



¡ POSGRADOS !

MAESTRÍA EN ————— ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

RPC-SO-19-No.277-2018

OPCIÓN DE
TITULACIÓN:

PROYECTOS DE DESARROLLO

TEMA:

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA IOT PARA LA
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES DE
FABRICACIÓN INTELIGENTE EN TIEMPO REAL A TRAVÉS DE LA
NUBE

AUTOR:

ALVARO ISAAC CARRERA HIDALGO

DIRECTOR:

CARLOS GERMAN PILLAJO ANGOS

QUITO - ECUADOR
2021

Autor:



Álvaro Isaac Carrera Hidalgo.

Ingeniero Industrial.

Magíster en Energías Renovables.

Candidato a Magíster en Electrónica y Automatización,
Mención en Informática Industrial por la Universidad
Politécnica Salesiana - Sede Quito.

alvarocarrerahidalgo@gmail.com

Dirigido por:



Carlos Germán Pillaño Angos.

Ingeniero en Electrónica y Control.

Magíster en Ingeniería.

cpillaño@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2021 Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO – ECUADOR – SUDAMÉRICA

ALVARO ISAAC CARRERA HIDALGO.

***DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA IOT PARA LA
SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES
DE FABRICACIÓN INTELIGENTE EN TIEMPO REAL A
TRAVÉS DE LA NUBE***

Índice general

Índice de Figuras	3
Índice de Tablas	6
Abstract	7
1. Introducción	9
1.1. Descripción general del problema	10
1.2. Objetivos	10
1.2.1. Objetivo general	10
1.2.2. Objetivos específicos	10
1.3. Contribuciones	11
1.4. Organización del manuscrito	11
2. Marco Teórico	12
2.1. Estado del Arte	13
2.2. Formulación del Problema	19
3. Diseño y metodología	20
3.1. Metodología	21
3.2. Análisis de requisitos	21
3.3. Diseño general del sistema	22
3.4. Tablero de control	24
3.4.1. Selección del Router IoT	25
3.4.2. Fuente de poder	27
3.4.3. Controlador lógico programable PLC	27
3.4.4. Selección del Servo Drive	28
3.4.5. Selección Interfaz Hombre - Máquina (HMI)	31
3.4.6. Analizador de energía DPM-C530	33
3.4.7. Relé de estado solido SIRIUS SIEMENS	36

3.4.8.	Transmisor de Temperatura TPT12	36
3.4.9.	Variador de frecuencia VFD-E	38
3.4.10.	Túnel de calor	40
3.4.11.	Diseño de planos eléctricos	41
3.5.	Modelo matemático y diseño del controlador PID para el Túnel de calor	42
3.5.1.	Adquisición de datos experimentales	42
3.5.2.	Generación de función de transferencia de la planta en el software Ident de Matlab	44
3.5.3.	Diseño del controlador PID	45
3.6.	Programación del PLC	47
3.6.1.	Algoritmo de comunicación con HMI Delta	47
3.6.2.	Algoritmo de adquisición y escalamiento de señal analógica	48
3.6.3.	Algoritmo de implementación del control PID	49
3.6.4.	Algoritmo de control para Servo Delta	51
3.7.	Programación en el HMI	52
3.7.1.	Diseño de Screens en el HMI Delta	52
3.7.2.	Programación de Macros en el HMI Delta	55
3.8.	Programación en el Variador de Frecuencia	57
3.9.	Programación en el Servo-motor	60
3.10.	Diseño de comunicación entre equipos	61
3.11.	Diseño de la plataforma IoT de DIACloud	63
3.11.1.	Configuración de el software DIACloud	64
3.11.2.	Configuración del software DIADevice	66
3.11.3.	Configuración del software DIACom	70
3.11.4.	Configuración de aplicaciones móviles de monitoreo VNC Viewer y DIACloud APP	73
3.11.5.	Integración del sistema	75
4.	Resultados	78
4.1.	Resultados y Análisis	79
4.2.	Conclusiones	85
4.3.	Recomendaciones	87

Índice de Figuras

2.1. Arquitectura del sistema IoT de ThingSpeak [Parida et al., 2019]	15
2.2. Arquitectura del sistema IoT con el la plataforma Carriots [Bennet Praba et al., 2018]	16
2.3. Monitoreo inalámbrico del hogar mediante Social Internet of Things (SIoT) Carriots [Jadhav and Patil, 2017]	17
2.4. Arquitectura del entorno de simulación [Kopjak and Sebestyen, 2019]	18
2.5. MindSphere es el sistema operativo abierto del Internet de las Cosas, basado en la nube de Siemens [de Siemens, 2020]	18
2.6. Esquema del controlador en la nube [Pillajo, 2018]	19
3.1. Arquitectura simplificada inicial del sistema	23
3.2. Topología DIACloud DELTA. [Automation and Service]	23
3.3. Entorno para la conectividad de la plataforma DIACloud. [Automation and Service]	24
3.4. Entorno para la conectividad de la plataforma DIACloud. [Automation and Service]	25
3.5. Tablero de control modelado 3D	25
3.6. Router industrial 3G Cloud DX-2100RW-WW	26
3.7. Bornes superior de conexión y alimentación DX-2100RW-WW	26
3.8. Bornes inferior de conexión Modbus DX-2100RW-WW	27
3.9. Fuente de poder Delta DRP012V030W1AZ	28
3.10. PLC DELTA DVP20EX200T	28
3.11. Servo Drive Delta ASDA-AS	29
3.12. Diagrama de conexión general del servo drive ADSA-A	30
3.13. Diagrama de conexión del servo drive ASDA-A	31
3.14. Software de configuración ASDA-A2-SOFT V5	31
3.15. Pantalla HMI 4"DOP-103WQ	32
3.16. Capacidad de integración HMI DOP-103WQ	33

3.17. Múltiples controladores de protocolos de comunicación DOP-103WQ	33
3.18. Analizador de energía DPM-C530	34
3.19. Diagrama esquemático comunicación analizador de energía DPM-C530 con DIACloud	35
3.20. Diagrama esquemático de la comunicación del analizador de energía DPM-C530 con DIACloud	35
3.21. Relé de conmutación PWM de estado solido SIRIUS	36
3.22. Conexión PWM entre PLC con relé estado solido SIRIUS	37
3.23. Sensor de temperatura TETRPAK TPT12.	37
3.24. Conexión eléctrica del Transmisor análogo (4-20mA) al PLC.	38
3.25. Variador de frecuencia DELTA VFD-E	38
3.26. Diagrama eléctrico variador de frecuencia VFD-E	39
3.27. Diagrama de comunicación DIACloud con el variador VFD-E	40
3.28. Diseño túnel de calor en 3D	40
3.29. Plano eléctrico de control y fuerza del tablero de control.	42
3.30. Diagrama de flujo del control en lazo cerrado para el túnel de calor	43
3.31. Interfaz de protocolo eServer para importar datos de temperatura desde el PLC	43
3.32. Gráfica de relación Tiempo - Temperatura en el túnel de calor	44
3.33. Gráfica de relación Temperatura - Capacidad de niquelina	45
3.34. Función de transferencia generada por IDENT de Matlab	46
3.35. Parámetros Kp, Ki y Kd asignados por la herramienta PID Tuner	46
3.36. Señal de la salida controlada del túnel de calor	47
3.37. Protocolo RS-485 programado en el interfaz ISPSOft	48
3.38. Escalamiento de la señal analógica de temperatura en ISPSOft.	49
3.39. Parametros asignados para bloque de control PID.	50
3.40. Salida PWM para la niquelina.	51
3.41. Algoritmo en ISPSOft para control de servo delta	52
3.42. Pantalla informativa del programa.	53
3.43. Pantalla de menú con esquema de conectividad física.	53
3.44. Pantalla para control de servo.	54
3.45. Pantalla del medidor de energía con el parámetro voltajes.	54
3.46. Pantalla para comandar el variador de frecuencia.	55
3.47. Pantalla para comandar el túnel de calor.	56
3.48. Diagrama de flujo de la ejecución de la Macro Background.	57
3.49. Asignación de direcciones del PLC en Macro Background.	58

3.50. Programa de la Macro del HMI para escritura en marcas de PLC, variador, servo y medidor de parámetros.	59
3.51. Interfaz de software del variador VFDSOft.	60
3.52. Interfaz de software del servo driver ASDASoft.	61
3.53. Diagrama de bloques de la comunicación entre equipos.	62
3.54. Protocolos de comunicación general del sistema.	64
3.55. Creación de túnel seguro en DIACloud.	65
3.56. Túnel seguro en DIACloud.	65
3.57. Creación de túnel seguro en DIACloud.	66
3.58. Ventana de configuración de registro en DIACloud.	67
3.59. Conexión del router para reconocimiento en DIADevice.	67
3.60. Esquemático del flujo de datos con salida a la nube.	68
3.61. Parámetros del router para comunicación RS232 en modo transparente.	69
3.62. Ventana de configuración de los parámetros de Modbus TCP/IP modo cliente-servidor.	70
3.63. Creación del contacto receptor del mensaje de alarma.	71
3.64. Creación de mensaje de alarma sobre calentamiento.	71
3.65. Creación de túnel seguro en interfaz del software DIACom.	72
3.66. Creación del puerto COM virtual en DIACom.	72
3.67. Verificación de parencia del COM virtual en la PC.	73
3.68. Acceso software VNC Viewer con celular.	74
3.69. Interfaz de la aplicación móvil DIACloud.	74
3.70. Alarmas y variables en el interfaz de la APP móvil de DIACloud.	75
3.71. Acceso al HMI maestro desde el software VNC Viewer.	76
3.72. Integración final del tablero de control.	77
4.1. Driver de comunicación virtual en COMMGR.	79
4.2. Ping de confirmación con la dirección ip del router y del HMI.	79
4.3. Modo Online remoto en ISPSOft.	80
4.4. Reconocimiento de enlace inalámbrico en DOPSOft.	80
4.5. Reconocimiento de enlace inalámbrico en DOPSOft.	81
4.6. Función History en plataforma DIACloud.	82
4.7. Comparación de la gráfica Temperatura vs Tiempo en DIACloud y Excel (Temperatura vs Tiempo).	83
4.8. Verificación de la recepción de alarma de sobrecalentamiento vía sms y mail.	83
4.9. Resumen de características del DX-2100 en DIACloud.	84
4.10. Disposición de equipos, túneles seguros y alarmas en cuenta DIACloud.	84

Índice de Tablas

3.1. Requisitos del sistema	22
3.2. Características técnicas del router IoT DX-2100RW-WW. . .	27
3.3. Características técnicas del sensor de temperatura.	28
3.4. Características técnicas del Servo Drive	29
3.5. Características técnicas del HMI	32
3.6. Características técnicas Analizador de energía DPM-C530 . .	34
3.7. Características técnicas relé de estado solido SIRIUS	36
3.8. Características técnicas del sensor de temperatura.	37
3.9. Características técnicas del Variador de frecuencia VFD-E. . .	39
3.10. Características técnicas túnel de calor	41
3.11. Parámetros de comunicación asignados para RS-485	48
3.12. Propiedades de registros configurables para bloque de control PID	50
3.13. Funciones del código en la Macro del HMI	58
3.14. Registros configurados en el variador de frecuencia.	59
3.15. Registros configurados en el servo-driver.	62
4.1. Comparación de distintos parámetros entre Plataformas IOT. .	85

Resumen

Las soluciones de mantenimiento en remoto han producido un cambio de pensamiento en la industria la cual está analizando la forma de actualizar sus conocimientos para involucrarse en el cambio de la matriz productiva enfocadas a automatizar sus procesos desde la nube. El presente trabajo desarrolla una plataforma IoT (Internet of Things) mediante el enlace de un Router Ethernet 3G para la supervisión y control de procesos industriales de fabricación inteligente en tiempo real a través de la nube, el cual provee de una solución estable y segura para redes industriales de control basadas en aplicaciones Cloud. Con esta solución se podrá conectar en remoto y ver o actuar sobre el estado de los dispositivos que estén conectados a una máquina, así como modificar programas del PLC o HMI sin necesidad de desplazarse al sitio mediante protocolos de comunicación industrial MODBUS TCP y MODBUS RTU con interfaces para periféricos RS-485, RS-232 y puerto WAN/LAN, la información y acceso a los valores se realiza en tiempo real y por tanto permite enlazar la conectividad a través de varios modos; transparente, maestro y esclavo. Para comprobar el funcionamiento se diseñó un módulo didáctico el cuál incorpora varios equipos industriales mismo que consta de un PLC, HMI, variador de frecuencia, analizador de energía y Servo Drive, adicional se implementó una planta para simular la temperatura de un túnel de calor controlado mediante un lazo de control lineal PID (Proporcional – Integral – Derivativo). Finalmente, los resultados obtenidos serán analizados en línea comprobando la conexión bidireccional entre equipos logrando controlar un proceso desde cualquier parte del mundo con la posibilidad de adquirir información, modificar, resetear y contralar las principales variables del programa del PLC de forma remota.

Palabras clave: Internet de las cosas, Industria 4.0, Delta Electronics, Fábricas inteligentes, Control del túnel de calor.

Abstract

Remote maintenance solutions have produced a change of thought in the industry which is analyzing how to update its knowledge to get involved in the change of the production matrix focused on automating its processes from the cloud. In the present work, an IoT (Internet of Things) platform will be developed by linking a 3G Ethernet Router for the supervision and control of industrial processes of intelligent manufacturing in real time through the cloud, which provides a stable and secure solution for industrial control networks based on Cloud applications. With this solution it will be possible to connect remotely and view or act on the status of the devices that are connected to a machine, as well as modify PLC or HMI programs without having to travel to the site using industrial communication protocols MODBUS TCP and MODBUS RTU with interfaces for RS-485, RS-232 peripherals and WAN / LAN port, the information and access to the values is done in real time and therefore allows us to connect in various modes; transparent, master and slave. To verify the operation, a didactic module was designed which incorporates several industrial equipment, which consists of a PLC, HMI, frequency inverter, energy analyzer and Servo Drive, additionally a plant was implemented to simulate the temperature of a controlled heat tunnel through a linear PID control loop (Proportional - Integral - Derivative). Finally, the results obtained will be analyzed online, checking the bidirectional connection between equipment, managing to control a process from anywhere in the world with the possibility of acquiring information, modifying, resetting and controlling the main variables of the PLC program remotely.

Keywords: Internet of things, industry 4.0, Delta Electronics, Smart factory, Heat tunnel controller

Capítulo 1

Introducción

Las soluciones de fabricación inteligente en tiempo real a través de la nube utilizan avanzadas tecnologías en comunicación y automatización en donde los usuarios pueden innovar hacia la producción inteligente. En el entorno actual de competencia global, desarrollo e innovación, las empresas se ven forzados a modificar y repotenciar sus procesos. La industria 4.0 es parte de la nueva transformación, en la que la informática industrial se han integrado para crear gestionar nuevas formas de hacer negocios, que permiten optimizar con mayor flexibilidad, eficiencia y generar una propuesta de valor para sus clientes, así como responder de forma oportuna a las necesidades del mercado [Aguilar-Pereyra and Larios-Osorio, 2017]. La nueva solución de monitoreo digital integra el desarrollo de software y hardware para determinar y configurar en tiempo real el estado de los procesos actuales de la fábrica, el cual permite migrar de una automatización tradicional a la nueva generación mediante el uso de plataformas en la red y archivos digitales en la nube.

En la actualidad los diversos protocolos de comunicación industrial están tomando mayor interés en la automatización debido a la compartición de información, generando una gran cantidad de flujo de datos que deben ser almacenados, procesados y presentados en forma eficiente y fácilmente interpretables [Rodríguez, 2017]. Es por esta razón, que en este documento se presenta el desarrollo de una plataforma DIACloud, la cual provee una solución estable y segura para redes industriales de control basadas en aplicaciones Cloud.

Con esta solución se podrá realizar una comunicación virtual desde cualquier parte del mundo con el fin de monitorear, supervisar y controlar todos los dispositivos de una fábrica [Rodríguez, 2017].

1.1. Descripción general del problema

En la actualidad, las fábricas en el Ecuador han evolucionado de una forma lenta en comparación con países industrializados, el desconocimiento de nuevos sistemas automatizados en informática industrial con el fin de supervisar, controlar y monitorear cualquier proceso de producción de una fábrica desde cualquier parte del mundo solo con acceder a una plataforma con capacidad de administración de datos, la cual garantice una conectividad segura entre máquinas y humanos. Sin embargo, la nueva tendencia en automatización es cambiar el paradigma de la operación, actualmente las fábricas requieren de personal de campo para ejecutar tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, pero desconocen la metodología de un mantenimiento predictivo, con el uso de herramientas de industria 4.0 se puede acceder a variables del PLC y HMI con el fin de modificar, almacenar, administrar y trazar la información de la fábrica creando una realidad ciber – física de operación virtual parte humano y parte máquina.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Desarrollar una plataforma IoT (Internet of Things) mediante el enlace de un router Delta DX2100 para la supervisión y control de procesos industriales de fabricación inteligente en tiempo real a través de la nube.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio de las diferentes plataformas de software existentes, mediante librerías digitales para describir las características y funciones para efectos de comparación y alcance.
- Implementar un tablero de control que contenga los equipos necesarios mediante las conexiones Ethernet y 3G de tal manera obtener los datos y ofrecer acceso remoto desde cualquier parte del mundo, para simular una fábrica inteligente integrando redes de comunicación industrial segura y fiable.
- Implementar una plataforma IoT en la nube mediante el software DIACloud el cual será administrable remotamente, para efectos de monitoreo y control.

- Simular el mantenimiento de una máquina remota en tiempo real desde la nube mediante el software IPLSoft en comunicación con un router IoT 3G desde la plataforma DIACloud, para obtener los datos de alarmas y visualizar las variables de cada uno de los procesos.

1.3. Contribuciones

El trabajo desarrollado contribuye directamente al desarrollo de sistemas de Industria 4.0 y promueve las fábricas inteligentes en el país mediante el uso de tecnología existente disponible en el mercado Ecuatoriano de forma rentable y eficiente.

1.4. Organización del manuscrito

La organización del manuscrito se compone de una base teórica sobre las diferentes plataformas IoT existentes. A continuación se presenta el diseño e implementación de la plataforma IoT de DIACloud haciendo uso de un tablero de control didáctico, posteriormente se analizan los resultados obtenidos, para finalizar con las conclusiones y recomendaciones.

Capítulo 2

Marco Teórico

El capítulo 2 contempla la revisión bibliográfica donde se toparán temas referentes a la industria 4.0 y a fábricas inteligentes, cómo han evolucionado estos sistemas en otros países y qué equipos han sido utilizados. Posteriormente, se realiza la descripción del problema.

2.1. Estado del Arte

A continuación, se describe algunas publicaciones relacionadas al tema de desarrollo: En el año 2017, Carmen Berenice Ynzunza y Manuel Izar publican un artículo en la revista Ciencia y Tecnología de la Universidad en Santiago de Querétaro “El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras” donde describen el entorno actual de competencia global, desarrollo tecnológico e innovación, las empresas, sobretodo de manufactura, se ven forzadas a reconfigurar sus procesos. La industria 4.0 y la manufactura inteligente son parte de una transformación, en la que las tecnologías de fabricación y de la información se han integrado para crear innovadores sistemas de manufactura, gestión y formas de hacer negocios, que permiten optimizar los procesos, alcanzar una mayor flexibilidad, eficiencia y generar una propuesta de valor, así como responder de forma oportuna a las necesidades del mercado. Por lo que tomaron interés en desarrollar un entorno tecnológico, así como sus implicaciones y perspectivas futuras. Para lo cual, realizaron una búsqueda de literatura en la Web of Science and Google Scholar con el fin de analizar los hallazgos de investigaciones previas. Los principales resultados fueron la identificación de los componentes tecnológicos; su conceptualización y la determinación de las perspectivas e implicaciones futuras sobre la Industria 4.0 [[Aguilar-Pereyra and Larios-Osorio, 2017](#)].

Richu Varghese; Sai Krishnan; Steve Thomas en la conferencia internacional en el año 2017 presentaron un artículo llamado “AUTOMATION OF 11 KV SUBSTATION USING RASPBERRY PI” en el cual hablan específicamente de las soluciones de monitorización basadas en la tecnología IoT para la automatización de una pequeña subestación eléctrica de 11 kV, en el cual utilizan el software Codesys para convertir una Raspberry Pi como un PLC, con el fin de monitorear el sistema mediante la programación de una plataforma de desarrollo utilizando como interfaz una HMI a la que se puede acceder tanto local como remotamente a través de redes industriales desde la nube [[John et al., 2017](#)].

José Rodríguez; Alejandro Londoño; Carlos Vega; Rubén Flórez en el año 2017 presentaron un artículo científico llamado “SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL REMOTO USANDO IOT PARA UN REGULADOR DE PRESIÓN” en el cual utilizan un Arduino Mega y el Shield de Ethernet para monitorear y controlar remotamente un regulador de presión a través de una herramienta y protocolos de comunicación, utilizando como plataformas de programación MatLab y HTML. El sistema en mención permite controlar la referencia del regulador de presión y monitorear la

información de los transductores de la planta. Entre las ventajas de este tipo de desarrollos es que el servidor es gratuito y el sistema de desarrollo es de bajo costo [Rodríguez Sotelo et al., 2017].

Felipe Corso; Yeison Camargo; Leonardo Ramirez en un artículo publicado en la IEEE en el año 2014 “Wireless sensor system according to the concept of IOT internet of things” Centran el diseño de un sistema de comunicación inalámbrica que responde al concepto de sensor aplicado a un proceso industrial a escala donde se utilizaron variables de temperatura. Los sensores están conectados a IoT para ser monitoreados de forma remota desde cualquier parte del mundo. Los datos del sensor se descargan de la nube utilizando una plataforma de programación gráfica para controlar y comunicar el sistema con un controlador lógico programable, que realiza las acciones de acuerdo con el valor de temperatura (punto de ajuste) de los sensores. El proceso de monitoreo se realizan con un sistema SCADA y el modelado del sistema de comunicación utilizan redes de Petri, como un sistema que responde en términos de eventos discretos [Corso et al., 2014].

Debido a la rápida evolución de las fábricas, la industria ha reconocido rápidamente la ventaja de tener una manufactura inteligente. Las empresas se enfrentan a los desafíos de organizar una integración técnica sin precedentes de sistemas y fábricas a través de la nube. Las demandas de los clientes que cambian dinámicamente requieren que los fabricantes hagan productos de calidad con precios más baratos y entregas más cortas [Lee et al., 2008]. Muchos modelos de referencia y casos de uso están disponibles en estudios nacionales e internacionales relacionados con la fabricación inteligente. Sin embargo, existen brechas entre el estudio y el entorno real de la fábrica debido al menor cuidado de la interconexión de los pasos del proceso hacia la implementación de fabricación inteligente. Para realizar la transformación de la implementación de manera efectiva, se necesita una metodología para identificar las brechas y abordar las soluciones apropiadas en la práctica [Shi et al., 2019].

