



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO IIOT,
PARA LA ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS EN UN MOTOR
TRIFÁSICO”**

AUTOR:

VILLÓN TOMALÁ RAÚL JAIR

TUTOR:

ING. GÓMEZ MORALES ÓSCAR WLADIMIR, MGT.

LA LIBERTAD – ECUADOR 2024

AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia para llevar a cabo este proyecto. Sin su guía y bendiciones, no hubiera sido posible superar los desafíos que encontré en este camino.

Durante la realización de esta investigación, he tenido la suerte de contar con el apoyo y la guía de muchas personas, sin cuya ayuda este trabajo no habría sido posible. En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Ingeniero Oscar Gómez Morales, por su valiosa orientación, paciencia y constante motivación, que fueron cruciales para superar cada obstáculo y mantener siempre un alto nivel de calidad en mi trabajo.

Mi familia ha sido mi pilar fundamental y mi principal fuente de inspiración en todo momento. Su fe en mis capacidades y su aliento incondicional me han impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

También quiero expresar mi gratitud a mis compañeros y amigos, quienes me ofrecieron su apoyo, ideas y ánimo a lo largo de este proceso. Sus contribuciones, aunque a veces pareciesen pequeñas, fueron significativas y enriquecieron mi perspectiva sobre esta investigación.

Finalmente, quiero agradecer a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por proporcionar el entorno y los recursos necesarios para el desarrollo de este proyecto, permitiéndome aplicar y ampliar mis conocimientos en un ambiente de aprendizaje y colaboración continua.

Raúl Jair Villón Tomalá

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, Sandra, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificios silenciosos me han proporcionado la fortaleza y la oportunidad de alcanzar esta meta. Su ejemplo de resiliencia y entrega ha sido mi mayor motivación en este camino.

A mi padre, Raúl, por enseñarme el valor del esfuerzo, la disciplina y la perseverancia. Su constante dedicación y arduo trabajo han sido pilares fundamentales en mi formación personal y profesional.

A mi hermana, Génesis, por su confianza inquebrantable y por ser mi fuente de inspiración en cada paso de este recorrido. A mis demás hermanas, por su cariño, apoyo emocional y palabras de aliento que siempre llegaron en el momento justo. Su presencia ha sido un recordatorio constante de la importancia de la familia en los momentos más desafiantes.

A mis amigos, Bryan, Anthony, Lisbette y María, quienes, con su ánimo incondicional, su compañía y su capacidad para sacarme una sonrisa en los momentos más difíciles, me recordaron el valor de la amistad verdadera. Gracias por estar siempre presentes y por hacer de este proceso algo más llevadero.

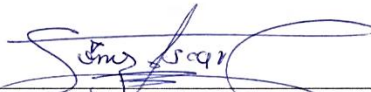
Finalmente, dedico este logro a todas aquellas personas que, de alguna manera, han contribuido con su apoyo, palabras de aliento y confianza en mi capacidad. Este trabajo no solo es el fruto de mi esfuerzo, sino también el reflejo del amor y la confianza de quienes siempre han creído en mí.

Raúl Jair Villón Tomalá

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor/Tutora del trabajo de integración curricular denominado: **"Implementación de un sistema de control y monitoreo IIot, para la adquisición de parámetros eléctricos en un motor trifásico"**, elaborado por el estudiante Villón Tomalá Raúl Jair, de la carrera de Electrónica y Automatización de la facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La libertad, 13 de Enero del 2025.



Ing. Gómez Morales Óscar Wladimir, Mgt.

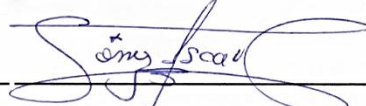
DOCENTE TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Ronald Humberto Rovira Jurado Ph. D.

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE
ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN**

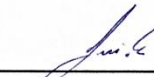


Ing. Oscar Gómez Morales, Mgt.

DOCENTE TUTOR.



