP entre un PLC Siemens S7-1200 y un PLC Arduino Opta, permitiendo el intercambio de datos entre los dos PLCs en una configuración servidor/cliente donde se configuró como servidor al S7-1200 de Siemens y como cliente al Arduino, asegurando una comunicación efectiva. A continuación, se realizó una prueba orientada a la implementación de un sistema Iot con Arduino cloud, donde se presentó un problema al momento de comunicar el software de Arduino PLC IDE con los servicios de arduino cloud con variables compartidas. El problema consiste en que, al momento de cargar el programa base desde el Arduino PLC IDE al arduino opta mediante un COM virtual se realiza la carga del programa al PLC correctamente. Posteriormente, se configuró el Arduino Opta en arduino cloud ingresando las credenciales de la red, pero en la sección de *things* no se mostró las lecturas de las variables compartidas, reflejando un estado de “desconectado”, dando a entender que el PLC no se encuentra conectado a Arduino Cloud. De tal manera, se contactó al soporte técnico de Arduino mediante un correo electrónico, donde registraron el problema y se proporcionó una solución. Esta consistía en realizar la actualización manual de las bibliotecas en *PowerShell* de la computadora y además de agregar la biblioteca de *ArduinoHttpClient*, versión 0.6.1 a la lista en el Arduino PLC IDE. Luego de realizar estos pasos, el Arduino Opta logró establecer la comunicación con Arduino Cloud, reflejando un estado de “en línea”. Con ello, se pudo realizar con éxito la supervisión y el arranque de un motor trifásico de manera remota desde un teléfono inteligente. Se propone ampliar el desarrollo del banco de pruebas integrando sensores y actuadores industriales, con el objetivo de implementar aplicaciones más avanzadas orientadas a la industria 4.0. Así mismo, se sugiere aprovechar el gran potencial de este banco de pruebas como herramienta didáctica en el ámbito académico para reforzar el aprendizaje práctico.

REFERENCIAS

- [1] M. Castillo-Vergara, “Industria 4.0 en la Pyme: Management Technology NÃEspecial,” *Journal of technology management innovation*, vol. 19, pp. 3 – 5, 00 2024.
- [2] A. Bovo, “Analisi e test di un programmable logic controller (plc): Arduino opta 8a.04-8320,” Tesi di Laurea, Università degli Studi di Padova, 2022, [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12608/53309>.
- [3] H. I. Inzunza Villagómez, B. Pérez Arce, S. I. Hernández Ruiz, and J. A. López Corella, “Design and implementation of a development environment on ladder diagram (ht-plc) for arduino with ethernet connection,” in *2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*, 2018, pp. 1–6.
- [4] F. Fronchetti, N. Ritschel, R. Holmes, L. Li, M. Soto, R. Jetley, I. Wiese, and D. Shepherd, “Language impact on productivity for industrial end users: A case study from programmable logic controllers,” *Journal of Computer Languages*, vol. 69, p. 101087, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590118421000630>
- [5] Arduino. (n.d.) Din celsius. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/plc-starter-kits> [Accessed: 30-Apr-2025]. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/products/din-celsius>
- [6] J. A. C. Yáñez and D. D. G. Núñez, “Implementación de un banco de pruebas de sistemas industriales didáctico mediante un plc s7-1200, en el laboratorio de ingeniería electromecánica de la universidad técnica de cotopaxi, periodo 2011,” Latacunga, Ecuador, 2012.

- [7] Y. Kuang, “Communication between plc and arduino based on modbus protocol,” in *2014 Fourth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control*, 2014, pp. 370–373.
- [8] H. I. Inzunza Villagómez, B. Pérez Arce, S. I. Hernández Ruiz, and J. A. López Corella, “Design and implementation of a development environment on ladder diagram (ht-plc) for arduino with ethernet connection,” in *2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA)*, 2018, pp. 1–6.
- [9] D. Biosca Rojas and A. Baloiira Reyes, “Propuestas de soluciones iot para la industria 4.0 nacional iot solution proposals for the national industry 4.0,” 03 2024.
- [10] M. Adrian, G. Constantin, A. Barsan, M. Crenganis, and C. Girjob, “Creating an ethernet communication between a simatic s7-1200 plc and arduino mega for an omnidirectional mobile platform and industrial equipment,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 968, p. 012022, 11 2020.
- [11] A. Portero, J. Lozano, and S. Salamanca, “Control de robot cartesiano mediante plc s7-1200 de siemens y arduino para impresión 3d,” in *Actas de las XXXIX Jornadas de Automática*. Badajoz, España: Universidad da Coruña, Servizo de Publicacións, mar. 6 2020, pp. 322–331.