El desarrollo de la fábrica inteligente es un pilar importante en la estrategia a corto plazo en el mercado ecuatoriano aprovechando la innovación, digitalización, visualización e integración de procesos, el objetivo de este proyecto es desarrollar una plataforma de gestión que ayude a los integradores a alcanzar alternativas para fomentar la mega tendencia de la fabricación inteligente mediante el uso de hardware y software de última tecnología en la que convergen equipos de automatización industriales IoT para facilitar una visión de 360° de las operaciones de la fábrica, el proyecto tiene la capacidad de monitorear e informar de manera inmediata el comportamiento en generar de cualquier proceso industrial otorgando la

información en tiempo real por medio de la plataforma de gestión conectada a una central de monitoreo remoto [Qu et al., 2019].

Para desarrollar la plataforma se utilizara un router industrial IoT de la marca Delta modelo DX-2100, el cual implementa un software administrable DIACom y DIADevice con el fin de crea un túnel seguro en la web y es quien crea el enlace entre los equipos de campo y la plataforma de gestión DIACloud, la información de las variables de estado será suministrado por equipos conectados mediante diferentes protocolos de comunicación, entre los equipos a utilizar esta el PLC modelo SX2, HMI DOP 100 4" Touch, analizador de energía DPM C530A y Variador de frecuencia modelo VFD-E creando una red de fiable Maestro-Esclavo funcional.

En esta investigación *Real-time Environment Monitoring System using ESP8266 and ThingSpeak on Internet of Things Platform*" de los autores [Parida et al., 2019] realizan un sistema de monitoreo ambiental el cual consta de un módulo Wi-Fi NodeMCU ESP8266 que interactúa con un sensor de humedad, temperatura y medición de gas en el cual los datos se envían a través de Internet a una plataforma en la nube remoto llamado ThingSpeak de API de IoT el cual es una solución para el monitoreo en linea mediante aplicativos móviles desde la red. La Figura 2.1 muestra la arquitectura en la que se basa este sistema.

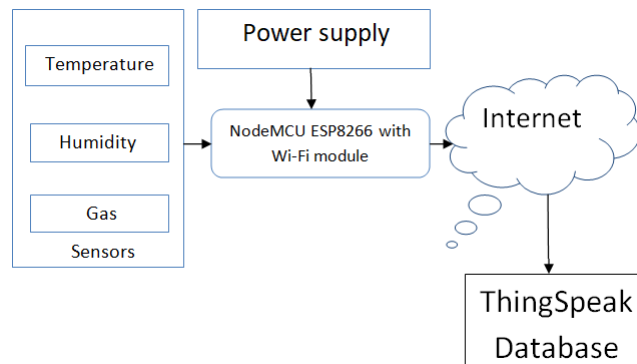


Figura 2.1: Arquitectura del sistema IoT de ThingSpeak [Parida et al., 2019]

Thingspeak es una aplicación que funciona con conexión a Internet y actúa como un portador de paquete de datos entre los equipos conectadas a internet y la nube en donde se recupera, almacena, analiza, observa y trabaja con un considerable trafico bidireccional de datos [Pasha, 2016].

Carriots es una plataforma en la nube orientada a proyectos IoT y máquina a máquina (M2M), a través de un servicio PaaS el cual permite evitar el gasto que suponen la compra de licencias de software [Online, 2000]. Carriots es una plataforma que se caracteriza por una gran adaptación y compatibilidad entre equipos, una API muy completa y documentada. Carriots ofrece mecanismos integrados y pueden ser accesibles mediante su SDK (DropBox, Twitter, Mailing, SMS) [Rodríguez, 2017].

En esta investigación "*IoT Based Smart Water System*" de los autores [Bennet Praba et al., 2018] implementaron un sistema donde pueden controlar y monitorean desde un aplicativo móvil y con acceso a cientos de usuarios con privilegios para controlar el estado del de actuadores y bombas de aguas, como también monitorear el estado del agua, todo esto desde un aplicativo de Android mediante el uso de la plataforma Carriots IoT. En la Figura 2.2 se muestra la arquitectura en la que se basa este sistema.

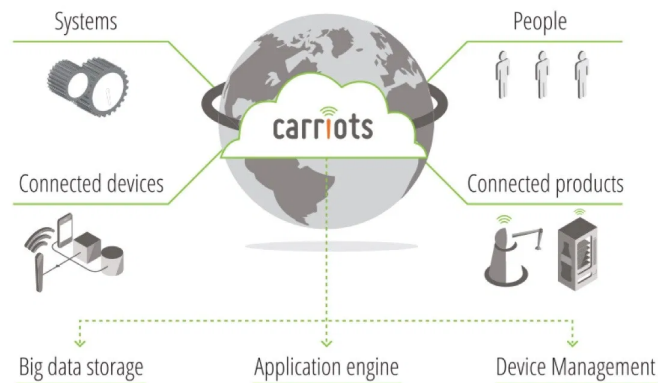


Figura 2.2: Arquitectura del sistema IoT con el la plataforma Carriots [Bennet Praba et al., 2018]

En este estudio "*Wireless Home Monitoring Using Social Internet of Things (SIoT)*" de los autores [Jadhav and Patil, 2017] desarrollaron una plataforma SIoT en el cual se puede monitorear y controlar los equipos de una vivienda inalámbricamente siempre y cuando se encuentren conectados a internet. El sistema es controlado mediante una interfaz gráfica en Facebook, la cual garantiza también una seguridad de los datos privados, por lo tanto lo hace seguro. El sistema también permite que varios usuarios al ser incluidos en el grupo social puedan también controlar los electrodomésticos. Esta plataforma reemplaza el uso tradicional de accionamientos como

interruptores por equipos switch que se encuentren conectados a una red internet. En la Figura 2.3 se muestra la arquitectura en la que se basa este sistema.

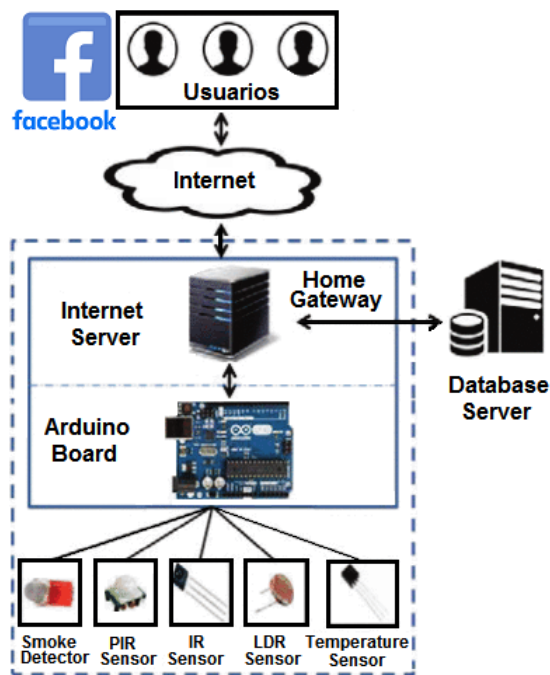


Figura 2.3: Monitoreo inalámbrico del hogar mediante Social Internet of Things (SIoT) Carriots [Jadhav and Patil, 2017]

El presente artículo *Implementación del sistema de inferencia difusa impulsada por eventos en Node-RED* de los autores [Kopjak and Sebestyen, 2019] detalla un modelo TakagiSugeno Fuzzy Inference System el cual refiere la implementación y validación de la red de control basada en eventos Takagi-Sugeno FIS en la herramienta de programación Node-RED basado dirigida por eventos lo cual puede logra que los equipos conectados a internet puedan intercambiar información mediante mensajes, este sistema de inferencia difusa se puede aplicar en nuevos proyectos de investigación referente a fábricas inteligentes en la industria 4.0. En la Figura 2.4 se muestra la arquitectura del entorno de simulacion con el uso de la plataforma Node-RED.

"MindSphere" de SIEMENS se trata de un sistema operativo abierto, basado en la nube y está enfocado en la IoT. Al ser de software y código

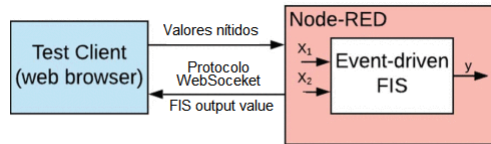


Figura 2.4: Arquitectura del entorno de simulación [Kopjak and Sebestyen, 2019]

abierto, puede integrarse a un sinnúmero de equipos. Su sistema permite que las fábricas desarrollen sus propias aplicaciones IoT con la información de tránsito que se encuentra ingresando a la nube. Aunque aún esta plataforma no tiene acogida en artículos y estudios científicos para utilizar el software como intermediario para canalizar una gran cantidad de datos para estudios científicos es un equipo con una marca reconocida, sin duda el uso de este dispositivo tendrá mucha acogida en el área de Automatización siendo posible hacer soluciones de uso industrial con mayor robustez adaptándose a una amplia gamas de requisitos comerciales [de Siemens, 2020]. en la Figura 2.5 se muestra la plataforma MindSphere de Siemens.

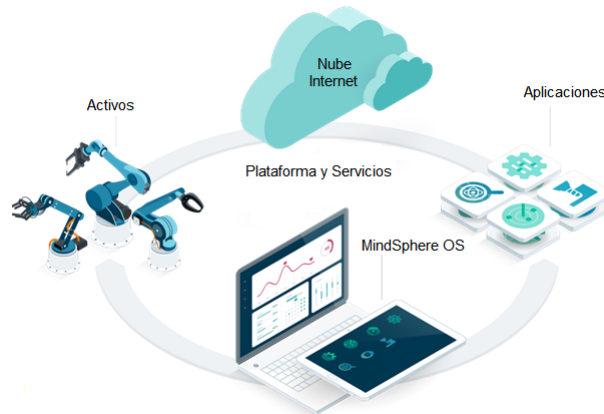


Figura 2.5: MindSphere es el sistema operativo abierto del Internet de las Cosas, basado en la nube de Siemens [de Siemens, 2020]

En la publicación del libro "WIRELESS NETWORK CONTROL SYSTEMS", el autor [Pillajo, 2018] diseña sistemas Cyberfísicos (CPS) con el usos de una Raspberry PI-3 para controlar la comunicación de actuadores

como sensores y actuador mediante una red inalámbrica. El funcionamiento de este estudio se basa en administrar la información en archivos PHP, JSON, y JS mediante un proveedor de servicio en la nube llamado SmartASP.NET el cual tiene algunas restricciones debido a cuentas temporales que limita la capacidad de almacenamiento y respaldo de una base de datos. Con esta información se puede descartar el uso de una Raspberry para uso industrial, en la Figura 2.6 se observa el esquema del controlador en la nube.

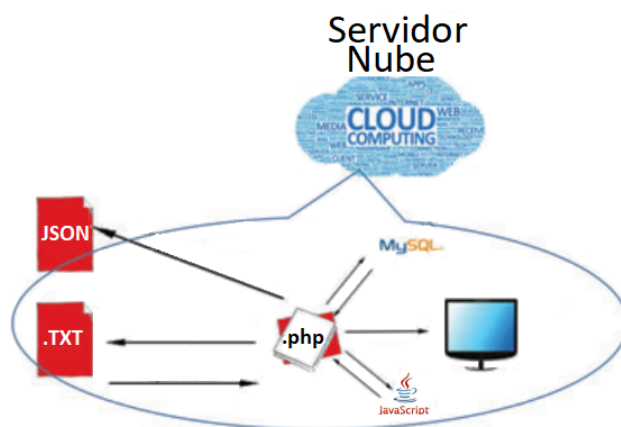


Figura 2.6: Esquema del controlador en la nube [Pillajo, 2018]

2.2. Formulación del Problema

El desarrollo e evolución hacia las fábricas inteligentes es una tendencia que marca competitividad a las empresas, por lo que estudios e implementación de sistemas de industria 4.0 son importantes y necesarios.

El presente trabajo utiliza los router industriales IoT de la marca Delta modelo DX-2100, el cual implementa un software administrable DIACom y DIADevice con el fin de crear un túnel seguro en la web y es quien crea el enlace entre los equipos de campo y la plataforma de gestión DIACloud, la información de las variables de estado será suministrado por equipos conectados mediante diferentes protocolos de comunicación, entre los equipos a utilizar esta el PLC modelo SX2, HMI DOP 100 4" Touch, analizador de energía DPM C530A y Variador de frecuencia modelo VFD-E creando una red de fiable Maestro-Esclavo funcional.

Capítulo 3

Diseño y metodología

En este capítulo se desarrollará el diseño del trabajo usando la metodología seleccionada, se realizará un diseño integral y de igual manera un diseño específico.

3.1. Metodología

Para desarrollar el presente proyecto se utilizó la metodología descriptiva porque permite analizar las diferentes plataformas de software existentes, mediante librerías digitales para describir las características y funciones para efectos de comparación.

Para conseguir el segundo y el tercer objetivo se utilizó la metodología experimental donde se obtuvo una retroalimentación del uso de la plataforma IoT y se comprobó la administración de información en la nube mediante la supervisión, control y monitoreo en forma remota de varios proceso de fabricación inteligente.

Además la información se obtuvo mediante una metodología de investigación bibliográfica a través de proyectos de investigación, revistas, artículos científicos y libros que profundizaron en las nuevas tecnologías de conectividad IoT, con lo cual, se pudo adquirir el conocimiento necesario para el desarrollo del presenta proyecto.

Con la etapa de planificación se permitirá tener una idea clara de los requisitos y planteamiento que se presenta con el problema, posteriormente se realiza un estudio previo, análisis de información, diseños específicos y como ultima instancia se lleva a cabo la implementación del sistema. Esta metodología se estructura de la siguiente manera:

- Análisis de requisitos y planteamiento de la problemática
- Recolección y análisis de la información disponible
- Identificación del sistema
- Diseño del control a ser empleado
- Desarrollo e implementación del sistema
- Verificación de funcionamiento
- Evaluación de resultados obtenidos
- Resultados esperados

3.2. Análisis de requisitos

El primer paso en la metodología seleccionada es el análisis de requisitos, para lo cual se debe establecer cada uno de los requisitos del sistema, dichos requisitos se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Requisitos del sistema

Requisito	<i>Detalle</i>
Sistema de industria 4.0	Estación de entrenamiento
Conectividad remota	Uso de equipos IoT
Motion control	Servo motor
Control de motor	Variador de frecuencia
Análisis de energía	Analizador de energía remota
Acceso local	Sistema con interfaz HMI
Lazo de control	Controlador PID de temperatura
Controlador local	Control con PLC

Posteriormente al listado de los requisitos mínimos necesarios, se los analiza y se obtiene que el sistema deberá estar ligado a industria 4.0, incluyendo una conectividad remota y local hacia el proceso, el proceso consta de control de movimiento con servo motores, control de motores de inducción con variador de frecuencia, análisis de energía y red eléctrica. Adicionalmente, se dispone de un túnel de calor sobre el cual se debe aplicar un control PID para mantener la temperatura de salida constante, el punto de consigna podrá ser colocado de forma remota.

Con el fin de abarcar todos los requisitos anteriormente mencionados, se propone una estación de entrenamiento, misma que servirá para realizar pruebas de sistemas de industria 4.0 que disponga la conectividad necesaria para acceder de forma remota, esta estación de entrenamiento está pensada en poder suplir las necesidades de proyectos futuros.

Se propone una arquitectura inicial del sistema tal como se muestra en la Figura 3.1

3.3. Diseño general del sistema

DIACloud de DELTA es la solución de Internet de las cosas (IoT) de Delta que proporciona una plataforma de gestión en la nube segura y confiable para lograr el control remoto y la supervisión de equipos industriales a través de Internet. Los usuarios pueden conectarse a DIACloud a través de navegadores web, aplicaciones de Android o iOS, software de PC y comunicarse con productos de automatización industrial de forma remota a través de un túnel seguro integrado entre los routes en la nube de las series DX-2100 y DX-2300 y DIACloud [Automation and Service]. En la Figura 3.2 se observa

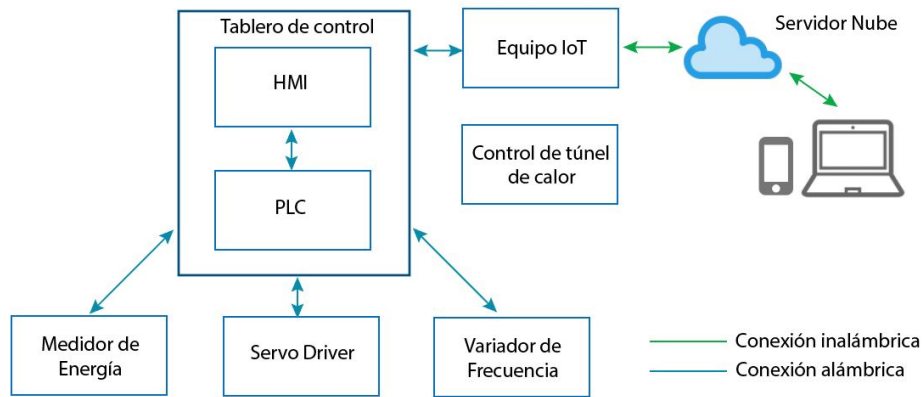


Figura 3.1: Arquitectura simplificada inicial del sistema

la arquitectura simplificada de la conexión de la plataforma DIACloud.

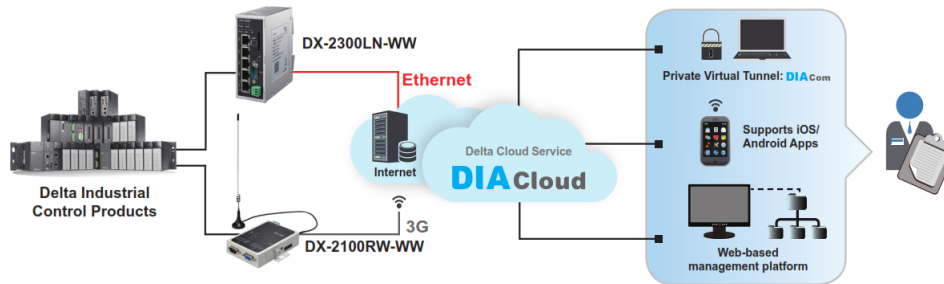


Figura 3.2: Topología DIACloud DELTA. [Automation and Service]

Las ventajas de la plataforma DIACloud de Delta son las siguientes:

- Plataforma industrial gratuita en la nube
- Acceso remoto desde cualquier lugar
- Historio Online gratuito
- Software DIACom integrado
- Ingreso mediante un puerto de comunicación virtual (COM) al programa del PLC, HMI, VFD, SERVO DRIVE, entre otros y poder ser monitorizados y editado en línea.

- Aplicativos móviles
- Envío de alarmas mediante mensajes de texto y correos electrónicos.

DIACloud proporciona una conectividad gratuita usando un dispositivo móvil AP, PC o laptop de forma remota desde el navegador web, en la Figura 3.3 se muestra en entorno de conectividad mediante el uso de la plataforma DIACloud.

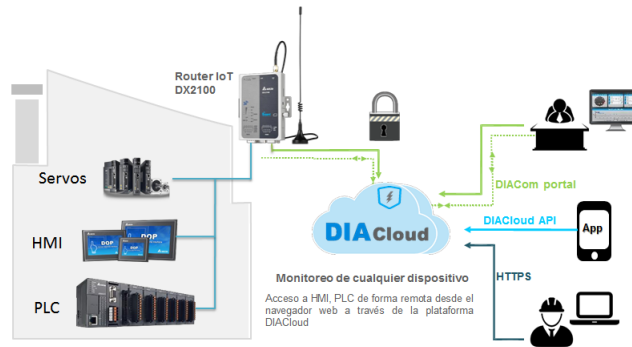


Figura 3.3: Entorno para la conectividad de la plataforma DIACloud. [Automation and Service]

Las características principales del uso de la plataforma DIACloud es que los equipos de campo Router DX-2100RW-WW, tienen compatibilidad con varios controladores de prestigiosas marcas, en la Figura 3.4 se muestra una lista de PLCs compatibles.

Además, se propone que el Router DX2100 sea el encargado de recopilar y enviar los datos desde y hacia la aplicación IoT, y sea el dispositivo encargado de enlazar el sistema físico con el medio digital del internet. Así se podrá monitorear y controlar el sistema de forma inalámbrica desde un computador personal o desde cualquier dispositivo móvil con conexión a internet.

3.4. Tablero de control

El diseño del tablero de control como elemento principal incorpora un Router IoT de la marca Delta modelo DX-2100RW-WW, adicional posee equipos como un PLC Delta modelos DVP20EX2, un variador de frecuencia modelo VFD-E, un Servo Drive ASDA-A2, una interfaz HMI modelo DOP-100 de 4" touch, un analizador de energía Delta modelo DPM-C530,

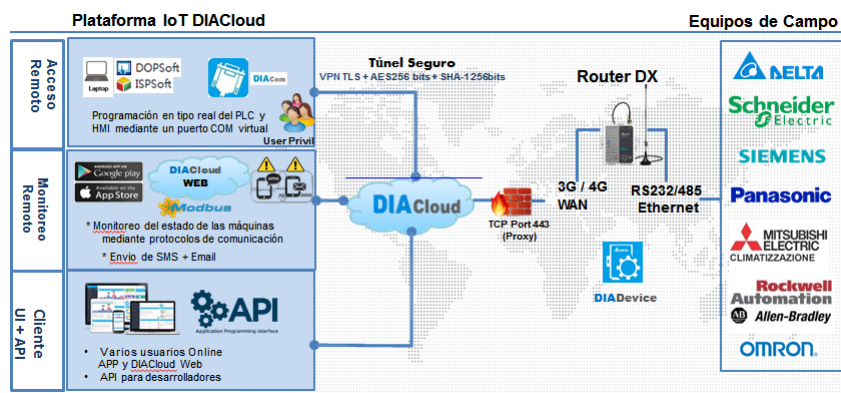


Figura 3.4: Entorno para la conectividad de la plataforma DIACloud. [Automation and Service]

una fuente de voltaje 24VDC, una placa para proceso de simulación de túnel de calor en cual incorpora un transmisor de temperatura PT100, relé de estado sólido SIRIUS y un motor trifásico SIEMENS de 1HP.