Ing. Carlos Alberto Saldaña
Enderica, mgt
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Luis Enrique Chuquimarca
Jimenez, Msc
DOCENTE GUIA UIC



Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgt

SECRETARIA

DECLARACIÓN

El contenido del presente trabajo de titulación es de nuestra entera responsabilidad, el patrimonio intelectual del mismo le pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Villón Tomalá Raúl Jair
Autor

RESUMEN

El sistema de monitoreo y control propuesto en este trabajo de integración hace énfasis en la adquisición de parámetros eléctricos clave, como voltaje, corriente y potencia, en un motor trifásico. Parámetros eléctricos permiten evaluar el rendimiento y detectar variaciones que podrían indicar posibles fallas o ineficiencias en el sistema. Integrar estos datos en una plataforma de nube mediante la pasarela IoT2000 nos da almacenamiento, procesamiento en tiempo real y el acceso desde ubicaciones remotas, haciendo que la toma de decisiones basada en datos y permitiendo que el operador actúe proactivamente para reducir tiempos de inactividad y costos de mantenimiento. Este sistema también demuestra cómo el uso de tecnologías IIoT contribuye a una operación más sostenible y rentable al optimizar el uso de energía y los recursos en el entorno industria.

La comunicación basada en el protocolo MQTT usada en este estudio demuestra una transmisión de datos estable y en tiempo real, dando al operador la opción de analizar el comportamiento del motor y realizar ajustes de manera remota y oportuna. Este sistema de adquisición y procesamiento de datos en la nube hace posible un control más preciso y reduce el tiempo de respuesta ante condiciones anómalas, dando en conclusión la viabilidad de la implementación de IIoT en procesos industriales para mejorar la eficiencia y seguridad operativa.

Palabras Claves: Sistema IIoT, protocolo mqtt, industria 4.0, monitoreo y control.

ABSTRACT

The monitoring and control system proposed in this integration work emphasises the acquisition of key electrical parameters, such as voltage, current and power, in a three-phase motor. Electrical parameters allow to evaluate the performance and detect variations that could indicate possible faults or inefficiencies in the system. Integrating this data into a cloud platform using the IoT2000 gateway gives us storage, real-time processing and access from remote locations, making data-driven decision making and allowing the operator to act proactively to reduce downtime and maintenance costs. This system also demonstrates how the use of IIoT technologies contributes to a more sustainable and cost-effective operation by optimising the use of energy and resources in the industry environment.

Translated with DeepL.com (free version)The MQTT protocol-based communication used in this study demonstrates stable, real-time data transmission, giving the operator the option to analyse engine behaviour and make adjustments remotely and in a timely manner. This cloud-based data acquisition and processing system enables more accurate control and reduces response time to abnormal conditions, concluding the feasibility of implementing IIoT in industrial processes to improve operational efficiency and safety.

Keywords: IIoT system, mqtt protocol, industry 4.0, monitoring and control.

ÍNDICE DE GERENAL

AGRADECIMIENTO.....	I
DEDICATORIA	II
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	IV
DECLARACIÓN	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE DE GERENAL	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	1
1. FUNDAMENTACIÓN.....	2
1.1 Antecedentes.....	2
1.1.2.1 Control en la industria	2
1.1.2.2 Evolución de la comunicación y control industrial	2
1.1.3 Industria 4.0 con sistemas IIoT.....	3
1.1.4 Comunicación del IIOT	3
1.2 Descripción del proyecto.....	5
1.2.2 Estudio de la pasarela inteligente.....	5
1.2.3 Selección de dispositivos.....	5
1.2.4 Implementación del Sistema IIot.....	5
1.2.5 Implementación de la red.....	6
1.2.6 Configuración de red.....	6
1.2.7 Programación de controlador y dispositivos	7
1.2.8 Pruebas del sistema para monitoreo y control	7
1.3 Objetivos.....	8
1.3.2 Objetivo general	8
1.3.3 Objetivos específicos.....	8
1.4 Justificación.....	9
1.5 Alcance del proyecto.....	11
1.6 Metodología de la investigación.....	12
1.6.2 Investigación aplicada	12
1.6.3 Investigación de prototipado y validación.....	12
1.6.4 Investigación experimental.....	12

1.6.5	Investigación bibliográfica y de estado del arte	13
CAPÍTULO I		14
2	PROPUESTA TECNOLÓGICA	14
2.1	Marco contextual	14
2.2	Marco conceptual	16
2.2.1	Redes de comunicación Industrial	16
2.2.2	Flujo de Datos en la IIoT	18
2.2.3	Protocolo de Comunicación y Análisis en la Nube	19
2.2.4	Clasificación de Arquitecturas IIoT en Sistemas de Control	21
2.2.4.1	Sistemas de Control Basados en Red	22
2.2.4.2	Sistemas de Control Basados en Internet	23
2.2.5	Controladores en redes industriales	23
2.2.5.1	Tipos de controladores en redes industriales	24
2.2.6	Conexiones externas	26
2.2.7	Topología de redes industriales	26
2.2.8	Sistemas de medición de comunicación industrial	27
2.2.9	Interconexión de redes	28
2.3	Marco Teórico	29
CAPÍTULO III		31
3	DESARROLLO DE LA PROPUESTA	31
3.1.1	Componentes físicos	31
3.1.1.1	Conexión para el sistema de alimentación	31
3.1.1.1.4	Interruptores automáticos	34
3.1.1.2	Equipos de control	36
3.1.1.2.2	Vdf sinee EM730-0R7-2B	37
3.1.1.4	Componentes para el sistema IIoT	39
3.1.1.4.2	Pasarela inteligente SIMATIC IOT2000	41
3.1.1.4.2.1	Módulos incluidos	41
3.1.1.5	Equipos de medición	44
3.1.1.5.1	Medidor de parámetros eléctricos Schneider Electric PM5100	44
3.1.1.6	Equipo actuador	45
3.1.2	Componentes lógicos	46
3.1.2.1	CADESimu	46
3.1.2.2	Win32DiskImager	47
3.1.2.3	PuTTY	48
3.1.2.4	DOPSoft	48
3.1.2.5	Wireshark	48

3.2	Diseño de la propuesta.....	50
3.2.2	Topología de la red de datos del sistema	52
3.2.3	Montaje de los componentes del sistema IIoT	52
3.2.4	Diagrama esquemático general de la red IIOT.....	53
3.2.5	Configuración de accionamientos eléctricos.....	54
3.2.6	Conexión de los dispositivos seriales.....	55
3.2.6.1	Conexión del variador SINEE VFD-EM730	56
3.2.6.2	Conexión y configuración del medidor de parámetros PM5110 Schneider Electric	57
3.2.7	Conexión de los transformadores de corriente	59
3.2.8	Conexión de la pasarela inteligente SIMATIC IOT2040	60
3.2.9	Conexión del PLC S7-1200 SIEMENS	61
3.2.10	Conexión pantalla HMI Delta DOP-103WQ	61
3.2.11	Conexión de los equipos Ethernet conectados al Switch Ethernet	62
3.2.12	Configuración de la pasarela Simatic iot2040.....	62
3.2.12.1	Instalación de imagen Yocto Linux.	63
3.2.12.2	Acceder a la configuración interna del SIMATIC IOT2040.....	64
3.2.12.3	Configuración de puertos de la pasarela.	65
3.2.13	Configuración de variables en la nube.....	66
3.2.13.1	Creación de aspecto en plataforma Insights hub.....	66
3.2.13.2	Creación de tipo en plataforma Insights hub.....	67
3.2.13.3	Creación de activo en plataforma Insights hub.....	67
3.2.13.4	Creación de certificado mqtt en plataforma Insights hub.....	68
3.2.14	Comunicación entre red local e interfaz remota.....	68
3.2.14.1	Comunicación entre el variador de frecuencia y pasarela IOT2000.....	68
3.2.14.2	Comunicación entre el medidor de parámetros y pasarela iot2000.....	69
3.2.14.3	Comunicación entre la pasarela iot2000 y la interfaz remota.	69
3.2.15	Interfaz remota en plataforma Insights hub.	71
3.3	Pruebas y resultados	72
3.3.1	Pruebas y resultados en la red de comunicación de los equipos conectados a la pasarela iot2000	73
3.3.2	Pruebas y resultados de rendimiento de la pasarela iot2000.	73
3.3.3	Pruebas y resultados en la comunicación entre pasarela y el bróker mqtt.....	74
3.3.4	Pruebas y resultados de confiabilidad del sistema IIoT.	76
3.3.5	Pruebas y resultados de control de variador de SINEE EM730 para el accionamiento del motor trifásico mediante interfaz remota	77
3.3.6	Pruebas y resultados del monitoreo de parámetros eléctricos de un motor trifásico mediante la interfaz remota.	78
3.3.7	Pruebas y resultados de graficas de series temporales y eventos del variador de frecuencia	79