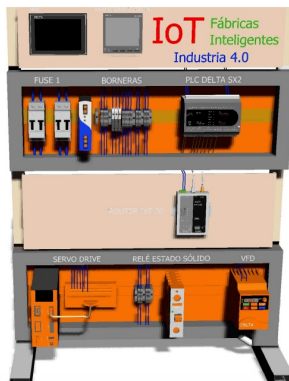


Figura 3.5: Tablero de control modelado 3D

3.4.1. Selección del Router IoT

Con el router DX-2100RW-WW se lograr monitorear y controlar equipos remotos a través de internet sin necesitar una IP estática o configurar un servidor VPN privado. Dispone para navegadores web,

iOS y plataformas Android, el cual simplifica el proceso de administrar las infraestructuras de dispositivos dinámicas y facilita mucho más la implementación de dispositivos y aplicaciones. El router es un equipo industrial 3G de comunicación inalámbrica (IoT). Además de admitir HSPA+/HSUPA/HSDPA/UMTS, el producto también es compatible con una red móvil GSM/GPRS/EDGE. Además, está equipado con múltiples interfaces de aplicación, incluyendo Interfaz Ethernet, interfaz serie RS232 y interfaz serie RS485. La compatibilidad con los servicios de la plataforma DIACloud garantiza la transmisión de datos segura y confiable, en la Figura 3.6 se muestra la parte frontal y sus componentes.

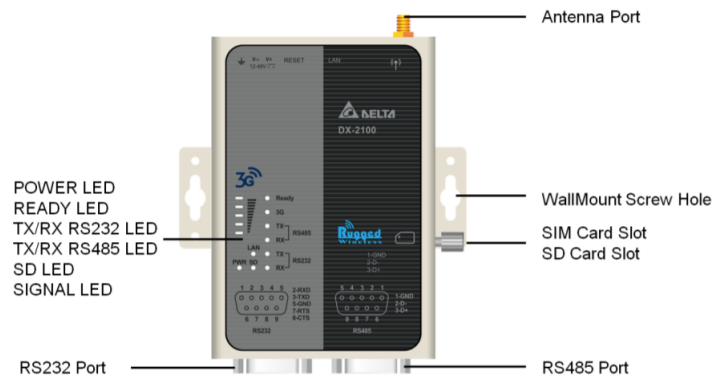


Figura 3.6: Router industrial 3G Cloud DX-2100RW-WW

En la Figura 3.7 se muestra la partes superior se ubica el bornes para la conexión del cable de alimentación eléctrica de 12-24VDC, un botón de reset y el socket para la conexión de la antena.

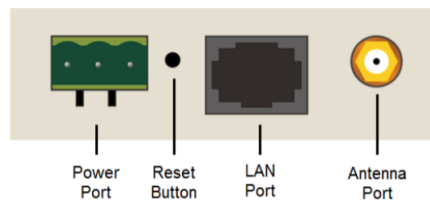


Figura 3.7: Bornes superior de conexión y alimentación DX-2100RW-WW

En la Figura 3.8 se muestra en la parte inferior se ubica los conectores para la conexión de los cables de comunicación Modbus RS232 y RS485.

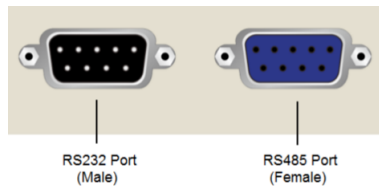


Figura 3.8: Bornes inferior de conexión Modbus DX-2100RW-WW

Las especificaciones técnicas del equipo son:

Tabla 3.2: Características técnicas del router IoT DX-2100RW-WW.

Característica	Valor
Modelo	DX-2100RW-WW
Protocolos	MODBUS TCP y MODBUS RTU/ASCII
Interfaz periférico	RS-485, RS-232, LAN
Voltaje de entrada	12 a 48 VDC 1AMP
Carcasa	IP30
Temperatura de funcionamiento	-20 °C a 70 °C

3.4.2. Fuente de poder

El sistema de control es alimentado por una fuente de poder la cual suministra un voltaje de 24VDC obteniendo una corriente máxima de 2.5 Amperios, la función de la fuente es suministrar de energía eléctrica para el funcionamiento del sistema de lazo de control PID y encender el HMI, representada en la Figura 3.9.

3.4.3. Controlador lógico programable PLC

El controlador lógico programable PLC debe incorporar protocolos de comunicación industrial Modbus RTU RS-485 y RS232. Para la simulación del tunel de calor debe incorpora de una entrada analógica de 4-20mA a 24VDC, el PLC debe incorporar una salida de transistor para implementar la salida PWM para el control de giro de un Servo Drive.

El PLC propuesto es de la marca DELTA modelo DVP20EX200T con salida de transmisor, la Figura 3.10 muestra su imagen. Las especificaciones técnicas del PLC se mencionan en la Tabla 3.3.



Figura 3.9: Fuente de poder Delta DRP012V030W1AZ

Tabla 3.3: Características técnicas del sensor de temperatura.

Característica	Valor
Modelo	DVP20EX200T
Voltaje de alimentación	100-240VAC 60Hz 30VA MAX
Procesamiento de alta velocidad	CPU de 32 bits
Puertos integrados	RS-232 y 2 RS-485
entradas digitadas	8 entradas alta velocidad
entradas analógicas	4 entradas (0-10V / 4-20mA)
Salidas digitales	6 salidas de transistor PWM
Voltaje de alimentación	24VDC



Figura 3.10: PLC DELTA DVP20EX200T

3.4.4. Selección del Servo Drive

A medida que la tecnología de la unidad de microprocesador se vuelve más avanzada, el desarrollo y la rentabilidad de la tecnología de

fabricación de imanes permanentes para servomotores y dispositivos de potencia semiconductores de alta potencia y alto rendimiento se mejoran continuamente, la serie ASDA-A que se muestra en la a Figura 3.11 cuentan con un procesador de señal digital (DSP) superior que representa un rendimiento de alta velocidad del circuito de control. Además, las otras características de la serie Delta ASDA-A, que incluyen ajuste de ganancia, funcionamiento suave del motor y función de análisis / monitorización de software, también proporcionan control de movimiento de alta velocidad y alta precisión para una amplia gama de aplicaciones de automatización industrial. En la Tabla 3.4 se definen las propiedades del servo que está comprendido en el presente proyecto.



Figura 3.11: Servo Drive DELta ASDA-AS

Tabla 3.4: Características técnicas del Servo Drive

Característica	Valor
Modelo	ASDA-A2-0721-U,
SALIDA	PWM
Voltaje alimentación	200-230VAC 1F 60HZ
Voltaje de salida	110V 3F 0-250Hz
Corriente de consumo	2.5Amperios
Potencia	750W

El modelo ASDA-A es energizado mediante una alimentación monofásica 220VAC, en la Figura 3.12 se muestra la conexión general. Posee una conexión para el bloque de terminales externos en el cual se conecta al PLC. Los tipos de control de pulsos del servo son los siguientes:

- Pulso + Dirección

- Fase A +Fase B
- Pulso CCW
- Pulso CW

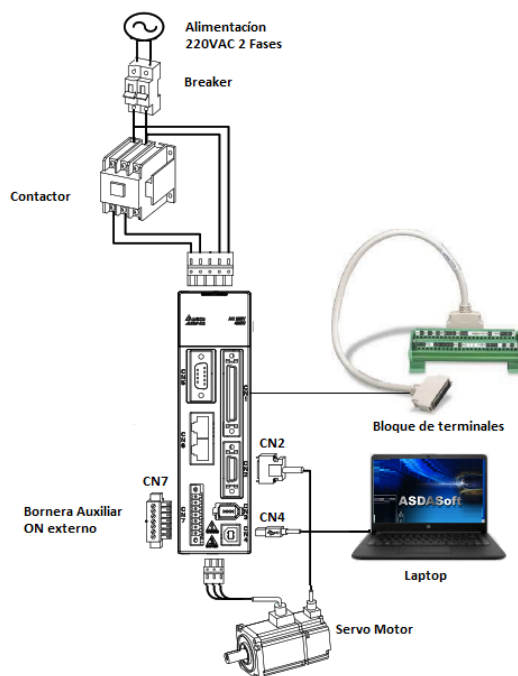


Figura 3.12: Diagrama de conexión general del servo drive ADSA-A

Mediante una lógica de programación, el PLC se encarga de enviar señales de Pulsos + Dirección PWM hacia la entrada del conector CN1 en los terminales /HSING y /HPULSE. Los valores para poner en funcionamiento el servo es mediante una variable editable que se encuentra en el HMI. En la Figura 3.13 se observa el diagrama eléctrico del servo drive.

El software de configuración ASDA-A2-Soft ofrece la función de edición de parámetros internos para definir libremente el trayecto de cada eje, se conecta mediante cable USB y puede conectarse en modo ONLINE para supervisar y controlar el accionamiento del equipo, para este estudio se utilizó el software ASDA versión V5.3.4.0, en la Figura 3.14 se muestra la carátula del software utilizado.

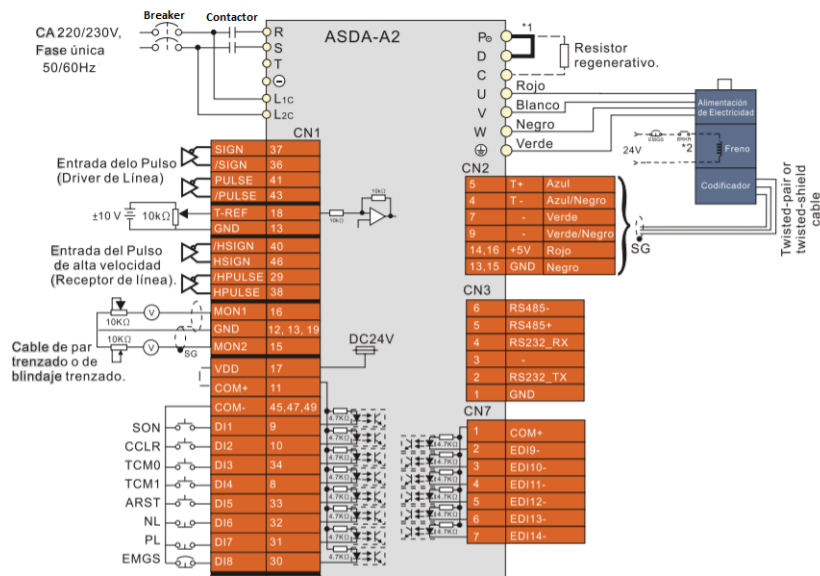


Figura 3.13: Diagrama de conexión del servo drive ASDA-A

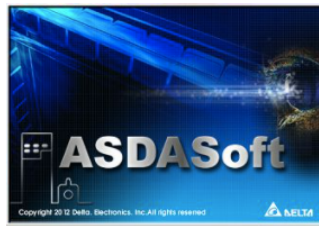


Figura 3.14: Software de configuración ASDA-A2-SOFT V5

3.4.5. Selección Interfaz Hombre - Máquina (HMI)

Se selecciona el HMI Delta modelo DOP-103WQ ya que presenta mejores capacidades, en la Tabla 3.5 y Figura 3.15 se muestra las características técnicas que permiten la interacción entre los usuarios y los equipos de automatización. El HMI de Delta suministran diversos puertos de comunicación para comunicaciones. La pantalla táctil en colores permite la entrada de parámetros intuitivos y una variedad de formas de exhibir los datos variables, entre ellos, los gráficos de tendencias y los elementos de alarma. La pantalla LCD de alta resolución visualiza el control de operación,

monitoreo y eficiencia en tiempo real. Además, el software de edición fácil de usar guía a los usuarios para que puedan crear rápidamente íconos visuales para una navegación simple y diseñar pantallas intuitivas para el monitoreo de aplicaciones mientras permite realizar ajustes, programar y crear secuencias operativas que optimizan la flexibilidad y ahorran tiempo de desarrollo. Esto agiliza el desarrollo de sistemas, lo que simplifica el cableado y la instalación, ahorra en gastos operativos y hace que los sistemas sean más eficientes, eliminando así la necesidad de ajustes que consumen mucho tiempo y costos adicionales de mantenimiento.

Tabla 3.5: Características técnicas del HMI

Característica	Valor
Modelo	DOP-103WQ
Tamaño pantalla	LCD 4.3"
Resolución	(480x272) 65536 colores TFT
Memoria RAM	512MB
Memoria ROM	256 MB
Puertos de comunicación serial	RS-232/485 y USB incorporados
Puerto Ethernet	Modbus TCP/IP y Ethernet/IP
Consumo máximo	5.8W a 24VDC
Protección	IP 65 / NEMA4
Certificación	CE/UL
Toques táctil	10,000,000 veces



Figura 3.15: Pantalla HMI 4"DOP-103WQ

El HMI DOP-103WQ presenta una alta capacidad de integración para diversas aplicaciones, el la Figura 3.16 se detalla sus bondades. Adicional tiene incorporado múltiples controladores de protocolos de comunicación

para trabajar con otras marcas reconocidas a nivel mundial, en la Figura 3.17 se detalla una lista de las marcas mas importantes.



Figura 3.16: Capacidad de integración HMI DOP-103WQ

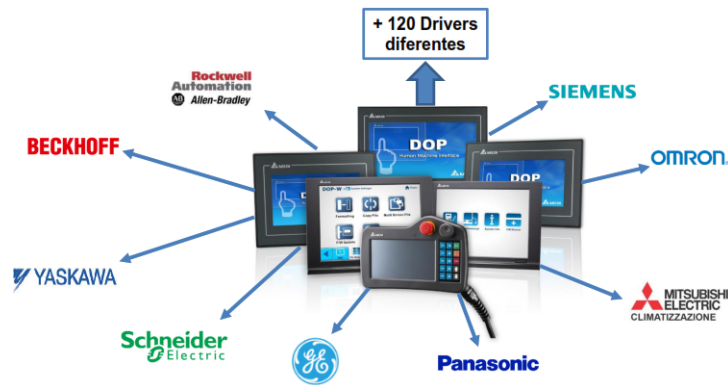


Figura 3.17: Múltiples controladores de protocolos de comunicación DOP-103WQ

3.4.6. Analizador de energía DPM-C530

El analizador de energía DELTA DPM-C530 ofrece mediciones precisas de algunos valores de energía eléctrica y parámetros de calidad de energía, como el factor de potencia, vibraciones armónicas y desequilibrio de corriente y voltaje, ofrece alarmas de acceso restringido y funciones de registro del historial.



Figura 3.18: Analizador de energía DPM-C530

Tabla 3.6: Características técnicas Analizador de energía DPM-C530

Característica	Valor
Modelo	DPM-C530
Interface	Modbus RTU/ASCII (RS-485)
Voltaje alimentación	80-265VAC
Voltaje medida	35-690VAC (L-L-L-N)

En la Figura 3.18 y en la Tabla 3.6 se muestra las características físicas y técnicas del equipo utilizado en esta estudio.

El DPM-C530 es apto para las siguientes aplicaciones:

- Gestión de energía
- Sistemas de distribución de voltaje medio o bajo
- Gabinetes de conmutación inteligentes
- Sistemas de gestión de energía
- Sistemas de automatización de fábricas
- Sistemas de automatización de edificios
- Sistemas de gestión de energía en ferrocarriles
- Sistemas de calefacción eléctrica
- Sistemas de energía eólica
- Sistemas de almacenamiento de energía

- Medición de red eléctrica y análisis de calidad de la energía

La comunicación y adquisición de datos se realiza mediante Modbus ASCII (RS-485) con registros de memorias internas en el HMI DOP-100, la información se encripta y es enviada por internet a la nube y administrado por DIACloud para el monitoreo. En la Figura 3.19 se muestra la configuración de conexión y comunicación del DPM-C530 con DIACloud.

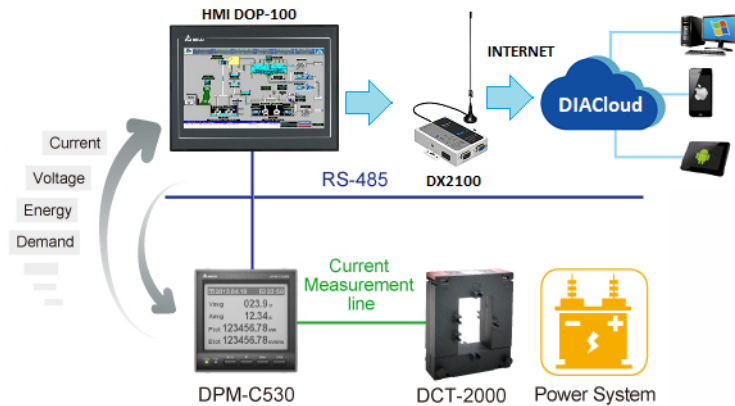


Figura 3.19: Diagrama esquemático comunicación analizador de energía DPM-C530 con DIACloud

En la Figura 3.20 se muestra la conexión eléctrica del analizador de energía, consta de tres transformadores de corriente (CT), el voltaje es trifásico mas Neutro.

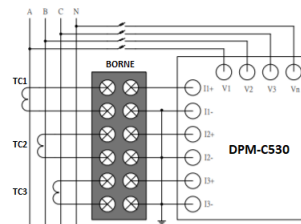


Figura 3.20: Diagrama esquemático de la comunicación del analizador de energía DPM-C530 con DIACloud

3.4.7. Relé de estado solido SIRIUS SIEMENS

El relé de estado sólido SIRIUS de Siemens que se muestra en la Figura 3.21 es muy fiables en frecuencias de conmutación altas, incorpora un disipador de calor que ayuda a mantener la temperatura de operación normal.



Figura 3.21: Relé de conmutación PWM de estado solido SIRIUS

El relé SIRIUS reemplaza el uso de contactores electromecánicos tradicionales, para este caso de estudio se utilizo para encender una resistencia eléctrica para calentar el flujo de aire constante de un túnel de calor el cual es controlado mediante el PLC SX2 con salida de transistor PWM.

Tabla 3.7: Características técnicas relé de estado solido SIRIUS

Característica	Valor
Modelo	SIRIUS 3RF2320-1AA04
Voltaje control	24VDC
Voltaje de carga	48-460VAC 60HZ
Corriente máxima	20Amperios
Función del producto	maniobra al paso por cero
Número de polos	1

EL relé de estado solido activa una resistencia eléctrica de 1000W a 220VAC, en la Figura 3.22 se observa la configuración y conexionado eléctrico.

3.4.8. Transmisor de Temperatura TPT12

EL transmisor de temperatura TETRAPAK TPT12 como se describe en la Figura 3.23 y en la Tabla 3.8 es un sensor de temperatura análogo que incorpora un transmisor con salida de 4-20mA a 24VDC.

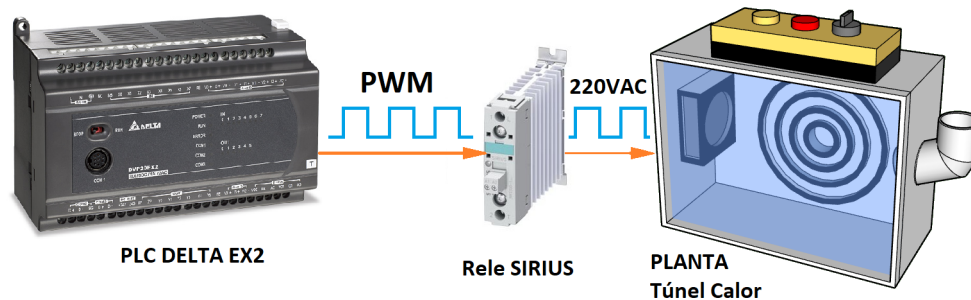


Figura 3.22: Conexión PWM entre PLC con relé estado solido SIRIUS

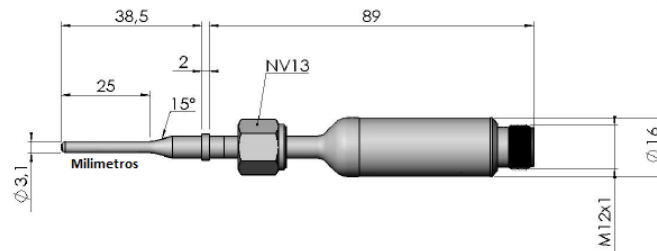


Figura 3.23: Sensor de temperatura TETRAPAK TPT12.

Tabla 3.8: Características técnicas del sensor de temperatura.

Característica	Valor
Modelo	TETRA PAK TPT12
Voltaje de alimentación	24VDC
Precisión	0.5 % FS
Salida corriente	4-20mA
Protección	IP65
Material	Acero inoxidable AISI 316L
Rango de operación	0-165 grados centígrados
Conector	0-165 M12 x 1

El transmisor tiene la función de cerrar el lazo de control PID con la planta túnel de calor, el algoritmo de control interno del PLC actúa con la

entrada analógica, el sensor envía una señal análoga de 4-20mA, en la Figura 3.24 se muestra la conexión con el PLC.

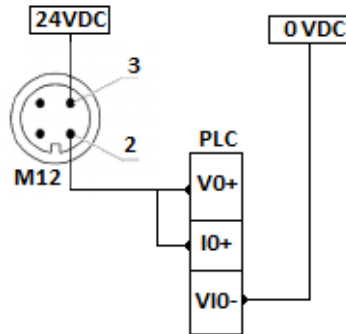


Figura 3.24: Conexión eléctrica del Transmisor analógico (4-20mA) al PLC.

3.4.9. Variador de frecuencia VFD-E

El variador de frecuencia Delta VFD-E destaca por ser un controlador para el arranque y modulación de velocidad en motores eléctricos, para el acaso de estudio se utiliza para simular procesos industriales donde se requiere variar la velocidad de motores de inducción trifásicos, el VDF incorpora una entrada de comunicación Modbus lo que le convierte en un equipo con gran utilidad con diversos protocolos de comunicación. En la Figura 3.25 y Tabla 3.9 se describe las especificaciones técnicas del equipo utilizado.



Figura 3.25: Variador de frecuencia DELTA VFD-E

Tabla 3.9: Características técnicas del Variador de frecuencia VFD-E.

Característica	Valor
Modelo	VFD007E21A
Voltaje de alimentación	230VAC Single phase
Potencia	1HP (0.75kW)
Interfaz	Modbus RS-485
Temperatura	-20°C +60°C (-4°F 140°F)

En la Figura 3.26 se muestra el plano eléctrico de conexión del VFD-E, se presenta en generar todos los bornes que incorpora en variador.

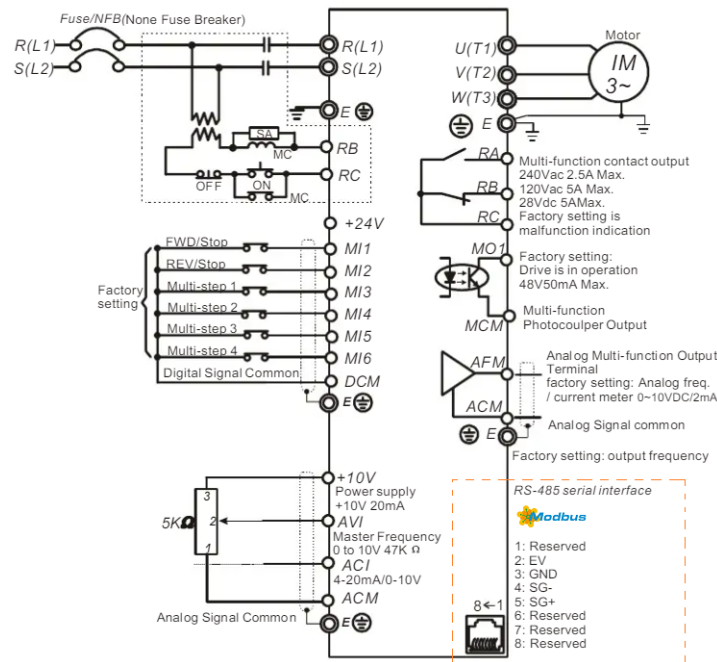


Figura 3.26: Diagrama eléctrico variador de frecuencia VFD-E

Para entablar comunicación del VFD-E con DIACloud, como integrador se encuentra el router IoT DX2100, la comunicación se entabla con Modbus (RS-485), en la Figura 3.27 se detalla la conexión.