3.3.8	Pruebas y resultados de notificación de eventos de acciones en el motor trifásico.	80
3.8.9	Pruebas y resultados de reportes de medición de parámetros eléctricos del sistema IIoT. 81	
CAPÍTULO IV.....		82
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		82
4.1	Conclusiones	82
4.2	Recomendaciones.....	85
Firmas de responsabilidad		86
ANEXOS		91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diseño preliminar de la arquitectura de la red IIOT.....	7
Figura 2 Red de comunicación Profibus DP.	16
Figura 3. Red de comunicación Profibus PA.	17
Figura 4. Red de comunicación HART.....	18
Figura 5. Red de comunicación industrial.....	19
Figura 6 Pirámide de automatización.....	22
Figura 7. Arquitectura SCBR.....	22
Figura 8. Arquitectura SCBI.....	23
Figura 9. Arquitectura de control Local.....	24
Figura 10. Arquitectura de control Remoto.....	25
Figura 11. Arquitectura de control bilateral.....	25
Figura 12. Tipos de topologías de las redes industriales.....	27
Figura 13. Interconexiones de Red.....	29
Figura 14. DELTA SLIM DRL-24V75W1AZ.....	32
Figura 15. CAMSCO CFS-33 30/5.....	33
Figura 16. Interruptores Automáticos.....	34
Figura 17. Conductores AWG de varios calibres.....	35
Figura 18. PLC S7-1200 1214C AC/DC/Relay.....	36
Figura 19. VDF SINEE EM730-0R7-2B.....	38
Figura 20. Pantalla HMI DELTA DOP-103WQ.....	39
Figura 21. Switch TL-SF1008D.....	40
Figura 22. Módulos de Simatic IOT2040.....	41
Figura 23. Parte superior, frontal e inferior del IOT2040.....	42
Figura 24. MircoSD adata 32gb.....	43
Figura 25. Medidor de parámetros eléctricos.....	45
Figura 26. Motor eléctrico trifásico Siemens.....	46
Figura 27. Logotipo CADEsimu.....	47
Figura 28. Logotipo Win32DiskImager.....	47
Figura 29. Logotipo PuTTY.....	48
Figura 30. Logotipo DOPSoft.....	48
Figura 31. Logotipo Node Red.....	49
Figura 32. Logotipo Insights Hub.....	50
Figura 33. Diagrama de conexión eléctrica de equipos 1.....	51
Figura 34. Diagrama de conexión eléctrica de equipos 2.....	51
Figura 35. Topología de red.....	52
Figura 36. Montaje de los componentes en el módulo.....	53
Figura 37. Diagrama general de la red IIOT.....	54
Figura 38. Esquema delta del motor trifásico.....	55
Figura 39. Conexión física del motor trifásico en delta- delta.....	55
Figura 40. Conexión en cadena de los equipos seriales.....	56
Figura 41. Conexión del variador de frecuencia SINEE.....	57
Figura 42. Conexión de alimentación del medidor PM5110.....	58
Figura 43. Configuración del medidor de parámetros.....	58
Figura 44. Puerto serie del medidor de parámetros.....	59
Figura 45. Conexión física y etiquetado de los Transformadores de corriente.....	60
Figura 46. Conexión de la pasarela SIMATIC IOT2040.....	60
Figura 47. Conexión del PLC S7-1200.....	61
Figura 48. Conexión del HMI Delta DOP-103WQ.....	62
Figura 49. Conexión de puertos del switch TP-Link.....	62
Figura 50. Grabación de imagen Yocto Linux.....	63
Figura 51. Instalación de imagen Yocto Linux.....	63
Figura 52. Configurar subred del puerto ethernet.....	64
Figura 53. Abrir terminal de Yocto Linux.....	65
Figura 54. Ingreso a la configuración del simatic iot2040.....	65