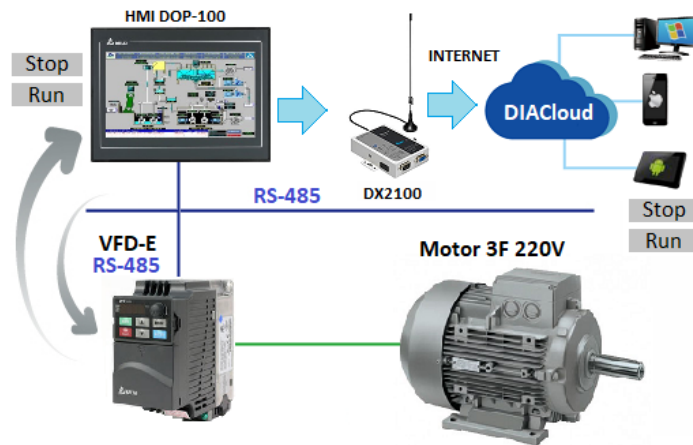


Figura 3.27: Diagrama de comunicación DIACloud con el variador VFD-E

3.4.10. Túnel de calor

Las fábricas incorporan diversos tipos de lazos de control PID, para el caso de estudio se diseñó una Planta de simulación la cual controla el la temperatura de un flujo de aire constante. La planta incorpora una resistencia eléctrica de 1000W la cual funciona con un voltaje a 220V, incorpora un ventilador axial con flujo constante de aire, la temperatura de operación máxima es de 70°C. En la Tabla 3.10 se muestra las características técnicas y en la Figura 3.28 se muestra el diseño el 3D.

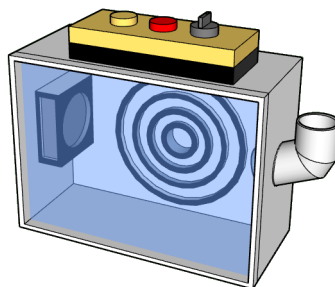


Figura 3.28: Diseño túnel de calor en 3D

Tabla 3.10: Características técnicas túnel de calor

Característica	Valor
Modelo	Diseño autor
Voltaje de alimentación	230VAC Single phase
Voltaje de control	24VDC
Potencia	1000W
Temperatura	25°C 70°C

3.4.11. Diseño de planos eléctricos

El Tablero de control se diseño en base al objetivo de este estudio, el cual es simular la conexión de equipos de automatización mediante puertos de comunicación serial RS-232/ RS-485 / USB Y protocolos Modbus TCP-IP y Ethernet IP en la nube mediante DIACloud, con la especificación técnica de cada componente se diseño el plano eléctrico en el software ProfiCAD V11.0.5 realizado en base a normativas técnicas de diseño.

En la Figura 3.29 se muestra el plano eléctrico general, en el cual consta de un disyuntor termo magnético de 2 polos para cada fase de 10 amperios con capacidad de ruptura de 10kA, estos disyuntores energizan a la alimentación del PLC, variador de frecuencia, fuente de 24 VDC, servo drive y túnel de calor.

El dimensionamiento se realizo en base a la suma de cada componente con lo cual cumple con la protección contra sobre cargas.

El circuito de control dispone de un breaker principal bifásico de 3 amperios el cual energiza a la fuente de poder Delta que suministra el voltaje de control de 24VDC, este voltaje se sub distribuye en tres fusibles de control independiente de 0.5 amperios, uno para el HMI, otro para el router IoT DX2100, transmisor de temperatura TPT12 y el suministro para encender el ventilador de 24VDC de la plata túnel de calor. EL sistema del lazo de control funciona con un transmisor de temperatura TPT12 de la marca Tetrapak que suministra una salida de 4-20mA a 24VDC, el PLC recibe la señal y ejecuta la lógica de control según el algoritmo de calculo.

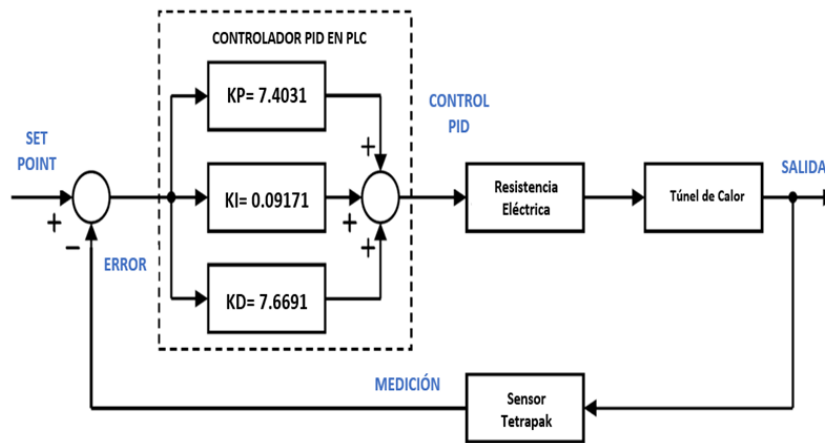


Figura 3.30: Diagrama de flujo del control en lazo cerrado para el túnel de calor

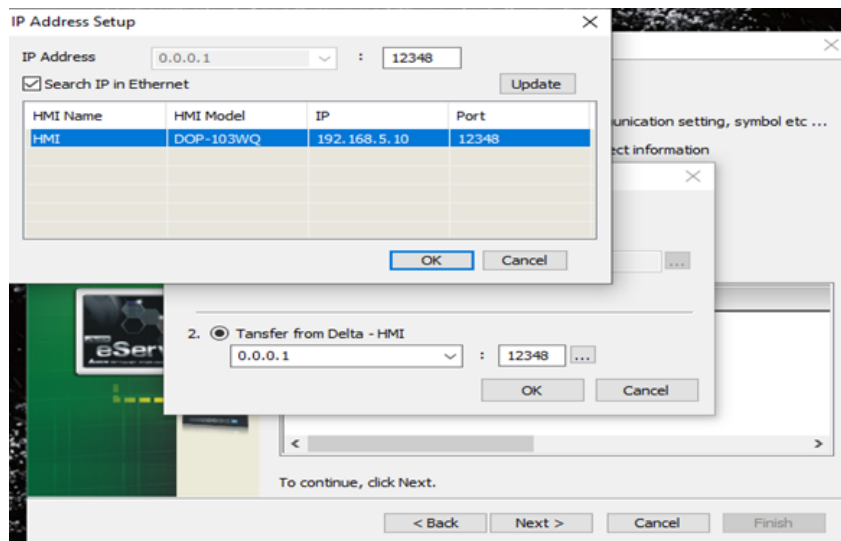


Figura 3.31: Interfaz de protocolo eServer para importar datos de temperatura desde el PLC

El método para captar la entrada de variación de temperatura a través del tiempo fue el software eServer de Delta, que sirve para registrar la variable

que se desee en tiempo real y exportarla hacia el software Excel, utilizando la dirección ip asignada al HMI en una red local, como se muestra en la Figura 3.31 el ip de la pantalla HMI es el 192.168.10.5, a continuación se le asigna al nuevo archivo Excel una ubicación en la memoria del computador donde guardará los datos.

En la Figura 3.32 se observa la gráfica Excel de los datos adquiridos experimentalmente.

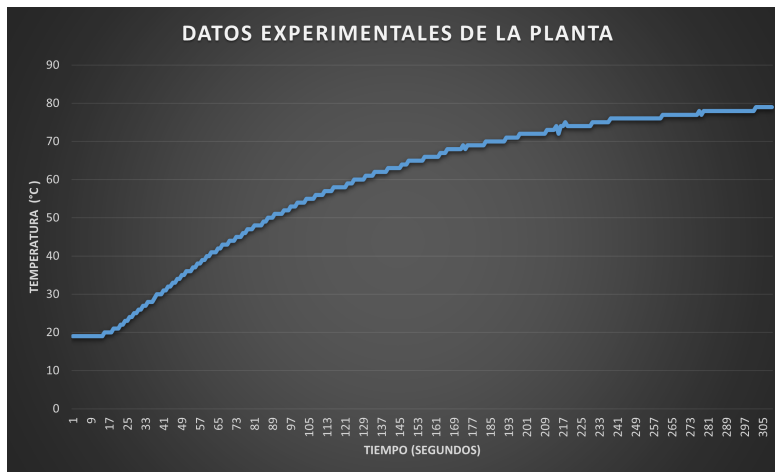


Figura 3.32: Gráfica de relación Tiempo - Temperatura en el túnel de calor

En la Figura 3.33 se puede apreciar la gráfica de Excel de la relación de la temperatura en el túnel cuando la niquelina pasa de 0 a 35 por ciento de su capacidad.

3.5.2. Generación de función de transferencia de la planta en el software Ident de Matlab

La generación de la función de transferencia es realizada con la herramienta Ident de Matlab, la cual permite describir matemáticamente el comportamiento de la planta, de tal forma que, sea lo mas apegado a la realidad. Matlab tiene la capacidad de importar los 300 datos en forma de vector columna directamente de el archivo con extensión .xls, tomando en cuenta que el tiempo de muestreo es de 2 segundos las configuraciones en el interfaz en el Ident deben ser en tiempo continuo. Una vez generada la función de transferencia se puede verificar el porcentaje de similitud con la opción "Process Model". La función de transferencia tf6 tiene un porcentaje

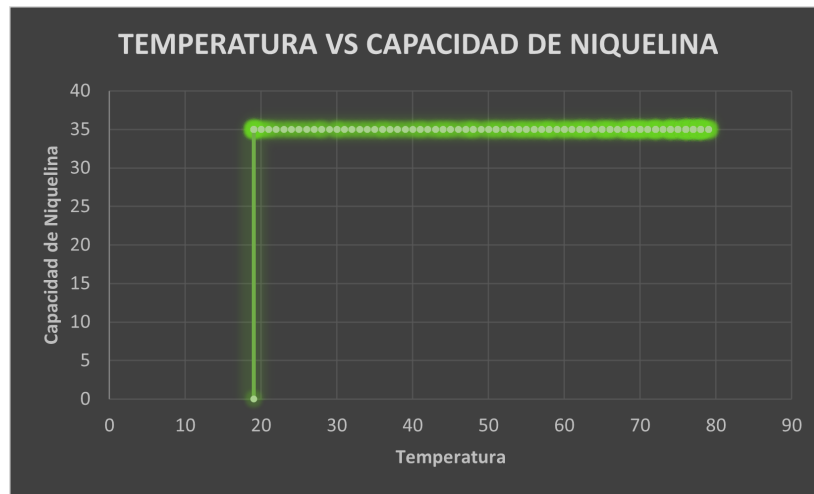


Figura 3.33: Gráfica de relación Temperatura - Capacidad de niquelina

de coincidencia de 96.3 por ciento y consta de 1 polo y un cero, en la Figura 3.34 se muestra la gráfica del modelo de la salida en color azul y los datos reales en color negro. La función de Transferencia obtenida de la planta se muestra en la Ecuación 3.1.

$$FT = \frac{0,4198s + 0,01072}{s + 0,00446} \quad (3.1)$$

3.5.3. Diseño del controlador PID

El controlador PID funciona realizando cálculos que involucran la señal de retroalimentación, esto significa que controla que el estado actual de nivel no se diferencie en gran magnitud con la referencia. De otra forma el controlador PID es óptimo si la referencia entre la señal actual y el punto de consigna no es tan significativa.

Los parámetros del controlador PID se definieron con la herramienta PID Tuner de matlab, esta herramienta permite sintonizar el controlador de manera que la respuesta de la planta tenga las características que se necesite para el tipo de variable a controlar; es decir que el tiempo de retardo, tiempo de crecimiento, sobre impulso y tiempo de establecimiento se pueden fijar con tan solo ver la gráfica, tal y como se observa en la Figura 3.35 en la cual también se muestran las constantes K_p , K_i y K_d cuyos valores son 7.4, 0.091 y 7.67 respectivamente.

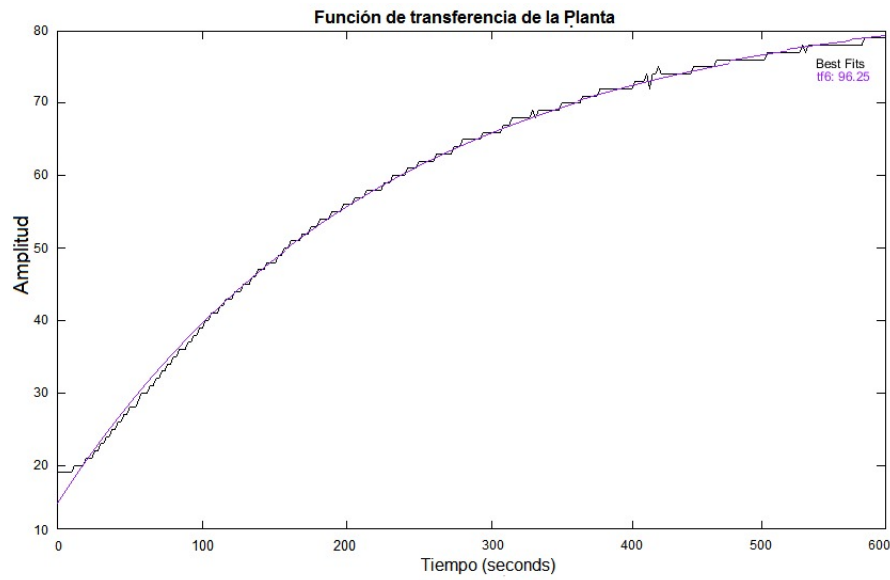


Figura 3.34: Función de transferencia generada por IDENT de Matlab

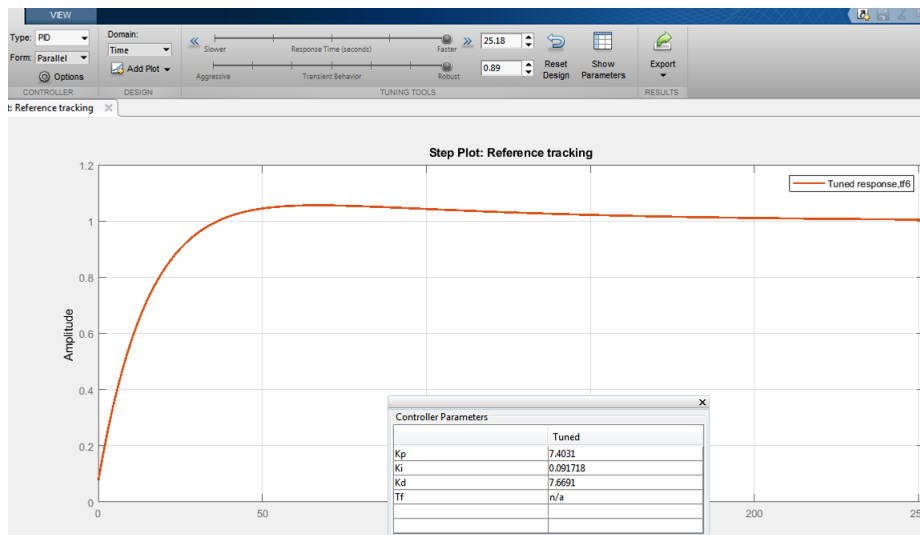


Figura 3.35: Parámetros K_p , K_i y K_d asignados por la herramienta PID Tuner

En la Figura 3.36 se puede apreciar la respuesta de la señal de salida de la planta ya controlada con el PID diseñado.

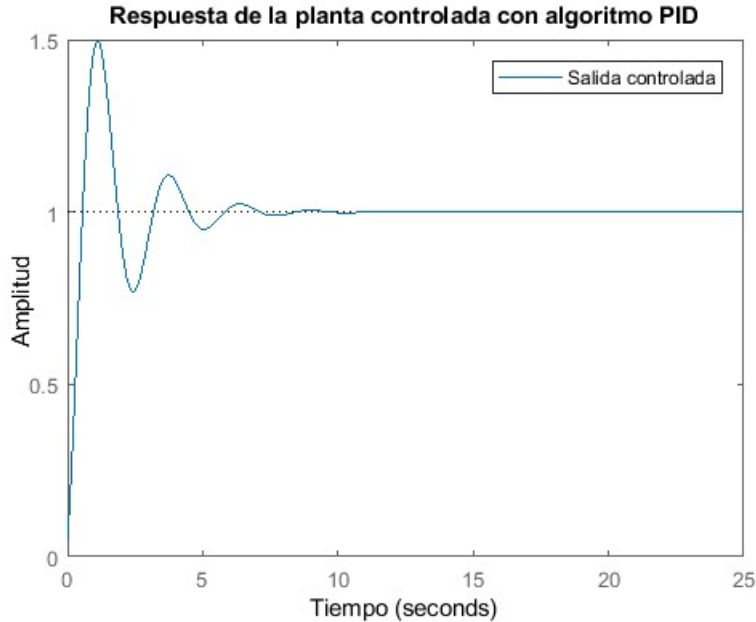


Figura 3.36: Señal de la salida controlada del túnel de calor

3.6. Programación del PLC

3.6.1. Algoritmo de comunicación con HMI Delta

El enlace local entre el PLC y todos los dispositivos que gobierna el mismo se realiza en el interfaz de Delta ISPSOft, ya que la lógica de programación realizada en lenguaje de bloque de funciones permite ejecutar de manera eficiente algoritmos de activación, control y manejo de entradas y salidas en el controlador lógico programable. La lógica de programación que se encarga de habilitar al PLC como parte del enlace Modbus RS-485 y permite la comunicación RS-232 en serie con la PC para que se pueda programar en la memoria de datos, se puede observar en la Figura 3.37.

El HMI está enlazado con el PLC Delta a través del protocolo de comunicación RS-485, este protocolo admite hasta 16 esclavos en una red. La configuración de registros para declarar al PLC como esclavo se puede

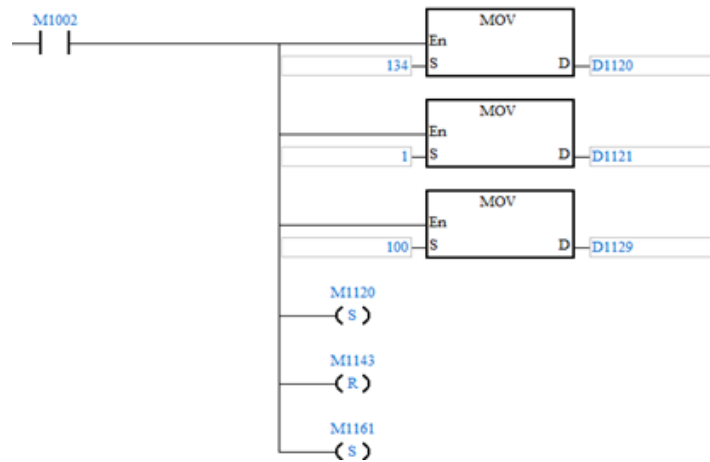


Figura 3.37: Protocolo RS-485 programado en el interfaz ISPSOft

apreciar en la Figura 3.37, en la comunicación se deben setear los parámetros que se aprecian en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11: Parámetros de comunicación asignados para RS-485

Nomenclatura	Característica
D1120	Habilita el puerto COM2 para canales D+ y D-
D1121	Habilita 232 para comunicación de PC a HMI
D1129	Tiempo de espera de comunicación en ms
M1120	Marca set para mantener las configuraciones
M1143	Selecciona tipo de comunicación entre ASCCI y RTU
M1161	PLC en modo 8 bits

3.6.2. Algoritmo de adquisición y escalamiento de señal analógica

La adquisición de la variable temperatura en el túnel de calor a controlar se realiza habilitando la entrada analógica-digital AD0 del PLC, para consecutivamente efectuar el escalamiento de la señal con el bloque de función SCAL, el cual utiliza las entradas S1 S2 y S3 para obtener el valor digital de la lectura del sensor, siendo S1 la variable analógica del sensor y las

demás entradas factores que están explicados en las Ecuaciones 3.2 y 3.3 respectivamente.

$$S2 = \frac{\text{Temperatura max.} - \text{Temperatura min.}}{\text{Valor max. en bits} - \text{Valor min. en bits}} * 1000 \quad (3.2)$$

$$S2 = \frac{160 - 1}{2080 - 13} * 1000 \approx 80$$

$$S3 = \frac{\text{Temperatura min.} - (\text{Valor min. en bits} * S2)}{1000} \quad (3.3)$$

$$S3 = \frac{0 - (0 * 80)}{1000} = 0$$

El escalamiento del dato de entrada analógica se guarda en el espacio de memoria D500 ya convertido en dato digital, tal y como se muestra en la Figura 3.38. Después de escalar la señal de temperatura el PLC esta apto para trabajar con el valor en tiempo real en grados centígrados, consecuentemente el control de lazo cerrado en la planta posee un feedback de comparación con el que se trabaja directamente en el control PID.

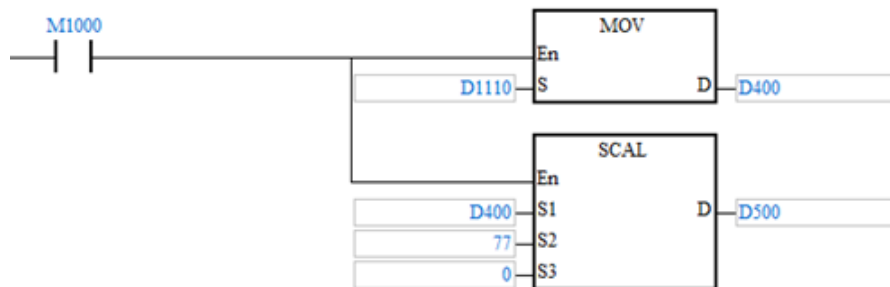


Figura 3.38: Escalamiento de la señal analógica de temperatura en ISPSOft.