Figura 55. Asignación de IP del iot2000.....	66
Figura 56. Creación de aspectos en Insights hub.....	66
Figura 57. Creación del Tipo en Insights hub.....	67
Figura 58. Creación del activo en Insights hub.....	67
Figura 59. Certificado mqtt en Insights hub.....	68
Figura 60. Adquisición de frecuencia de salida.....	69
Figura 61. Accionamientos del variador.....	69
Figura 62. Adquisición de parámetros eléctricos.....	69
Figura 63. Envío de accionamiento por mqtt.....	70
Figura 64. Recepción de accionamiento vía mqtt.....	70
Figura 65. Broker mqtt para variables de accionamiento.....	70
Figura 66. Adquisición y envío de parámetros eléctricos.....	70
Figura 67. Crear Datapoint Mappings en insights hub.....	71
Figura 68. Visualizar parámetros en interfaz remota.....	71
Figura 69. Plantilla para parámetros en interfaz remota.....	72
Figura 70. Plantilla para gráficas y eventos en interfaz remota.....	72
Figura 71. Plantilla para control de variador EM730.....	72
Figura 72. Ping a la dirección Ip del IDF9506.....	73
Figura 73. Rendimiento de pasarela iot2040.....	74
Figura 74. Latencia con respecto al número de paquetes.....	75
Figura 75. Latencia con respecto al tamaño de paquete.....	75
Figura 76. Monitoreo y control de variador de frecuencia por interfaz remota.....	77
Figura 77. Monitoreo de parámetros de voltaje mediante la interfaz remota y el PM5100.....	78
Figura 78. Monitoreo de parámetros de corriente mediante la interfaz remota y el PM5100.....	78
Figura 79. Monitoreo de parámetros de Potencia mediante la interfaz remota y el PM5100.....	79
Figura 80. Monitoreo de parámetros de Frecuencia mediante la interfaz remota.....	79
Figura 81. Gráficas y eventos del sistema IIoT.....	80
Figura 82. Eventos del variador de frecuencia.....	80
Figura 83. Notificación de evento por correo electrónico.....	81
Figura 84. Reporte de variables por correo electrónico.....	82
Figura 85. Archivo adjunto del reporte.....	82
Figura 86. Esquema practica IIoT 1.....	91
Figura 87. Herramienta Asset Manager de Insights Hub.....	92
Figura 88. Creación de un Aspecto en Insights hub.....	92
Figura 89. Creación de un Tipo en Insights hub.....	93
Figura 90. Creación de un Aspecto en Insights hub.....	93
Figura 91. Creación de certificado MQTT.....	94
Figura 92. Activo "Conexion_Parametros" enlazado con bróker MQTT "iiotsnlx_raul".....	94
Figura 93. Datapoint para acceso remoto de las variables.....	94
Figura 94. Adquisición de parámetros mediante nodos modbus.....	95
Figura 95. Configuración de nodo "Frecuencia [29187]".....	95
Figura 96. Configuración de nodo "Modbus Flex Getter".....	95
Figura 97. Configuración de nodo "Conversor1".....	95
Figura 98. Esquema de envío mediante MQTT.....	96
Figura 99. Configuración de nodo "Join".....	96
Figura 100. Configuración de nodo "Organizador".....	96
Figura 101. Configuración de nodo "TimeSeries".....	96
Figura 102. Configuración de nodo MQTT.....	97
Figura 103. Herramienta "Monitor" de insights hub.....	97
Figura 104. Esquema practica IIoT 2.....	98
Figura 105. Envío de datos a la pasarela IIoT 2000.....	98
Figura 106. Configuración de nodo "Marcha".....	99
Figura 107. Configuración de nodo "Reversa".....	99
Figura 108. Configuración de nodo "Paro".....	99
Figura 109. Configuración de nodo "Marcha".....	99

Figura 110. Acceso Mqtt en interfaz remota.	100
Figura 111. Configuración de nodo mqtt en interfaz remota.	100
Figura 112. Accionamiento de variador mediante interfaz remota.	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tabla de características técnicas del DELTA DRL-24V75W1AZ	32
Tabla 2	Tabla de características técnicas del CFS-33 de 30/5A.	33
Tabla 3	Tabla de características técnicas de interruptores automáticos.	34
Tabla 4	Tabla de características de los conductores AWG de diversos calibres.	35
Tabla 5	Tabla de características técnicas del PLC S7-1200 1214C AC/DC/Relay.....	37
Tabla 6	Tabla de características técnicas del VDF SINEE EM730- 0R7-2B.....	38
Tabla 7	Tabla de características técnicas de la pantalla HMI DELTA DOP-103WQ.....	39
Tabla 8	Tabla de características técnicas del Switch TL-SF1008D.....	40
Tabla 9	Tabla de características técnicas del medidor de parámetros eléctricos PM5110.	45
Tabla 10	Tabla de características técnicas del motor eléctrico trifásico.	46
Tabla 11	Registros del variador de frecuencia.....	68
Tabla 12	Prueba de confiabilidad del sistema.	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Manual de prácticas realizadas en el sistema IIot	91
Anexo 2. Dirección de registro del protocolo MODBUS EM730.....	101
Anexo 3. Dirección de registro del protocolo MODBUS PM5100	104
Anexo 4. Certificado de Análisis del sistema anti plagio	105

INTRODUCCIÓN

La introducción de sistemas IIoT (Industrial Internet of Things) está adquiriendo cada vez más importancia en diversos sectores industriales debido a sus ventajas para el control y la supervisión remotos de variables en redes locales. La capacidad de monitorizar y gestionar a distancia no solo permite optimizar la eficiencia energética, sino también responder a tiempo ante posibles averías, esto aumentaría la seguridad y la continuidad de los procesos industriales.

El control de un proceso es esencial para la optimización en la industria; la introducción de un sistema de control remoto nos permite como operador controlar procesos que podrían presentar cierto riesgo si se controlaran manualmente. Esta monitorización a través de sistemas IIoT nos proporciona una visión detallada de las variables del proceso a lo largo del tiempo. Poder conseguirlo incorpora bases de datos que registran las fluctuaciones de las variables y proporcionan al operario información valiosa para detectar y corregir anomalías de forma proactiva.

El sistema IIoT implementado utiliza ciertas normas prácticas que les facilitan su análisis y comprensión. Al realizarlo de esta forma nos da una ventaja significativa en el entorno educativo, porque permite a los estudiantes familiarizarse con la tecnología de control remoto de la industria moderna. Este proyecto presenta la pasarela IoT2000 como componente principal para transmitir los parámetros eléctricos del motor trifásico a la nube y demuestra su capacidad para transmitir datos de forma segura y eficiente en función de la aplicación.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTACIÓN.

1.1 Antecedentes.

1.1.2.1 Control en la industria

A finales de los años cincuenta, la tecnología computacional aplicada al control de procesos industriales logró un avance significativo, en sectores complejos como las refinerías de petróleo. Estos sistemas de control existentes en ese tiempo eran bastante limitados, por lo que se requería una considerable cantidad de mano de obra en la fabricación, como en la industria papelera [1]. La calidad de la producción en gran medida se daba por la habilidad de los operarios y de su capacidad para responder rápidamente a situaciones inesperadas. El control de los procesos era mayormente semiautomático y semimanual, con los operarios responsables de definir las referencias de mando apropiadas para los sistemas de control analógico.

1.1.2.2 Evolución de la comunicación y control industrial

Uno de los primeros protocolos industriales que se implementó para facilitar la comunicación entre componentes de un sistema de control fue MODBUS, desarrollado en 1979 por la compañía MODICON. A lo largo del tiempo, se han introducido muchos otros protocolos con diversos niveles de complejidad y capacidades, como Interbus, Profibus, Foundation Fieldbus, EtherCAT y Profinet, entre otros [1].

Por lo que respecta al análisis teórico de los sistemas de control basados en redes (NBCS), los primeros trabajos de investigación significativos fueron realizados por el Dr. Asok Ray y su equipo en la década de 1980. Estudios identificaron problemas comunes de los sistemas integrados de comunicación y control, como retrasos en la transmisión, pérdida de datos y problemas de sincronización que degradan gravemente el rendimiento de los sistemas de control. Para mitigar estos problemas, se ha desarrollado varios métodos adaptados al diseño y funcionamiento de los SCBR. Uno de las primeras propuestas las dio Rogelio Luck, proponiendo un observador/predicador que estimaba los retardos y ajustaba la señal de control para compensarlos. Recientemente, se ha desarrollado un enfoque similar, pero con indicadores de rendimiento robustos [2].

Con el avance de Internet, los dispositivos comenzaron a comunicarse de manera remota y a compartir datos, independientemente de la marca o modelo, favoreciendo la interoperabilidad y eliminando las barreras de compatibilidad. Progresos tecnológicos dieron lugar a los Sistemas de Control Basados en Internet (SCBI), los cuales utilizan Internet como medio de comunicación entre dispositivos. En la actualidad, el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) representa un paso crucial en esta evolución, esto nos permitió comunicar dispositivos industriales a través de Internet, facilitando y optimizando el intercambio de información entre máquinas y usuarios humanos, mejorando la eficiencia y la toma de decisiones [3].