3.6.3. Algoritmo de implementación del control PID

Para programar el controlador PID se maneja un conjunto de datos de memoria en el bloque de función PID, el mismo que admite tres parámetros

de entrada: S1 que es el punto de consiga asignado, S2 que es el valor actual sensado y S3 que es el parámetro de control. El parámetro de control es definido por veinte espacios de memoria, es decir desde el registro D2000 hasta el registro D2019 los mismos que se especifican en la Tabla 3.12. Los demás registros configurables no son necesarios ya que en el espacio de memoria D2004 se habilita el modo de control automático temperatura, los valores se asignan en la memoria de programa con el bloque de función MOV, como se aprecia en la Figura 3.39.

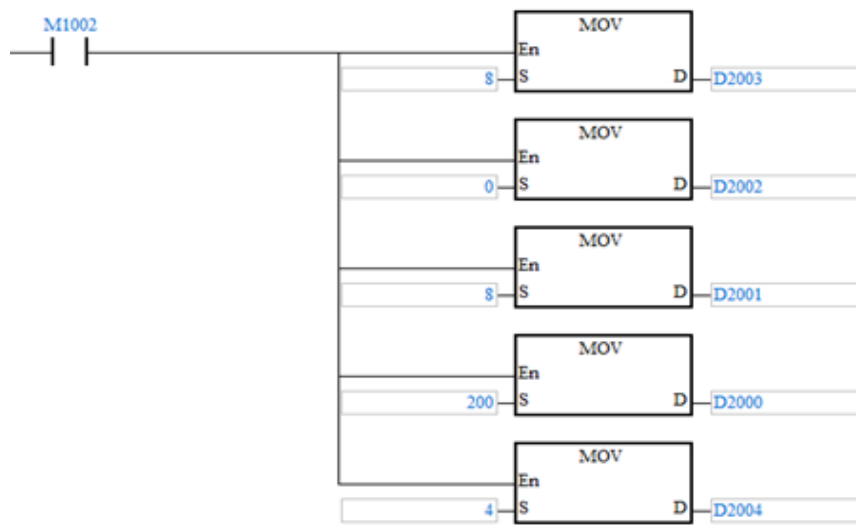


Figura 3.39: Parámetros asignados para bloque de control PID.

Tabla 3.12: Propiedades de registros configurables para bloque de control PID

Nomenclatura	Característica
D2000	Tiempo de muestreo en la señal de control
D2001	Ganancia Proporcional Kp
D2002	Ganancia Integral Ki
D2003	Ganancia derivativa Kd
D2004	Modo de control automático para temperatura

La Figura 3.40 muestra el bloque de función que desarrolla el control PID con su respectiva salida guardada en el espacio D340, el resultado del

controlador ingresa al bloque de función GPWM cuya función es generar una señal de salida PWM directo a la niquelina que esta conectada en la salida digital Y5 en el PLC, la entrada S2 del bloque GPWM es el ciclo de salida de pulso por lo que cuando $S1 > S2$ el estado del ancho de pulso va a estar en estado ON.

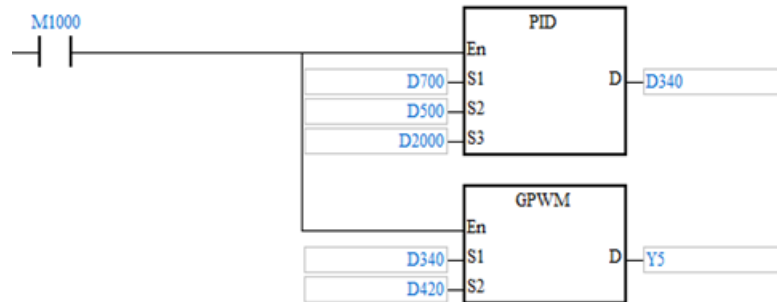


Figura 3.40: Salida PWM para la niquelina.

3.6.4. Algoritmo de control para Servo Delta

El control del servo ECMA-C10807RS está enlazado con el HMI y PLC ya que en el software DOPSoft se diseña una pantalla con los botones y display necesarios para ser compatible con la instrucción puso/sentido, teniendo en cuenta que se necesita los parámetros velocidad de pulsos y numero de pulsos, estos se adquiere se forma directa desde el HMI con los registros D100 y D200 respectivamente. Los datos son multiplicados por 100 para escalar los valores y son guardados en los espacios D120 y D220 como se muestra en la Figura 3.41.

El bloque de función DDRVI es el que se utiliza para transmitir los datos ingresados en el HMI, la entrada S1 es la que se encarga de proporcionar la posición relativa ya que contiene el numero de pulsos y puede ser positivo o negativo dependiendo del sentido de giro que se desee. La entrada S2 por otro lado contiene la frecuencia de salida del pulso y tiene un rango de 6 a 100000 Hz. En la Figura 3.41 se puede apreciar que en paralelo al bloque DDRVI está la marca especial M1029, la cual se encarga de notificar al programa cuando la acción de salida de pulso finaliza consecuentemente después el programa queda habilitado para ingresar nuevos datos.

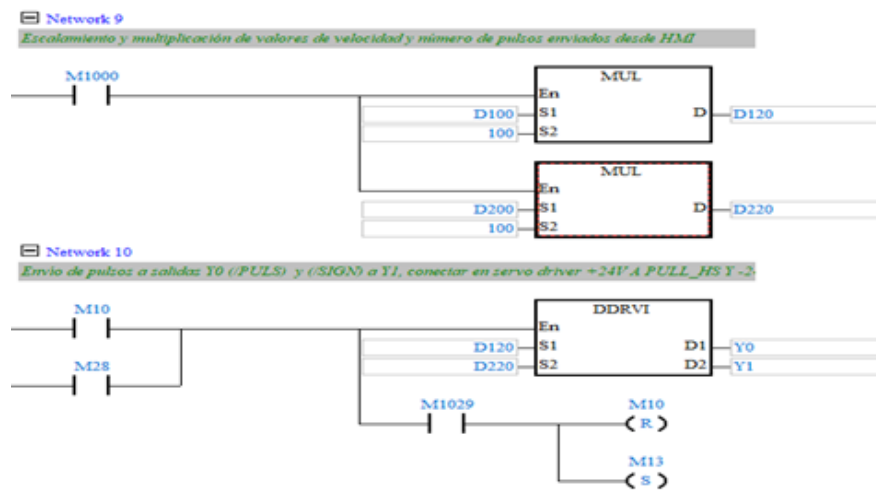


Figura 3.41: Algoritmo en ISPSOft para control de servo delta .

3.7. Programación en el HMI

El HMI funciona como puente de comunicación para los dispositivos que conforman el prototipo, por lo tanto para que pueda escribir sobre las variables que se manejan en todo el programa debe estar configuradas las ventanas con su respectivo interfaz dinámico y los espacios de entradas y salidas que se utilizan.

3.7.1. Diseño de Screens en el HMI Delta

Las primeras dos pantallas ponen en contexto al usuario del programa sobre los datos principales del proyecto y también se muestra una arquitectura donde se puede destacar los protocolos físicos de conectividad de cada uno de los dispositivos con el PLC, el HMI y con su respectiva salida de datos hacia el router DX-2100. En la Figura 3.42 se aprecia el interfaz relacionado a la conectividad cableada en el modulo y en la Figura 3.43 se puede apreciar los datos informativos del mismo, cabe aclarar que en esta pantalla se podrían visualizar los datos de la empresa en la que se puede implementar esta clase de proyectos.

Adicionalmente la pantalla de proceso muestra los botones que comandan la navegación del usuario en el interfaz, estos permiten ir a las diferentes secciones del programa asignándoles la función "Go to screen", direccionando



Figura 3.42: Pantalla informativa del programa.

al usuario a el control de temperatura, servomotor, variador de frecuencia o medidor de parámetros según corresponda.



Figura 3.43: Pantalla de menú con esquema de conectividad física.

La pantalla que aloja el accionamiento sobre el servomotor tiene dos entradas numéricas, en la primera se ingresan la velocidad de los pulsos en el registro D200 y el en la segunda el número de pulsos en el registro D100; también posee el botón "Servo on", que tiene la función de bloquear al servomotor para preparar su movimiento desde cero y el botón identificado como Empezar envió de pulsos, el cual acciona al servomotor con los parámetros ingresados por el usuario.

El indicador "Stand by"notifica que el servo motor terminó con la acción

encomendada, cambiando de estado de cero a uno como se muestra en la Figura 3.44.



Figura 3.44: Pantalla para control de servo.

La pantalla del medidor de energía DPM se puede observar en la Figura 3.45 y está diseñada para monitorear los diferentes parámetros de alimentación y de carga de el sistema entre voltajes, potencias, energía, armónicos y picos máximos. Se pueden identificar todos estos elementos en los displays numéricos, relacionados directamente con el variador de frecuencia, estos utilizan espacios de memoria predeterminados por el variador tipo lectura- escritura, como por ejemplo, el voltaje de fase en la línea A tiene la nomenclatura RW106.



Figura 3.45: Pantalla del medidor de energía con el parámetro voltajes.

El manejo del variador de frecuencia que comanda el motor trifásico se realiza desde el HMI ya que tiene todas las configuraciones que permiten monitorizar y configurar la frecuencia del actuador, cabe recalcar que el variador de frecuencia tiene la particularidad de transformar la alimentación monofásica de 220 voltios alternos a tres fases para conectar al motor ya sea en estrella o en delta. Los diferentes parámetros que pueden captarse en los display numéricos son: la corriente de salida, voltaje de salida, temperatura de los cables de alimentación del motor y la frecuencia actual del motor; la frecuencia se puede setear directamente desde la entrada numérica que se describe como frecuencia de trabajo, todas estas cantidades se transmiten a través de espacios de memoria propios del variador que son de tipo INVERTER.

En la Figura 3.46 se pueden apreciar los parámetros que muestra el medidor de energía DPM-C530.



Figura 3.46: Pantalla para comandar el variador de frecuencia.

El interfaz que actúa sobre el túnel de calor esta diseñado para setear el punto de consigna con el registro D700 así como para monitorizar la temperatura con el registro D500, el gráfico de la pantalla representa la planta en si, con el ventilador de acción constante y la niquelina que se encarga de aumentar la temperatura. La Figura 3.47 muestra la pantalla que se despliega en el HMI.

3.7.2. Programación de Macros en el HMI Delta

Una macro del HMI de la marca Delta, es un conjunto de programas de procesamiento de comando independientes escritos por el usuario, se pueden



Figura 3.47: Pantalla para comandar el túnel de calor.

programar hasta 512 líneas de código en cada macro y la macro que se utiliza para el proyecto es la conocida como background, esta tiene la propiedad de ejecutarse repetidamente mientras la HMI esté en operación con una o varias líneas de código ejecutándose a la vez, el diagrama de flujo de la Figura 3.48 representa el ciclo de funcionamiento en una background.

Para que el HMI cumpla acciones de escritura en los diferentes dispositivos debe tener instrucciones que permiten interactuar con los datos de registro interno del HMI así como con el del PLC, por esta razón las memorias del PLC se asignan directamente en la Macro del HMI con la opción Input Address, donde se identifica el tipo de dato y la dirección que lo identifica en el PLC, esta asignación de direcciones se puede observar en la Figura 3.49.

El programa de la macro background básicamente va a trabajar con sentencias básicas if y funciones move, este código permite trabajar sobre las marcas que interactúan con los dispositivos periféricos y escribir los datos con los que van a trabajar el servo y el variador de frecuencia y se puede apreciar en la Figura 3.50, adicionalmente en la Tabla 3.13 se describen detalladamente las funciones que tiene cada una de sus sentencias y la lógica de programación que las gobiernan.

Las memorias internas del dispositivo HMI sirven para asignar direcciones a elementos como botones, indicadores o entradas numéricas, con el objetivo de designar valores y funciones a los elementos que mandan directamente al punto de consigna del túnel de calor, el monitor de parámetros, el servo motor y el variador de frecuencia; se activa la opción Internal memory en cada uno de ellos, así es como se crean las variables M2, M3, M4, M10, M11, M20, S1, S2, S4 y S5, que son las que enlazan las acciones de mando en el

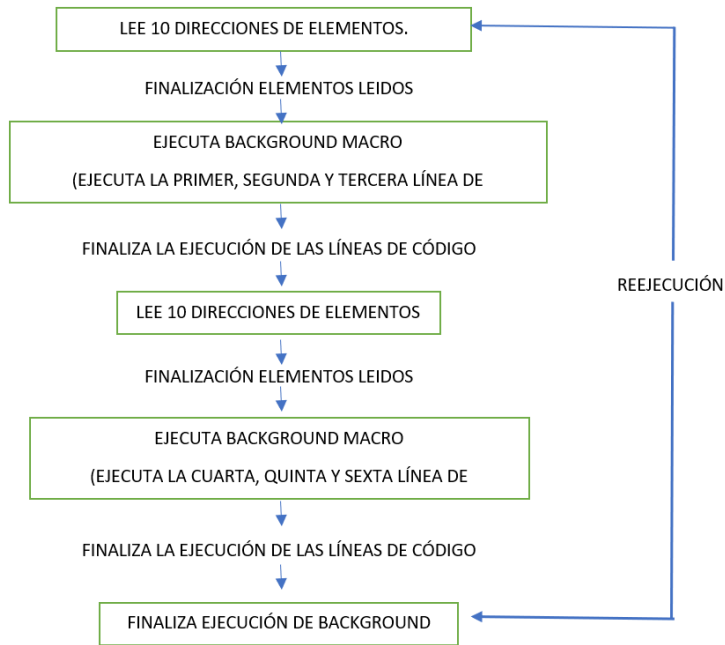


Figura 3.48: Diagrama de flujo de la ejecución de la Macro Background.

HMI gracias al código desarrollado en la Macro background.

3.8. Programación en el Variador de Frecuencia

El variador de frecuencia es parte de la red de dispositivos periféricos en el modulo y tiene la función de alimentar y comandar al motor trifásico, ya que el modulo de demostración cuenta con una entrada monofásica de 220 [VAC] y se necesita una salida trifásica para alimentar al motor eléctrico, se cambia los parámetros necesarios en los registros de memoria para que el variador setee la frecuencia de salida para el motor, así como el protocolo y la dirección que va a representar al dispositivo en la red Modbus RS-485.

Para setear los valores requeridos entraremos al entorno del variador de frecuencia con el programa VFDSOft, este permite entrar directamente a los registros del dispositivo mientras el variador esta prendido. En la Figura 3.51 se observa al interfaz del software del variador, así como los parámetros existentes en el dispositivo.

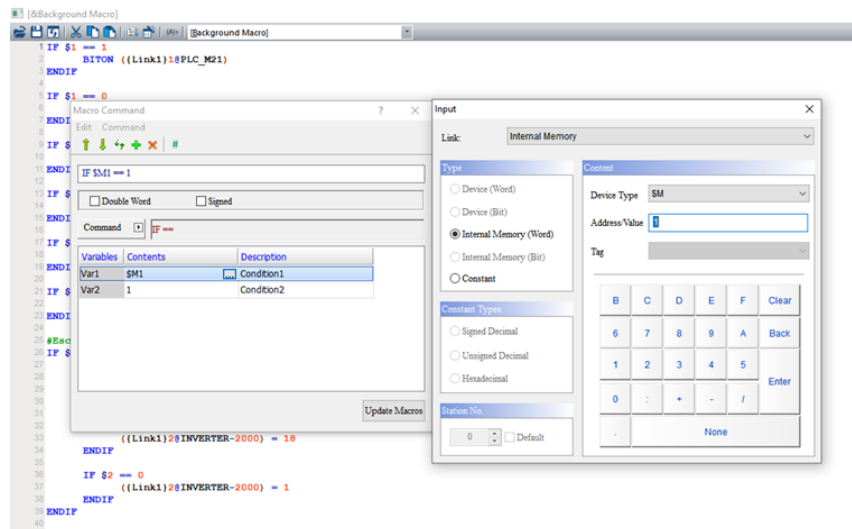


Figura 3.49: Asignación de direcciones del PLC en Macro Background.

Tabla 3.13: Funciones del código en la Macro del HMI

Variable	Característica
S1 == 0 ó 1	Enciende o apaga el bit M21, es decir activa o desactiva el servo.
S4 == 0 ó 1	Enciende o apaga el bit M28, es decir envía los pulsos del servo a la salida Y0 y Y1.
S5 == 0 ó 1	Asigna los datos M3, M4 y M10 a los registros D100, D700 e INVERTER-2001, es decir asigna el set point de la temperatura y setea la frecuencia en el variador.
S2 == 0 ó 1	Asigna un valor mínimo a la salida del variador antes de apagarlo totalmente.
M11	Muestra la temperatura en el display numérico del screen del túnel de calor.
M20	Envía valores de voltaje a router DX-2100.

Los registros del variador se manipulan corroborando el valor de cada uno de los campos en el manual de operación, estos valores con su función se detallan en en la Tabla 3.14.


```

9 IF $3 == 1
10   BITON ((Link1)1@PLC_M22)
11 ENDIF
12
13 IF $3 == 0
14   BITOFF ((Link1)1@PLC_M22)
15 ENDIF
16
17 IF $4 == 1
18   BITON ((Link1)1@PLC_M28)
19 ENDIF
20
21 IF $4 == 0
22   BITOFF ((Link1)1@PLC_M28)
23 ENDIF
24
25 #Escritura de datos cuando se confirme en DX
26 IF $5 == 1
27   ((Link1)1@PLC_D200) = $M2
28   ((Link1)1@PLC_D100) = $M3
29   ((Link1)1@PLC_D700) = $M4
30   ((Link1)2@INVERTER-2001) = $M10
31
32   IF $2 == 1
33     ((Link1)2@INVERTER-2000) = 18
34   ENDIF
35
36   IF $2 == 0
37     ((Link1)2@INVERTER-2000) = 1
38   ENDIF
39 ENDIF
40
41
42 #Envio de valores de voltaje y energia a DX
43 #modificar a float
44 $M20 = FMOV((Link1)3@RW-142) (Signed DW)
45
46
47 $M11 = ((Link1)1@PLC_D500)
48

```

Figura 3.50: Programa de la Macro del HMI para escritura en marcas de PLC, variador, servo y medidor de parámetros.

Tabla 3.14: Registros configurados en el variador de frecuencia.

Registro	Característica	Selección
00-12	Selecciona el voltaje de trabajo	1: 220-380 [VAC]
02-00	Fuente del primer comando de frecuencia maestra	3: Comunicación RS-485/USB
02-01	Fuente del primer comando de operación	3: Stop/Reset de teclado activado
09-00	Dirección de la comunicación	Dirección 2
09-03	Detección por tiempo-fuera	1 segundo
09-04	Protocolo de comunicación	2: MODBUS/ASCCI (7,O,1)

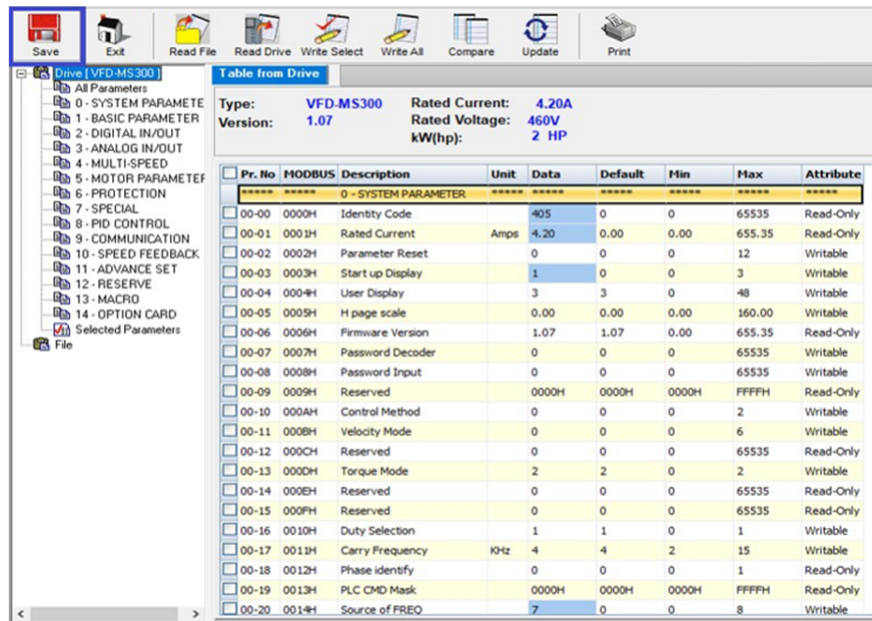


Figura 3.51: Interfaz de software del variador VFDSOFT.

3.9. Programación en el Servo-motor

El servo motor es comandado por el PLC, pero para setear los parámetros del mismo se necesita el dispositivo ASDA-A2 que es un servo-variador de frecuencia con una interfaz propio de comunicación EtherCAT, tiene la facilidad de poseer un protocolo de comunicación informático de fuente abierta, por lo que es ideal para el control de servo movimiento y es fácilmente incorporable a procesos que estén controlados con dispositivos de otras marcas.

El servo motor consta de varios puertos que sirven para configurar su correcta funcionalidad, el que vamos a utilizar es el CN1 que es un interfaz de entrada y salida, que tiene acceso a señales como entradas de pulsos digitales, dirección, control de velocidad analógica y torque. El CN1 se encarga de transmitir el numero de pulsos y la velocidad de pulsos con los que va a actuar el servo, además de la función Servo On que prepara al actuador antes de empezar a trabajar manteniendo su eje estático.

Para setear los parámetros que necesita el actuador se utiliza el software ASDA-Soft que permite entrar a un interfaz de programación para el servo,

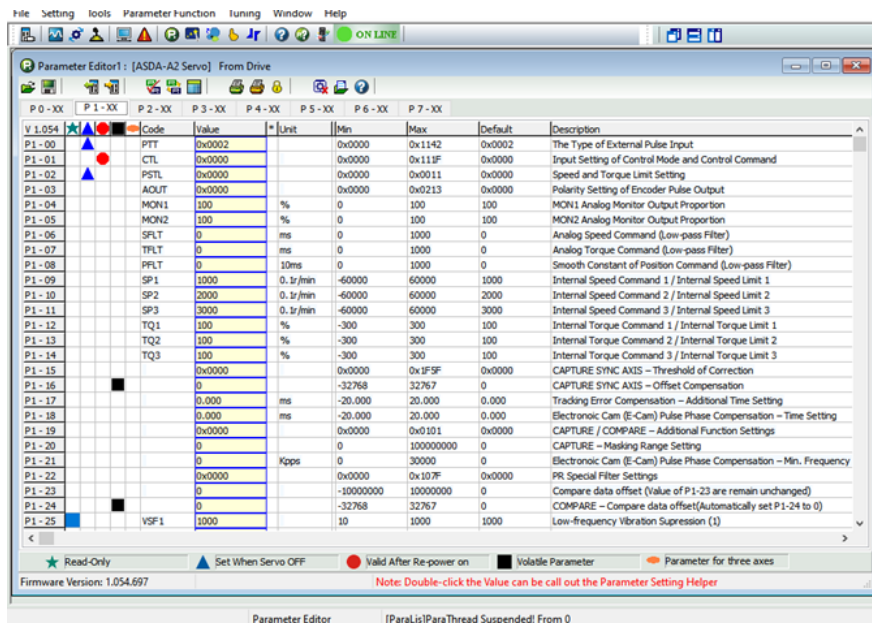


Figura 3.52: Interfaz de software del servo driver ASDASoft.

en la Figura 3.52 se puede apreciar el interfaz del programa con todos los parámetros configurables que existen.

Para fines de demostración del funcionamiento del presente proyecto se utilizó la operación de prueba de velocidad y posición sin carga, por lo que se resume los registros configurados con cada uno de sus valores y especificando sus funciones en la Tabla 3.15.

Los pulsos que sirven para definir la posición y velocidad a la que se mueve el eje de el servo deben conectarse a las salidas digitales del PLC Y1 y Y0 respectivamente ya que en el conector CN1 tienen su propia nomenclatura para los pines de conexión, es decir Y1 corresponde a /SIGN y Y0 a /pulse. Además se debe conectar la alimentación de 24 [VDC] para que las señales digitales conduzcan los parámetros ingresados en el HMI del modulo.

3.10. Diseño de comunicación entre equipos

La comunicación a nivel local en el modulo de demostración se realizó en base de varios protocolos estándar, teniendo en cuenta a los puertos de enlace que posee cada uno de los dispositivos. Se utilizó el protocolo modbus

Tabla 3.15: Registros configurados en el servo-driver.

Registro	Característica	Selección
P1-00	Configuración de tipo de entrada a pulsos externos	2: Entrada de posición y dirección
P1-01	Modo de control del servo	0: Control de posición Pt
P2-10	Bit de activación del servo	101: Servo On en entrada DI1
P2-11	Supresión de conteo de pulsos	104: Dirección DI2 para encerrar
P2-15	Reinicio ante falla	102: Dirección DI5 para reiniciar

para enlazar todos los elementos y la interfaz RS-485 para la conectividad ya que de necesita menos terminales porque tiene la ventaja de compartir varios dispositivos en el mismo bus, esto significa que se puede utilizar un terminal bus con el mismo protocolo, que tiene texto ASCII con 7 bits y transmite a una velocidad de 9600 baudios con numero de pariedad 1.

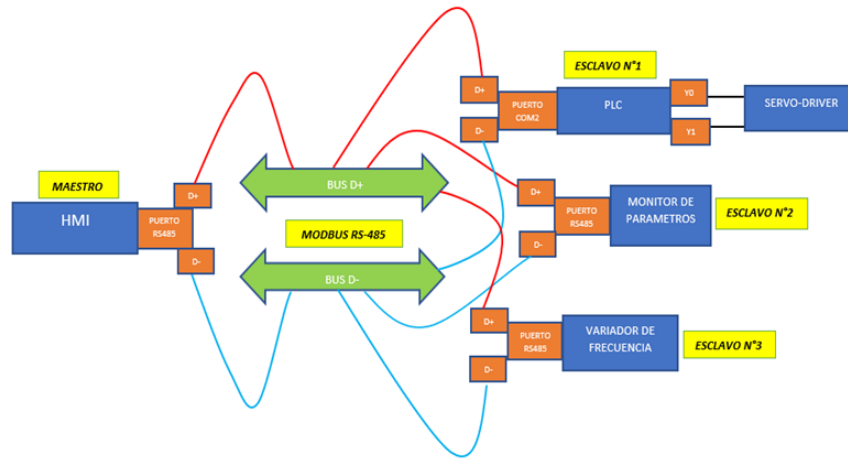


Figura 3.53: Diagrama de bloques de la comunicación entre equipos.

Adicionalmente se debe asignar a cada uno de los esclavos un número identificativo para cuando el maestro requiera algún dato sepa a donde direccionar su petición y no crear conflicto en la red Modbus que se

implemento. En la Figura 3.53 el diagrama de bloques representa los puertos de comunicación utilizados en cada uno de los dispositivos, ya que el protocolo RS-485 se compone de 2 hilos D+ y D-, estos pines de datos están simbolizados con bloques de color naranja con su respectivo puerto, además que todos los cables D+ pueden interactuar con el maestro a través de un bus de datos y lo mismo pasa con el hilo D-.

El HMI funciona como maestro en el protocolo Modbus y eso le permite solicitar una respuesta de sus diferentes esclavos, pero para que el el router Delta DX-2100 también pueda leer y escribir en los parámetros de los dispositivos periféricos necesita comunicarse con el HMI de manera que interactúen ambos como cliente y servidor de forma bidireccional, para establecer dicha relación entre estos elementos y que el HMI también pueda escribir sobre el router se utiliza el interfaz modbus TCP/IP.

Para la comunicación física del protocolo TCP/IP en el router DX-2100 se conecta un cable de red desde su puerto Ethernet del mismo hasta el puerto Ethernet del HMI, las configuraciones de direccionamiento de la red se realizan en el software DIADevice, esta interfaz de configuración se tratará con profundidad mas adelante en el apartado 3.12.

La función del router es enlazar los datos de la planta directamente a la nube del software de Delta denominado DIACloud, por lo que una vez establecido el diagrama de bloques de la comunicación local en el modulo de demostración, en la Figura 3.54 se puede apreciar el diagrama esquemático de los dispositivos con sus respectivos protocolos no solo de forma local sino también con su respectiva salida a internet, dando paso posteriormente a la integración del control remoto de la planta.

3.11. Diseño de la plataforma IoT de DIACloud

El monitoreo, control y gobernación del modulo de demostración se establece principalmente gracias a los software DIADevice, DIACom y DIACloud que son propios de la linea Delta, funcionan conjuntamente para lograr una comunicación inalámbrica y cada uno tiene su función especifica pero cabe recalcar que solo se trabaja con la herramienta DIACloud una vez que se setea las configuraciones en los otros dos restantes, aparte de los software anteriormente referidos la aplicación se puede ligar a herramientas como el VNC Viewer y la aplicación móvil DIACloud APP, estas últimas permiten una conexión inalámbrica al interfaz que maneja al modulo de demostración siempre y cuando exista conexión en linea con el servidor en la nube.

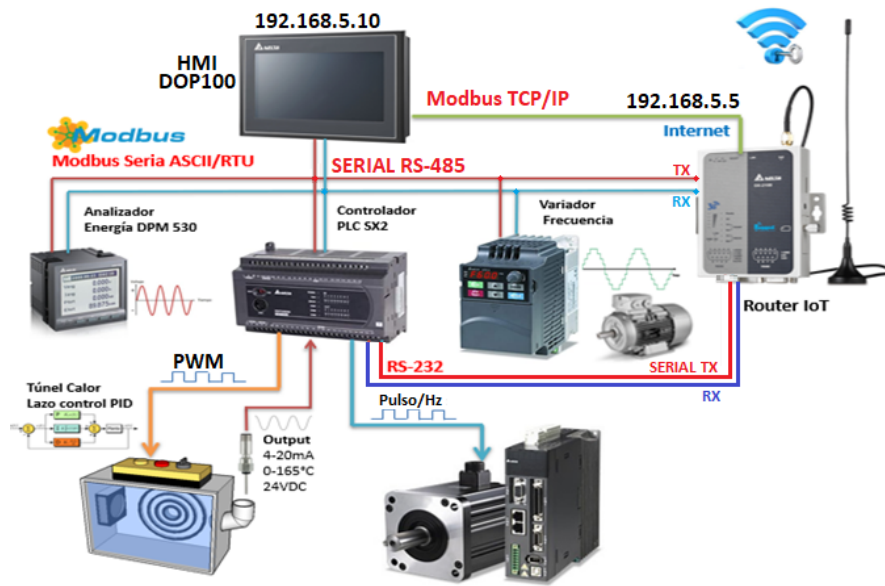


Figura 3.54: Protocolos de comunicación general del sistema.

3.11.1. Configuración de el software DIACloud

La herramienta DIACloud provee una conexión estable y segura para redes industriales utilizando la tecnología de la nube, la principal funcionalidad es modificar programas sin necesidad de desplazarse hasta la planta física. DIACloud ofrece 10 MB de almacenamiento en la nube y cuentas para usuarios ilimitados además que se pueden programar alarmas que son recibidas a través de mensajes de texto numero de celular, en cuanto a las seguridad de los dispositivos se puede asegurar que tienen una con fiabilidad considerable ya que los datos se encriptan hasta 6 veces al momento de su transmisión y recepción a su vez que permite vincularse a la red en modo transparente, maestro o esclavo.

Para empezar a trabajar sobre el DIACloud se necesita crear un usuario y contraseña en la pagina oficial del mismo, con los datos del que será el usuario de la plataforma, después de crear la cuenta la pagina DIACloud pedirá iniciar sesión cuando se quiera acceder a la plataforma, tal y como se muestra en la Figura 3.55, luego de ingresar con un usuario el siguiente paso sera crear un túnel seguro como se observa en la Figura 3.56, este tiene la función de brindar un espacio seguro entre la plataforma y el router donde se pueden transmitir los datos de forma segura.

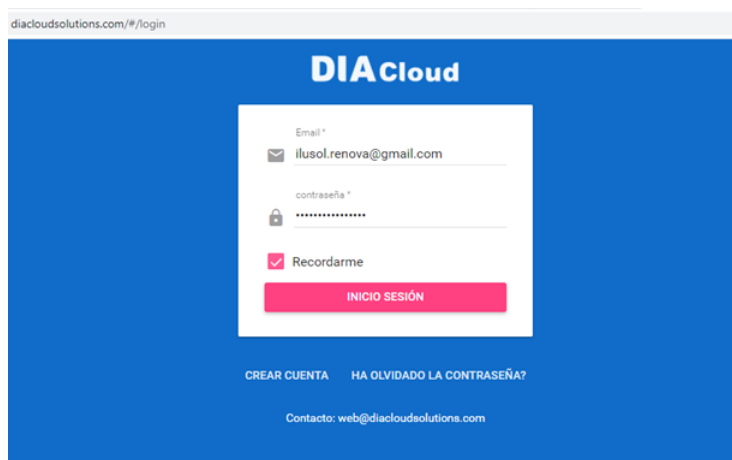


Figura 3.55: Creación de túnel seguro en DIACloud.

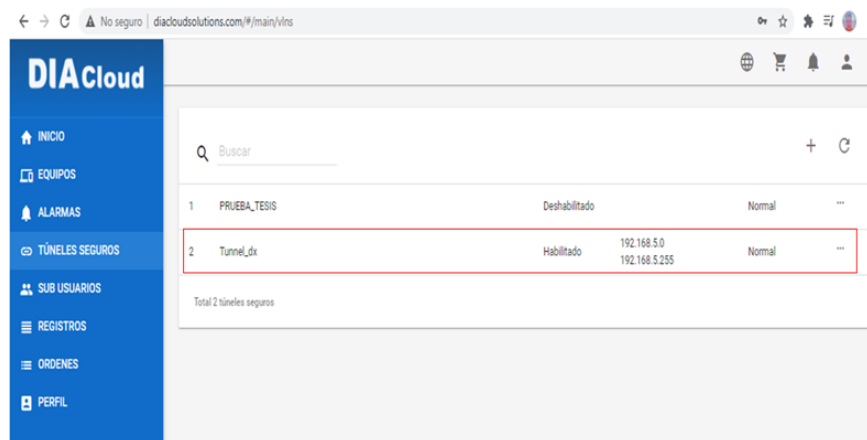


Figura 3.56: Túnel seguro en DIACloud.

En las opciones del túnel seguro se puede modificar el nombre del mismo así como también el direccionamiento que proporciona, este puede ser estático o por DHCP asignando un rango de direcciones que deben estar en la misma subred del dispositivo como se muestra en la Figura 3.57. En el DIACloud se puede escribir sobre las variables que se configuran en el router y además tiene la posibilidad de editar su funcionalidad y nombre como se puede apreciar en la Figura 3.58, gracias a esta particularidad en el programa

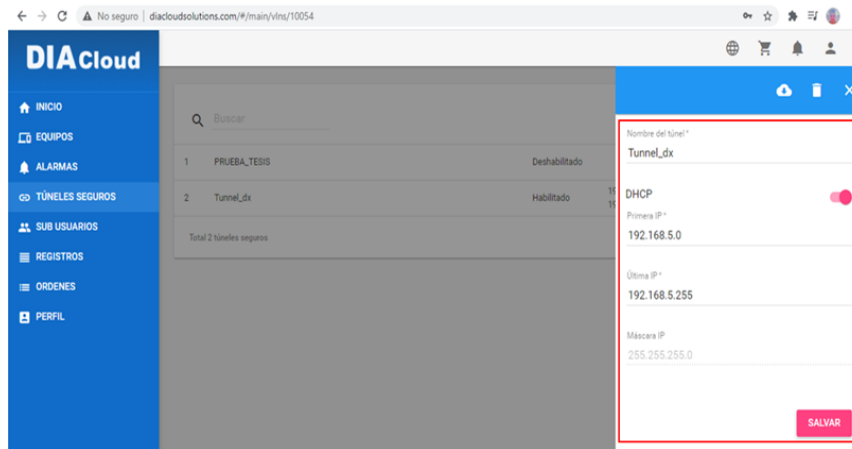


Figura 3.57: Creación de túnel seguro en DIACloud.

se asignan diferentes comandos dependiendo del valor que se escriba en la plataforma online reflejándose directamente en el interfaz de la misma.

El código java que se escribe en la ventana de configuración de registro lee el valor ingresado como una variable de nombre VAL y asigna una función ya sea RUN"ó "STOP", que son comandos predeterminados para prender o apagar el bit que corresponde al dispositivo que maneja. Para enviar un valor numérico se debe escoger un tipo de variable word y se retorna el valor que se escribe sobre VAL para que el router se encargue de llevarlo hasta el HMI.

3.11.2. Configuración del software DIADevice

El programa DIADevice trabaja directamente sobre el dispositivo DX-2100 y con el se puede entrar al interfaz de configuración del mismo, para acceder al programa se debe instalar el software, luego se conecta físicamente al router por medio de cable Ethernet para que sea detectado tal y como se muestra en la Figura 3.59, el router debe enlazarse con el DIACloud por medio de la cuenta que se registró en la plataforma, para comprobar que el túnel seguro y el dispositivo consten en la plataforma se puede acceder a la opción home en el DIACloud y visualizar que el equipo esté en línea.

No hay que pasar por alto que el dispositivo DX-2100 proporciona la salida a la nube por medio de un chip GSM tipo 3G que está alojado en la ranura para la mini SIM, por lo que deberá contener una tarjeta con acceso a datos

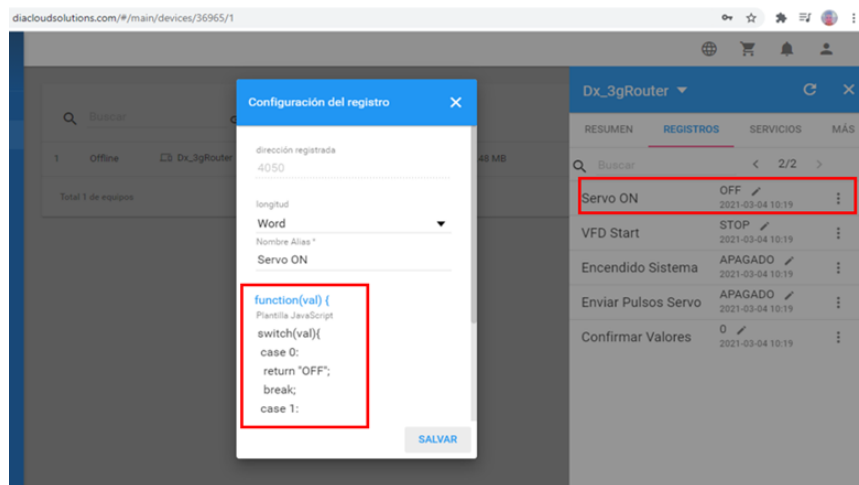


Figura 3.58: Ventana de configuración de registro en DIACloud.

de internet para conectarse al DIACloud.

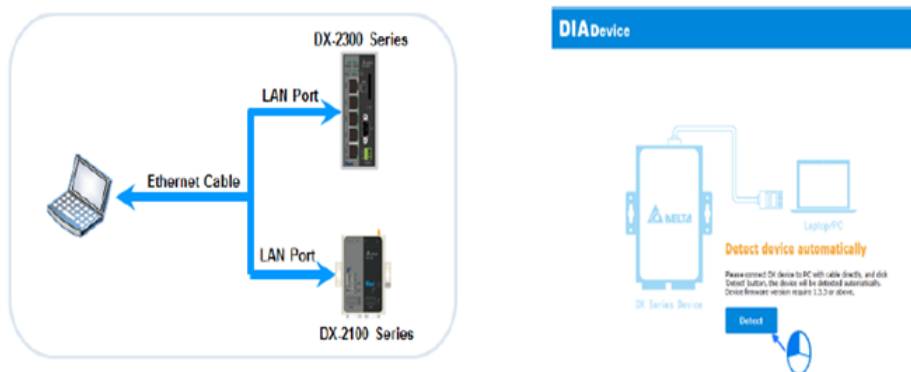


Figura 3.59: Conexión del router para reconocimiento en DIADevice.

Una vez comprobado que en la plataforma DIACloud constan el dispositivo y el túnel seguro se configura los parámetros principales para que exista comunicación remota entre el router y los principales elementos de control, es decir el PLC y HMI.

En la Figura 3.60 se muestra un esquemático todas las conexiones que el router DX-2100 posee en sus diferentes puertos físicos y lógicos de

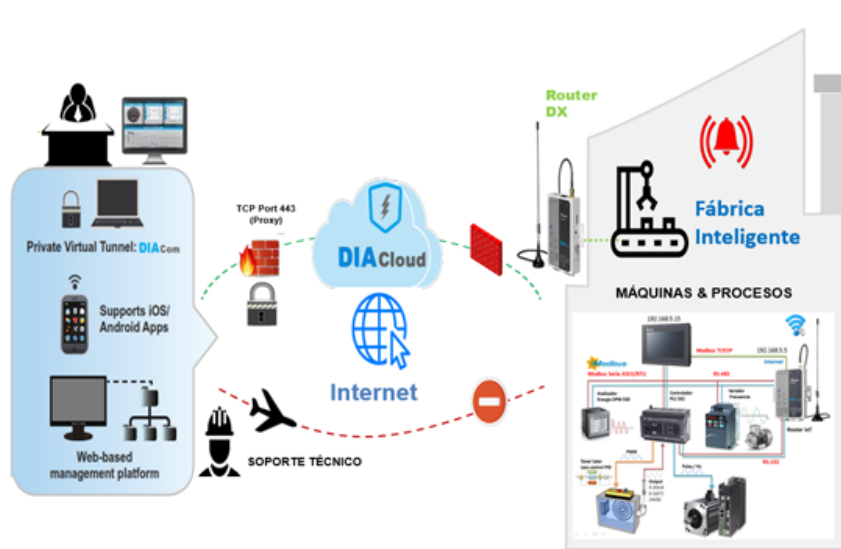


Figura 3.60: Esquemático del flujo de datos con salida a la nube.

comunicación, esto quiere decir que si queremos comandar remotamente algún elemento de la planta debe estar conectado de forma cableada al router por cualquiera de sus puertos.

El DIADevice configura los accesos del router levantando la comunicación y estableciendo la presencia de un interfaz RS-232, en el dispositivo DX-2100 cada una de las comunicaciones puede actuar en modo esclavo, maestro o transparente, siendo este último la forma de acceso remoto para bajar y subir datos a los dispositivos, este modo también tiene la posibilidad de poner al PLC en modo RUN para revisar su programación en caliente.

La Figura 3.61 contiene los valores de comunicación para que el interfaz de comunicación RS-232 del router funcione en modo transparente, se puede modificar estos valores entrando al menú sistema y la opción RS232.

Para habilitar La interacción cliente-servidor y viceversa entre el router y el HMI se configura las opciones del puerto de comunicación Modbus TCP, esta interfaz también tiene la opción de trabajar en modo transparente pero se configura en modo cliente-servidor para que exista salida de datos hacia la nube a la vez que el DIACloud escriba valores sobre los dispositivos del modulo de demostración.

Los parámetros de comunicación modbus TCP/IP se pueden apreciar en la Figura 3.62, a su vez la figura muestra una tabla en la parte inferior llamada

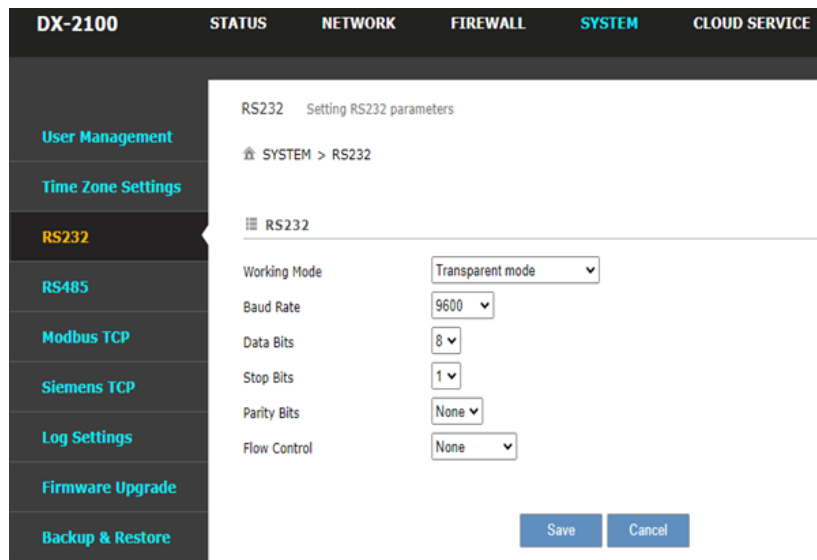


Figura 3.61: Parámetros del router para comunicación RS232 en modo transparente.

Read/Write Configuration, en la misma se adiciona cada una de las variables que representa las instrucciones de mando de los dispositivos periféricos. La tabla de variables determina: de que esclavo vienen los datos, si las variables van a ser de tipo lectura, escritura o ambas y también determina la relación con las variables originales del HMI que corresponden a los parámetros que se actualizan antes de subir al DIACloud.

El router Dx-2100 también tiene la posibilidad de enviar alarmas relacionadas al proceso de control, se pueden crear avisos de emergencia específicos relacionados a una variable, en este caso se fabricó una alarma de sobre calentamiento en el túnel de calor cuando este supere los 60 grados centígrados. Como se muestra en la Figura 3.63, en el interfaz DIADevice primero se crea el contacto al cual se va a dirigir el mensaje de peligro o advertencia, en el menú sistema existe la opción Privilege Management en la cual se selecciona el tipo de alarma para un evento en específico, además se agrega el número de teléfono y dirección electrónica al cual se dirige la alarma.