1.1.3 Industria 4.0 con sistemas IIoT

Internet Industrial de las Cosas (IIoT) cada día más se posiciona como tendencia revolucionaria en la industria; especialmente en los sectores de fabricación y automatización. En la cual podemos describir una red de dispositivos interconectados que intercambian datos entre sí, permitiendo la comunicación y la toma de decisiones. Caracterizada por la integración de sistemas ciberfísicos, que incluyen máquinas, sensores, personas y la computación en la nube, permitiendo la comunicación en tiempo real. No solo optimiza la supervisión y el control, esta también posibilita el análisis de grandes volúmenes de datos para mejorar los procesos industriales. [3], [4].

En el contexto de la automatización industrial, el Internet Industrial de las Cosas (IIoT) se posiciona como un avance crucial, con impactos directos en la reducción de costos, el incremento de la productividad y la mejora de los ingresos. Esta toma como objetivo principal el monitoreo detallado del rendimiento de las máquinas y la eficiencia del personal, con el propósito de recopilar de datos clave para decisiones estratégicas informadas. Con esta información, se optimizan los equipos, se mejoran los procesos operativos y se fortalece la competitividad en un entorno dinámico. [5].

1.1.4 Comunicación del IIOT

El IIoT aspira a incorporar dispositivos inteligentes en ciertos segmentos de un proceso industrial, lo que simplifica la recolección, almacenamiento y administración de datos esenciales. Su infraestructura facilita que los datos puedan ser accesibles desde cualquier sitio, asegurando así que se puedan examinar y tomar decisiones independientemente de dónde se encuentren [5]. Este método prioriza la interconexión y la inteligencia de los sistemas

industriales, y además proporciona un esquema práctico para explorar y crear soluciones revolucionarias en el campo de la automatización.

1.1.5 Impactos de la IIOT

El Internet de las Cosas está revolucionando la economía mundial al modificar los procesos de producción y los modelos de negocio. Su implementación es una tendencia global, teniendo numerosas industrias aspirando a mantenerse competitivas; no hacerlo las situaría en una posición desfavorable. No obstante, el ritmo de adopción fluctúa entre naciones, con los países más avanzados en desarrollo encabezando este proceso.

Durante la etapa inicial del IIoT, los productores se centran en optimizar los servicios de mantenimiento y reparación, pese a que ciertas compañías innovadoras están empleando la tecnología de maneras más sofisticadas para aportar más valor a sus clientes. Empresas como CLAAS, General Electric y Michelin son algunas de estas. A pesar de estas iniciativas, numerosas organizaciones apenas están iniciando la transición hacia el IIoT, y si se resisten podrían ser sobrepasadas por la competencia[5].

De acuerdo con la Corporación Internacional de Datos (IDC), las industrias de América del Norte (0.45%) y Europa (0.40%) encabezan en términos de inversión y uso del IIoT, siendo Asia (0.34%) y América Latina (0.23%). Pese a que Latinoamérica está última en términos de inversión en esta tecnología, está presenciando un aumento en la misma. Se proyecta que para 2030, el IIoT aportará 14.2 billones de dólares a la economía global, con un efecto notable en la industria de la manufactura [5].

La influencia y el impacto del IIoT son complicados de infravalorar. Algunas investigaciones estiman que para 2020, la cantidad de aparatos conectados, tanto en el sector industrial como en otras áreas, podría ascender a 50 mil millones, produciendo un retorno de inversión (ROI) de cerca de 300 mil millones de dólares para las compañías que implementen esta tecnología [5]. No obstante, el efecto del IIoT trasciende las ventajas corporativas, impactando tanto en la vida cotidiana de las personas, optimizando el transporte, la nutrición, los servicios públicos y la asistencia sanitaria, como en cambios a nivel mundial.

Por ejemplo, se anticipa que esta tecnología ayude a disminuir el uso de energía y recursos naturales a escala mundial. Organizaciones como el Foro Económico Mundial anticipan que el Internet de las Cosas modificará de manera significativa el funcionamiento de sectores fundamentales como la manufactura, la energía, la agricultura y el transporte,

impactando a más del 60% de la economía mundial. Adicionalmente, escritores como Wollschlaeger relacionan este fenómeno con el comienzo de la cuarta revolución industrial, también denominada Industria 4.0.[5].