Una vez agregado el receptor del mensaje de alarma se prosigue a configurar el mensaje que va a recibir el usuario, para editar dicho mensaje se selecciona en el menú Event Management la opción Alarm event en la cual

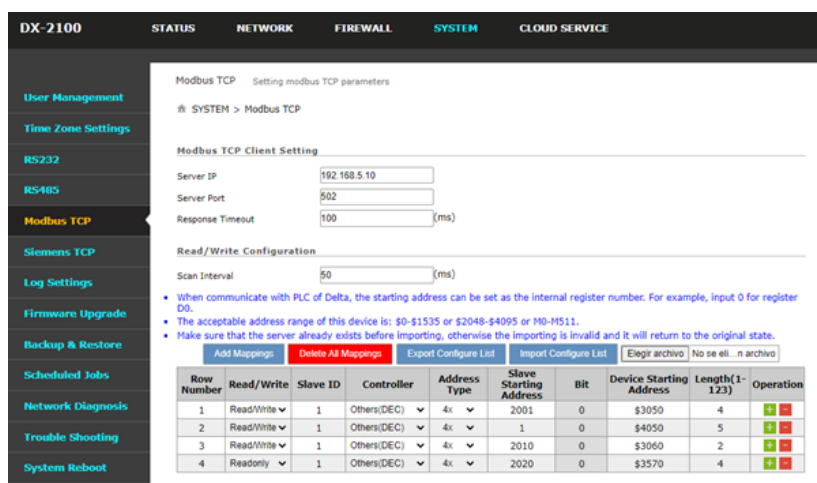


Figura 3.62: Ventana de configuración de los parámetros de Modbus TCP/IP modo cliente-servidor.

se inserta el nombre de la alarma, la descripción, el mensaje que aparecerá en el correo electrónico y la variable que esta involucrada, que en este caso es la S3061, cuya condición está preparada para advertir a la persona pendiente del proceso una vez que la temperatura sobrepase el valor indicado. En la Figura 3.64 se aprecia la creación del mensaje de alarma de sobre calentamiento en el túnel de calor.

3.11.3. Configuración del software DIACom

El software DIACom es el encargado de enlazar al equipo fuera de la red con los elementos principales de control que están conectados al router por medio de la creación de un puerto COM virtual en una PC externa, esto quiere decir que debe estar al tanto de la IP del DX-2100 así como de la red 3G a la que pertenece. Para que el DIACom reconozca a que dispositivo se quiere tener acceso, se debe iniciar la sesión con la misma cuenta DIACloud en donde se esta trabajando, de esta forma se enlazará al router del modulo de demostración, en la venta de bienvenida existe una opción para poder cambiar las opciones del HTTP proxy de la red.

Luego de iniciar sesión en el interfaz aparecen los dispositivos que tenemos vinculados a la cuenta y la opción de crear el túnel seguro por donde se transmitirán los datos del proceso, en la Figura 3.65 se muestra el interfaz del programa, también se puede elegir las opciones de direccionamiento del

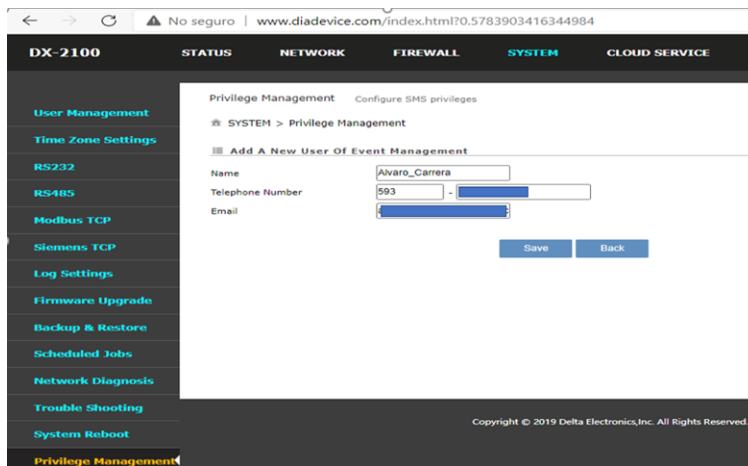


Figura 3.63: Creación del contacto receptor del mensaje de alarma.

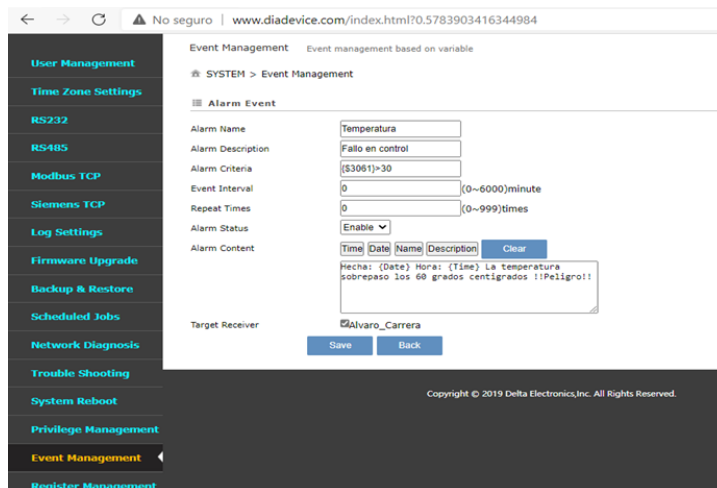


Figura 3.64: Creación de mensaje de alarma sobre calentamiento.

túnel ya sea con una dirección ip fija o automática por DHCP dentro del rango configurado previamente.

Una vez creado el túnel seguro se procede a crear el puerto virtual COM en la PC, en la Figura 3.66 se aprecia los puertos que están disponibles para su creación, la habilitación depende de la configuración en el DIADevice ya que solo los puertos declarados en modo transparente tienen la posibilidad

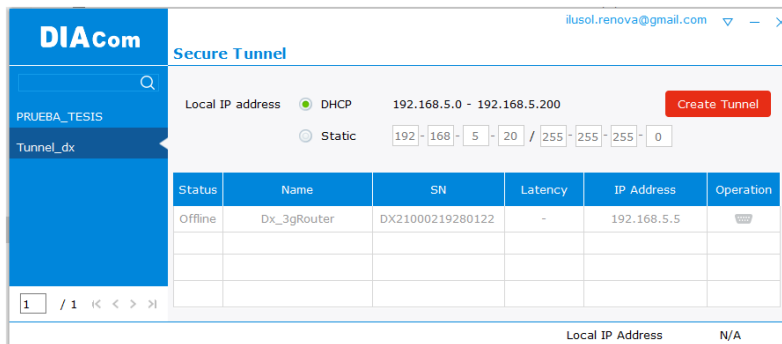


Figura 3.65: Creación de túnel seguro en interfaz del software DIACom.

de simular un puerto físico en la PC. Se crea el puerto con el nombre COM5 y su estado aparece como conectado.

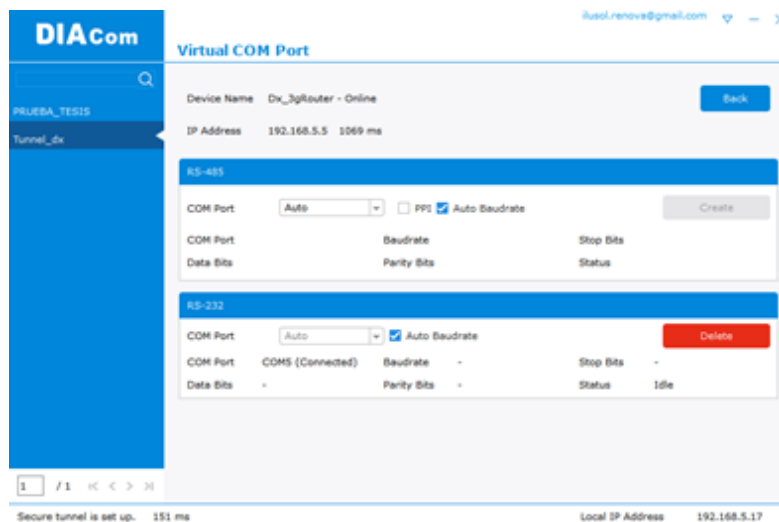


Figura 3.66: Creación del puerto COM virtual en DIACom.

Se puede comprobar que el protocolo RS-232 simuló un puerto COM virtual por medio del administrador de dispositivos del equipo, en las propiedades del PC aparece con el nombre de ELTIMA Virtual Serial Port (COM10), tal y como se muestra en la figura 3.67.

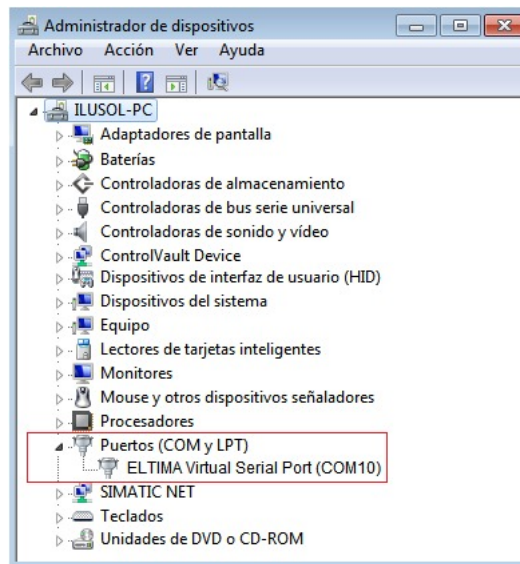


Figura 3.67: Verificación de presencia del COM virtual en la PC.

3.11.4. Configuración de aplicaciones móviles de monitoreo VNC Viewer y DIACloud APP

El monitoreo constante es otra de las características de las aplicaciones con Industria 4.0, el presente proyecto tiene la particularidad de proporcionar acceso directo a la plataforma DIACloud por parte de la APP que pertenece a la propia línea de software, para acceder a las opciones de monitoreo el primer paso es descargar la aplicación desde la tienda de Google store en cualquier dispositivo móvil ya que al momento de acceder a la plataforma se debe vincular la aplicación móvil a la cuenta utilizada para manejar la planta, existen varias opciones dentro de la aplicación en la Figura 3.69 se puede apreciar conectado al dispositivo DX2100 y las características del mismo con los interfaz de comunicación propios del router.

Las alarmas configuradas en el router también se pueden observar en la aplicación así como las variables que comandan el proceso, es importante tener en cuenta que las variables no se pueden escribir ya que solo poseen la función de mostrar el valor seteado en tiempo real, esto se puede observar en la Figura 3.70.

El software VNC Viewer sirve para entrar remotamente al HMI maestro en el modulo de demostración pero esta herramienta tiene la opción de

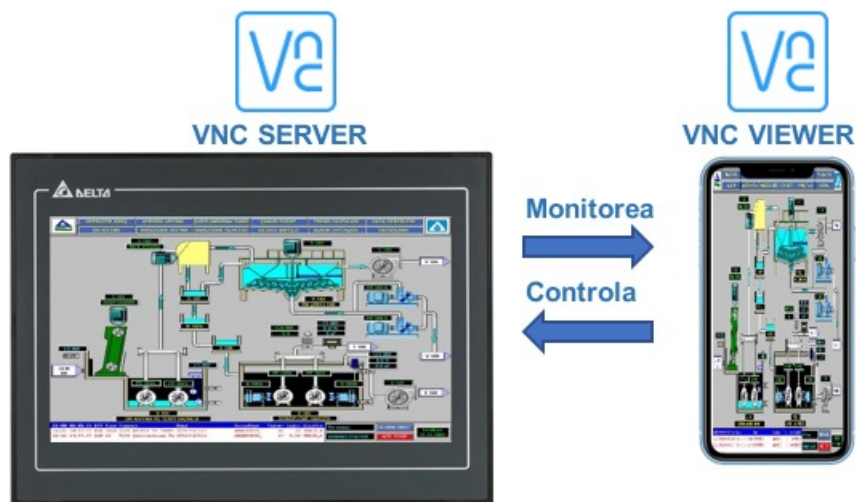


Figura 3.68: Acceso software VNC Viewer con celular.

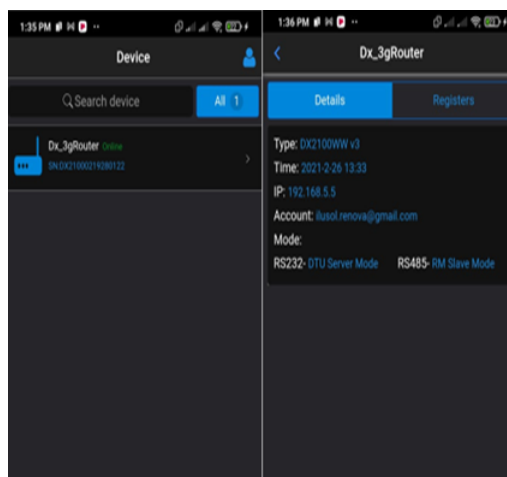


Figura 3.69: Interfaz de la aplicación móvil DIACloud.

manipular los parámetros que existen en el interfaz de control del proceso, se puede definir al programa VNC Viewer como un HMI externo a la red local con el cual basta saber la dirección ip de la pantalla de control dentro de la red para enlazar comunicación y gestionar acciones desde el dispositivo donde este corriendo esta herramienta. En la Figura 3.68 se muestra el sistema

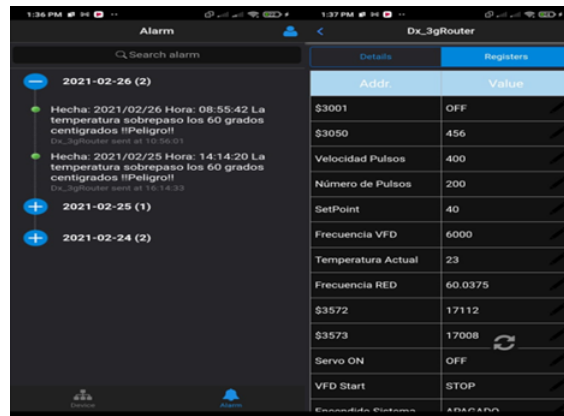


Figura 3.70: Alarmas y variables en el interfaz de la APP móvil de DIACloud.

esquemático generar.

En la Figura 3.71 se puede observar la pantalla del proceso principal reflejada en el VNC Viewer. Se crea un espejo entre el HMI y celular donde el operador puede realizar la misma función que realizaba en el HMI. Con VNC el administrador del proyecto puede ejecutar acciones de encendido, apagado, reset de alarma, revisar histórico e ingresar a la configuración del HMI.

3.11.5. Integración del sistema

En base al estudio planteado se diseña el tablero de control mostrado en la Figura 3.72 el cual consta de todos los elementos de automatización mencionados, el tablero se fabrico en base al diseño mecánico y eléctrico distribuyendo sus componentes según plano de diseño, se realizo al cableado y conexión de cada componente. Una vez terminado el talero se procede a energizar y posteriormente a al integración de cada uno de los componentes mediante cableado físico, virtual, protocolos de comunicación a la nube DIACloud.

El tablero se fabricó en base a las necesidades que tiene actualmente una empresa tradicional, en el mismo se puede observar que tiene los principales protocolos de comunicación básicos, con este resultado se obtiene el prototipo de simulación para empezar el estudio para repotenciar una fábrica automatizando los procesos de forma ágil, eficiente e inteligente. Con

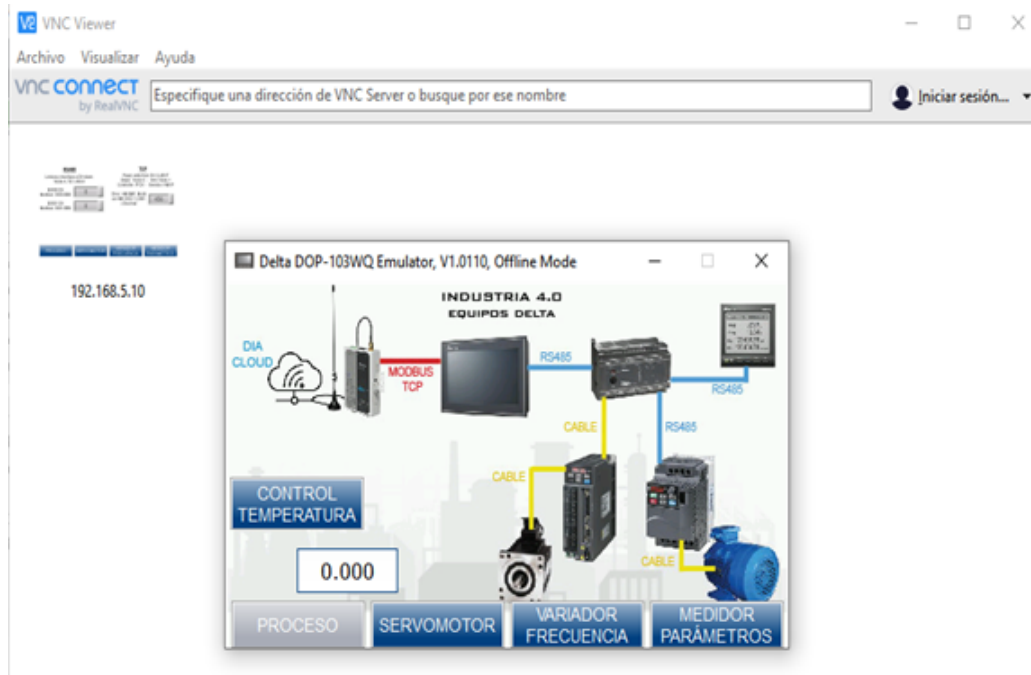


Figura 3.71: Acceso al HMI maestro desde el software VNC Viewer.

el tablero operativo se prosigue al siguiente capítulo de estudio donde se diseña la plataforma IoT DIACloud y se integra todos los componentes siendo operado y administrado remotamente.

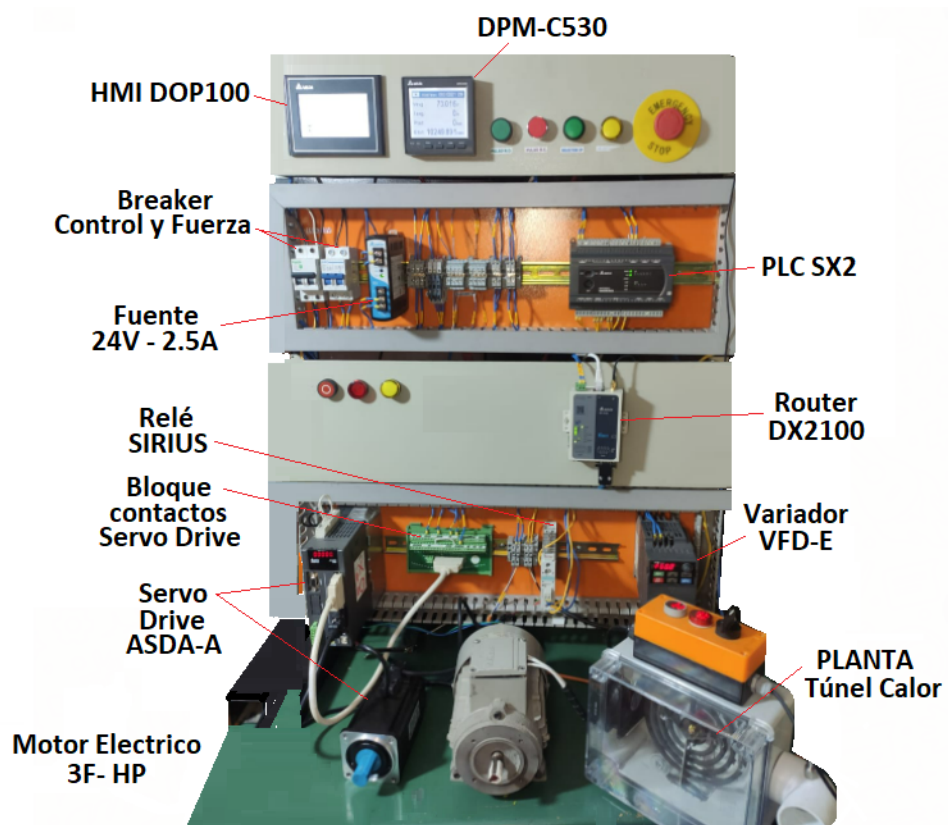


Figura 3.72: Integración final del tablero de control.

Capítulo 4

Resultados

En el presente capítulo se explica los resultados obtenidos en el proyecto y se concluye de manera experimental los objetivos alcanzados gracias a la implementación del diseño propuesto, teniendo en cuenta la relación de cada uno de los equipos en el modulo de demostración para emular un proceso de control de planta con concepto de IoT y fábrica inteligente.

4.1. Resultados y Análisis

Como resultado principal se tiene el control remoto del PLC y HMI de manera no presencial. Para acceder al control inalámbrico de los equipos se debe abrir los interfaz de configuración de los equipos ya sea ISPSOft o DOPSOft, el túnel seguro y el puerto COM virtual sirven como enlace de interacción inalámbrica para cada caso respectivamente.

El software ISPSOft se comunica con el PLC a través de el programa COMMGR, el cual identifica siempre un driver para la transmisión y recepción de datos. EL driver que se elije en el COMMGR tiene las mismas características de una conexión física cableada, esto quiere decir que para acceder a la edición del programa en el PLC se selecciona el driver detectado por el COMMGR tal y como se muestra en la Figura 4.1.

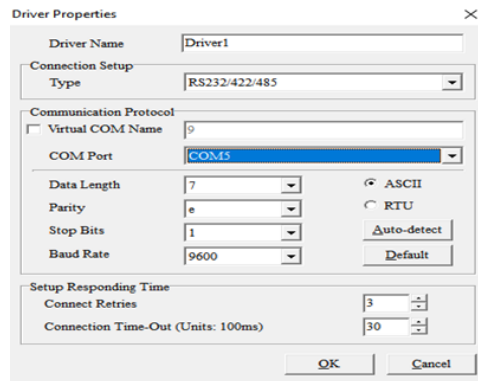


Figura 4.1: Driver de comunicación virtual en COMMGR.

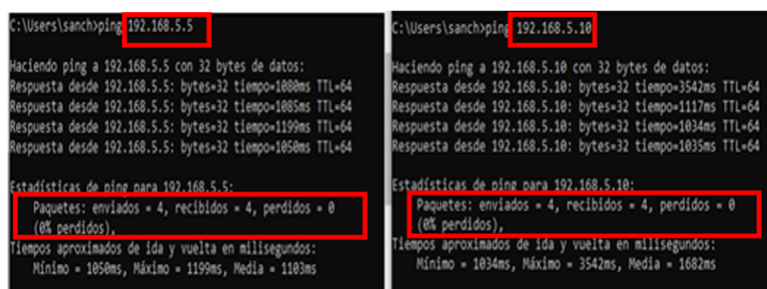


Figura 4.2: Ping de confirmación con la dirección ip del router y del HMI.

De igual manera se puede ratificar la conexión inalámbrica con el HMI, en la Figura 4.2, se verifica la comunicación enviando un ping de confirmación desde el terminal de donde queremos acceder hasta el router ó hasta el HMI.

La aplicación ISPSOft puede transferir el programa que el PLC esta ejecutando y trabajarlo en modo Online, así se pueden ver las variables en tiempo real, esta función se puede apreciar en la Figura 4.3.

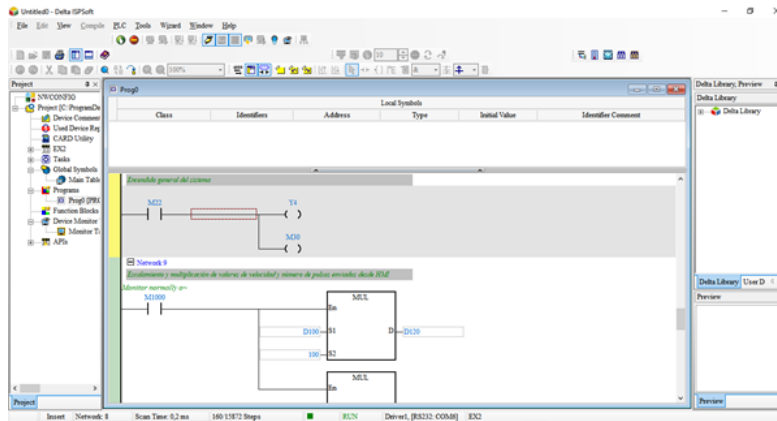


Figura 4.3: Modo Online remoto en ISPSOft.

La aplicación DOPSOft tiene la opción de editar el interfaz del HMI y cargarlo remotamente una vez que se establece el enlace inalámbrico por el túnel seguro, el ip del HMI en la red corresponde a la dirección 192.168.5.10 y su puede observar como el router lo reconoce en la Figura 4.4.

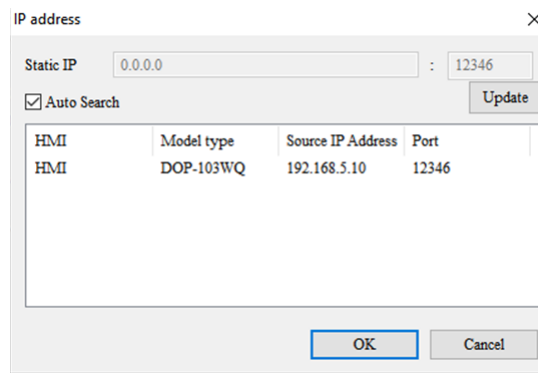


Figura 4.4: Reconocimiento de enlace inalámbrico en DOPSOft.

Una de las características esenciales de la plataforma IOT Delta es que tanto en la plataforma DIACloud, como en la aplicación móvil hay la posibilidad de acceder a la ubicación del equipo, para verificar esta información solo se debe entrar a la APP y escoger el equipo al que se quiere monitorear, el resultado se refleja a continuación en la Figura 4.5

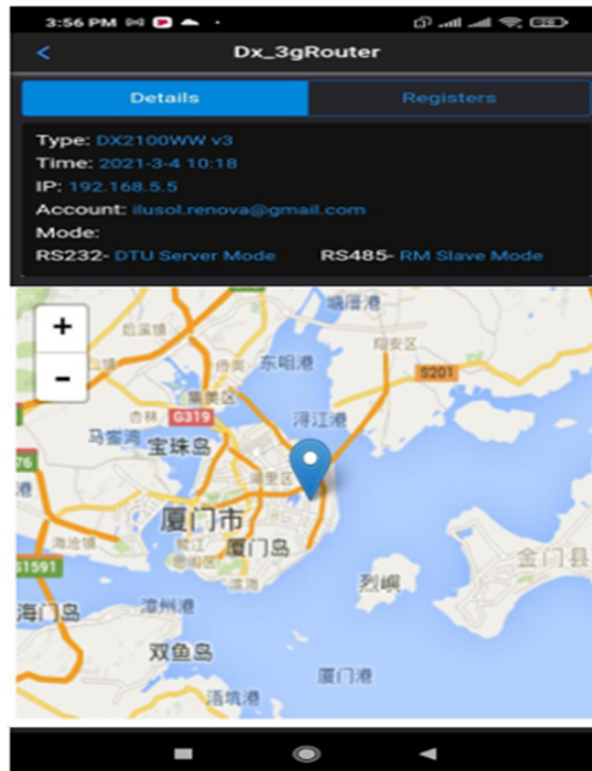


Figura 4.5: Reconocimiento de enlace inalámbrico en DOPSoft.

El monitoreo remoto se puede aplicar a cualquiera de las variantes que están interactuando en el modulo de demostración ya que existe la opción History en DIACloud, esta opción permite observar el comportamiento de la variable a través del tiempo. Se accede a la función History seleccionando el menú de opciones en las variables que aparecen en el registro, tal y como muestra la Figura 4.6, además esta herramienta también tiene incorporada la opción Export Data, la misma que descargar los datos recogidos en tiempo real en el historial a un archivo de formato con extensión .CSV, el mismo que permite estudiar los datos adquiridos y prever algún fallo consecuente

en el proceso o a su vez tomar medidas preventivas en la planta.

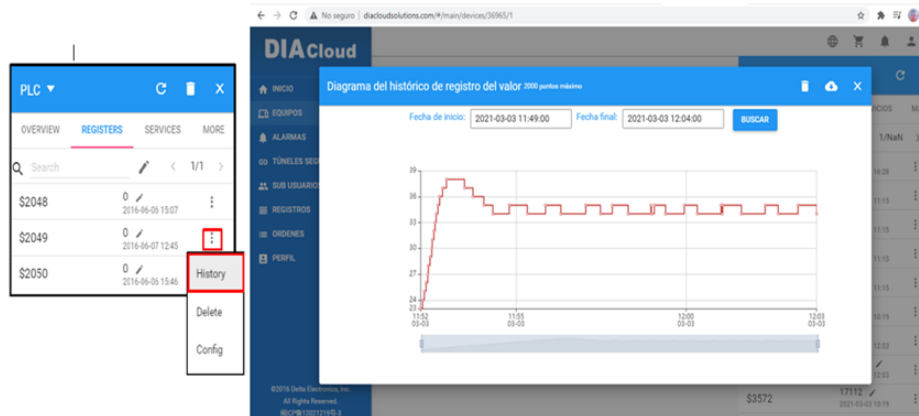


Figura 4.6: Función History en plataforma DIACloud.

La exportación de datos al programa Excel consta de 2 columnas una de ellas es la fecha con el tiempo y el otro la variable que se está monitoreando, en la ventana History se puede definir el rango en el tiempo de interés en la que la variable temperatura cambie su set point.

En la Figura 4.7 se observa el historial de datos del túnel de calor en DIACloud comparada con la gráfica en Excel con los datos de control PID implementado, con un set point de 35 grados centígrados.

Se verifica la correcta acción de las alarmas ya sea vía mail o por sms en el dispositivo del destinatario al cual le va a llegar el mensaje de advertencia acerca del sobrecalentamiento del túnel de calor, las alarmas se pueden observar en la Figura 4.8 y es necesario aclarar que se pueden agregar a los destinatarios que el proceso necesite.

Es de severa importancia que el estado del dispositivo DX-2100 aparezca en la plataforma DIACloud, así se puede verificar que esté conectado a internet, tenga salida a la nube y también que valor tienen cada una de las variables declaradas en la interacción del proyecto. Cabe recalcar que la configuración de parámetros se efectúa de manera totalmente remota desde la plataforma y que se puede acceder a las propiedades del router, en donde se observa su nombre, dirección ip, el tiempo de inicio, las alarmas y también como esta declarado en cada uno de sus puertos de comunicación.

En la Figura 4.9 se puede observar las diferentes características mencionadas acerca del dispositivo DX-2100, y en la Figura 4.10 se identifica el número de dispositivos en línea, de túneles seguros y alarmas que están

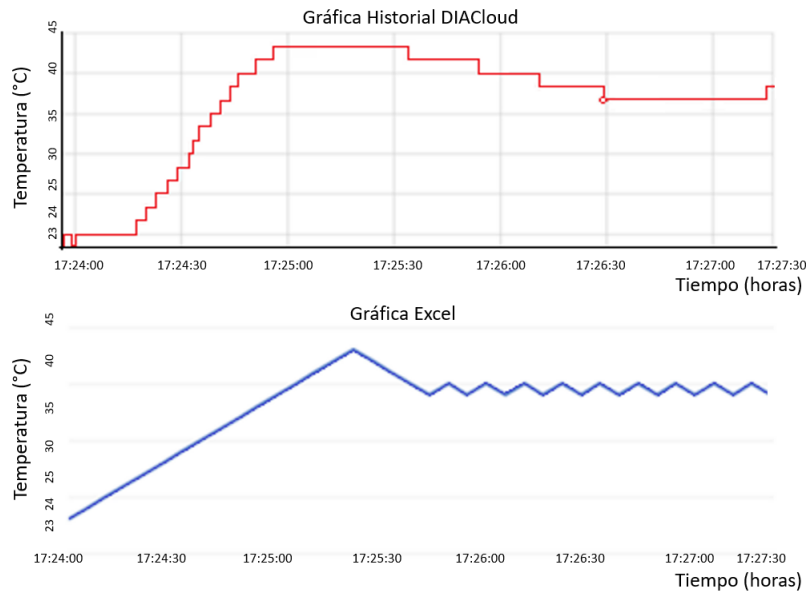


Figura 4.7: Comparación de la gráfica Temperatura vs Tiempo en DIACloud y Excel (Temperatura vs Tiempo).

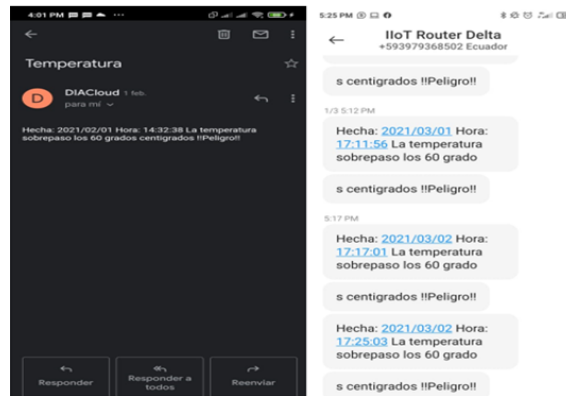


Figura 4.8: Verificación de la recepción de alarma de sobrecalentamiento vía sms y mail.

registradas en la cuenta DIACloud que estamos utilizando en el presente proyecto.

Finalmente se compara diversas características con otras plataformas

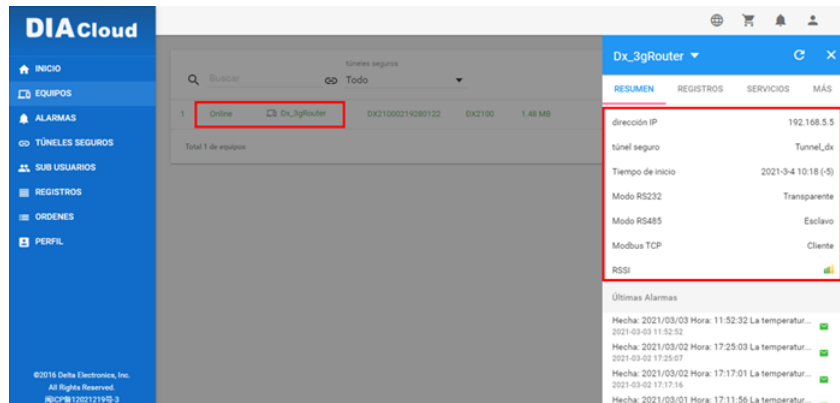


Figura 4.9: Resumen de características del DX-2100 en DIACloud.

IOT, las cuales son: MindSphere de la marca Siemens y Groov de la marca Opto 22, se tomaron en cuenta estas marcas ya que se consideran industriales en el medio electrónico. Todas las plataformas IOT tienen parámetros que se consideran equivalentes en cada uno de sus diseños a nivel de software y con los router a nivel de hardware. En la Tabla 4.1 se puede apreciar los datos que se pueden comprar en cada una de las plataformas.

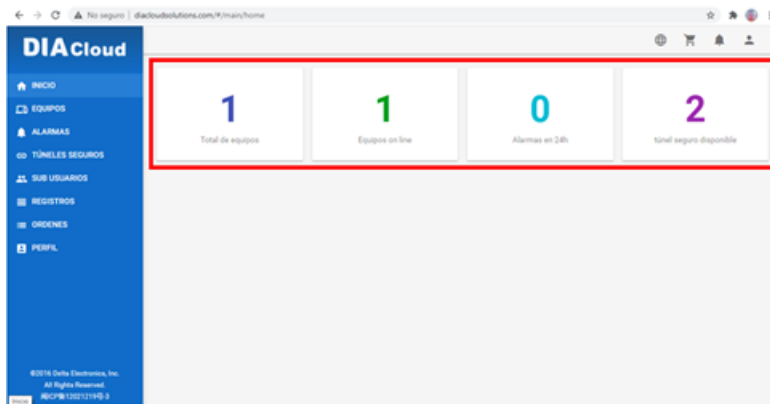


Figura 4.10: Disposición de equipos, túneles seguros y alarmas en cuenta DIACloud.

Tabla 4.1: Comparación de distintos parámetros entre Plataformas IOT.

DIACloud	MindSphere	Groov
Software Delta	Software Siemens	Software OPTO 22
Router DX-2100	Router MindConnect Nano	Router Groov box
Comunicación estándar para comunicar cualquier marca	Comunicación OPC arquitectura unificada	Comunicación estándar
Modbus TCP y RTU	Modbus TCP y OPC UA	Modbus 232/485
Encriptación de 6 niveles	Seguridad de acceso shell SSH	Cyberseguridad
Conexión remota a los dispositivos con la opción de cambiar su estado en línea	Acceso a interfaz de control y monitoreo	Admite desarrollo de APPS propias
Se puede conectar DAQ para adquirir datos	Conectividad con base de datos	Posee herramienta Digital twin para análisis de datos
Servicio de alarmas vía mail y sms	Servicio de alarmas vía mail	Acceso a servicio de amazon (AWS)
Estadísticas de flujo de datos 1GB de tráfico de datos y en la nube posee 10 MB de almacenamiento		Automatización de estadísticas

4.2. Conclusiones

Los conceptos de IoT industrial e Industria 4.0 son sumamente aplicables en procesos aislados en la industria, independientemente de que estén conformados por equipos de una marca diferente a Delta. Sin embargo, a pesar de que los router tengan protocolos estándar para conectar los equipos periféricos, hay que tomar en consideración la función de conectividad remota no solo para el control y monitoreo de la planta, sino también para cambios en la memoria de programa de los controladores. Por lo tanto se pueden revisar, diagnosticar y configurar procesos en caliente de manera remota, es

por esta razón que el sistema diseñado en el presente proyecto puede ser considerado como un demo de fábrica inteligente, incluso se podría escalar al proceso adicionando mas dispositivos como sensores o actuadores y a su vez modificando las propiedades de software sin necesidad de una presencia física del integrador en la planta.

Un sistema que transmite y recibe datos de la nube es susceptible a falencias en su seguridad, pero en la plataforma IOT de Delta el usuario debe identificarse y autenticarse para proporcionar una mayor seguridad y evitar las violaciones de seguridad en la que a datos respecta, las pasarelas que conectan los dispositivos en una planta y con los servidores del fabricante deben estar protegidas con un estándar de la encriptación de datos para evitar la vulnerabilidad de seguridad. En conclusión el cifrado de 6 niveles otorga una seguridad muy aceptable en relación a sistemas de datos industriales además que la plataforma posee el protocolo SSH que permite a los usuarios controlar y modificar sus servidores remotos a través de internet con un mecanismo de autenticación.

AL realizar la comparación de la plataforma DIACloud frente a otras implementaciones, se observa que los resultados son bastante aceptables siendo factible la pronta implementación en empresas que quieran cambiar su matriz productiva para entran en el mundo de la digitalización. El desmitificar el acceso remoto a maquinas y procesos garantiza los nuevos desafíos del soporte técnico. Con la presente pandemia del COVID-19 se registro bloqueos globales y cierre de fronteras, si se implementa la plataforma DIACloud se tiene un mejor tiempo de respuesta en la atención con diagnósticos y sin peligro de desplazamientos de personas, basta con tener acceso a internet para dar la solución.

Finalmente, el presente trabajo brinda un aporte para la asociación entre las ramas técnicas y teóricas de la Ingeniería 4.0, puesto que implementa un controlador convencional PID de temperatura y procesos que son normalmente comunes en la industria, además que permite validar y verificar el diseño lógico y de arquitectura que gobierna al flujo de datos en la red del sistema. Sin embargo se puede considerar al presente trabajo como un sistema SCADA de bajo nivel, ya que posee todas las características de control, supervisión y adquisición de datos a los que se puede analizar para automatizar acciones que convengan a la eficiencia del sistema.

4.3. Recomendaciones

La experiencia de una fábrica inteligente esta cubierta en su mayoría en el presente proyecto pero existe un limitante al momento de manejar el programa VNCViewer, el cual funciona a nivel de red local o también llamada intranet sin ningún problema pero si el usuario quiere manejar el HMI de manera remota desde fuera de la red es necesario adquirir una IP publica para acceder a esta función. Por lo tanto la herramienta VNCViewer adiciona esta función siempre y cuando en las opciones del router DX-2100 se habilite un Port Forward o puerto de redireccionamiento, el cual permita el acceso a una persona o equipo externo a una dirección privada dentro de una LAN.

La accesibilidad a internet por parte de una tarjeta SIM facilita la conectividad sin importar que el proyecto que controlemos esté en un lugar remoto, siempre y cuando exista una señal por parte del proveedor que se utilice, además que la tarjeta SIM admite múltiples redes móviles como WCDMA, UMTS, HSUPA, GSM, GPRS y EDGE; esto significa que cuando una red celular no funciona, el dispositivo cambiará automáticamente a la otra red celular. Además posee un puerto para conector RJ-45 que permite conectar a una red WAN de respaldo en una posible falla en la SIM y las prioridades de conexión a Internet sobre WAN y la red celular son configurables. Esto significa que el router se puede utilizar fácilmente en la tecnología M2M (Máquina a Máquina), volviéndose implementable en otros conceptos como la edificación inteligente, el transporte inteligente, supermercados inteligentes, etc.

Bibliografía

- F. Aguilar-Pereyra and M. I. Larios-Osorio. El Entorno de la Industria 4 . 0 : Implicaciones y Perspectivas Futuras. (54):33–45, 2017.
- D. I. Automation and I. C. Service. Plataforma DIACloud IoT. (0):1–12. URL <http://delta.com/deltronics/IndustrialAutomationProducts/IIoTSolutions/DIACloudrouters/DIACloudBrochure/DELTA>.
- M. S. Bennet Praba, N. Rengaswamy, Vishal, and O. Deepak. IoT Based Smart Water System. *Proceedings of the 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems, ICCES 2018*, (Icces):1041–1045, 2018. doi: 10.1109/CESYS.2018.8723969.
- F. Corso, Y. Camargo, and L. Ramirez. Wireless sensor system according to the concept of IoT -internet of things-. *Proceedings - 2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2014*, 1:52–58, 2014. doi: 10.1109/CSCI.2014.17.
- B. P. M. I. de Siemens. MindSphere IoT basado en la Nube, 2020. URL [siemens.com/mindsphere](https://www.siemens.com/mindsphere).
- B. Jadhav and S. C. Patil. Wireless Home monitoring using Social Internet of Things (SIoT). *International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques, ICACDOT 2016*, pages 925–929, 2017. doi: 10.1109/ICACDOT.2016.7877722.
- A. John, R. Varghese, S. S. Krishnan, S. Thomas, T. A. Swayambu, and P. Thasneem. Automation of 11 kv substation using raspberry pi. In *Proceedings of IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies, ICCPCT 2017*, page 5, India, 2017. ISBN 9781509049660. doi: 10.1109/ICCPCT.2017.8074264.
- J. Kopjak and G. Sebestyen. Event-driven fuzzy inference system implementation in node-red. *SISY 2019 - IEEE 17th International*

Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Proceedings, pages 255–259, 2019. doi: 10.1109/SISY47553.2019.9111512.

- W. Lee, K. Ryu, and S. Nam. Manufacturing: Korean-style Manufacturing Innovation Strategy Promoting Balanced Regional Growth Based on Collaboration for the International Conference on Smart Manufacturing Application (ICSMA 2008). 2008.
- C. C. Online. CONNECT ONLINE : It ' s Good. (DECEMBER 1997): 55–58, 2000.
- D. Parida, A. Behera, J. K. Naik, S. Pattanaik, and R. S. Nanda. Real-time environment monitoring system using ESP8266 and thingspeak on internet of things platform. *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, ICCS 2019*, (Iciccs):225–229, 2019. doi: 10.1109/ICCS45141.2019.9065451.
- S. Pasha. Thingspeak Based Sensing and Monitoring System for IoT with Matlab Analysis. *Int. J. New Technol. Res.*, 2(6):19–23, 2016. ISSN 2454-4116. doi: ISSN:2454-4116. URL https://www.ijntr.org/download_data/IJNTRO2060018.pdf.
- C. Pillajo. *Wireless Network Control System*. Editorial UniversitariaAbya-Yala, Ecuado, 1ra edició edition, 2018. ISBN 9781626239777. URL www.ups.edu.ec.
- Y. J. Qu, X. G. Ming, S. Q. Qiu, Z. W. Liu, X. Y. Zhang, and Z. T. Hou. A framework for smart manufacturing systems based on the stakeholders' value. *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Advanced Manufacturing, ICAM 2018*, (5):239–242, 2019. doi: 10.1109/AMCON.2018.8614782.
- J. Rodríguez. “*METAMODELO PARA LA INTEGRACIÓN DEL INTERNET DE LAS COSAS Y REDES SOCIALES*”. Tesis doctoral, UNIVERSIDAD DE OVIEDO, 2017.
- J. Rodriguez Sotelo, A. López Londoño, C. Vega Botero, and R. Darío Flórez Hurtado. Sistema de monitoreo y control remoto usando IOT para un regulador de presión. *Scientia et Technica*, 22(4):391–397, 2017. ISSN 0122-1701. doi: 10.22517/23447214.13291.
- X. Shi, T. Baba, D. Osagawa, M. Fujishima, and T. Ito. Maturity Assessment: A Case Study toward Sustainable Smart Manufacturing

Implementation. *Proceedings - 2019 IEEE International Conference on Smart Manufacturing, Industrial and Logistics Engineering, SMILE 2019*, pages 155–158, 2019. doi: 10.1109/SMILE45626.2019.8965284.