1.2 Descripción del proyecto.

El objetivo de este proyecto es establecer un sistema IIoT capaz de supervisar y gestionar remotamente las variables de un motor trifásico. Alcanzar este objetivo con implementación de diversos componentes de automatización industrial que cumplan con los protocolos de comunicación necesarios para ser incluidos en la pasarela. Las medidas a tomar para llevar a cabo este proceso son las siguientes:

1.2.2 Estudio de la pasarela inteligente.

Como primer paso de este estudio debemos analizar la pasarela inteligente con el fin de establecer la comunicación entre los diferentes dispositivos y simplificar la incorporación de la información en la nube. Por consiguiente, es necesario determinar las propiedades técnicas que brinda la pasarela, lo que facilitará una comprensión más precisa de cómo se incorporarán los distintos elementos al sistema. A partir de estos datos que se recopilaron en el transcurso de la investigación, se podrán reconocer tanto las restricciones como los beneficios de emplear esta pasarela en un ambiente industrial.

1.2.3 Selección de dispositivos.

Para garantizar una implementación eficaz del sistema IIoT en procesos industriales, se deben elegir una variedad de elementos de automatización industrial, tales como el PLC, HMI, modulador de frecuencia y regulador de parámetros. Aparatos que faciliten una correcta integración con la pasarela inteligente, pero también elevarán la complejidad de las tareas de configuración y comunicación en el sistema.

1.2.4 Implementación del Sistema IIot.

Por lo tanto, para poder implementar el sistema se requerirá la conexión física de cada elemento, siguiendo esquemas previamente definidos que fueron diseñados para las conexiones eléctricas como para las de red. Método que es necesario seguir para disminuir los errores en la transmisión de datos. Por consiguiente, es importante considerar las medidas de protección adecuadas en el sistema eléctrico, además de asegurar que el cableado de red cumpla con los protocolos específicos, garantizando una comunicación eficiente y segura entre los dispositivos.

1.2.5 Implementación de la red

La implementación de la red será esencial para garantizar una comunicación efectiva y continua entre los componentes del sistema. Se llevarán a cabo conexiones físicas siguiendo esquemas planificados tanto para la infraestructura eléctrica como para la red de información. Este proceso es esencial para reducir posibles fallos en la transferencia de datos. Además, se centrará en las salvaguardas eléctricas, garantizando que los cables y los dispositivos de red cumplan con los protocolos de comunicación necesarios para asegurar un intercambio de datos seguro y seguro.

1.2.6 Configuración de red.

El establecimiento de la red es un paso significativo que nos garantiza la comunicación adecuada en el sistema IIoT. Cada aparato conectado al Gateway necesita ser asignado a la pasarela de red, otorgándole una dirección IP específica; definiendo la velocidad de audios apropiada y modificando otros parámetros cruciales, como la máscara de subred y la puerta de enlace predefinida, que simplifican su integración en la red. Por otra parte, se establece el DNS para la conversión de nombres de dominio, se determinará el protocolo de comunicación a emplear, como TCP/IP o MQTT, y se determinará la tasa de actualización para el envío y recepción de datos. Adicionalmente, se habilitarán los puertos de comunicación requeridos y se pondrán en práctica medidas de seguridad, como la autenticación y el cifrado, para resguardar la red de intrusiones no permitidas. Como última parte en esta sección, se tomará en cuenta la calidad del servicio (QoS) para dar prioridad al tráfico crítico, asegurando que todos los elementos se comuniquen de forma eficaz y sin disputas en el sistema.

1.2.6.1 Configuración de dispositivos seriales: Elementos donde se utiliza el protocolo RS485 pueden incorporarse en la estructura de red Modbus RTU, llevar a cabo esto, nos facilita el acceso a los dispositivos a través de una identificación única (ID). Esta arquitectura promueve una comunicación eficaz entre varios dispositivos en una red, mejorando la transferencia de datos en contextos industriales.

1.2.6.2 Configuración de dispositivos ethernet: Esta fase conlleva el acceso a la configuración interna de los componentes que hacen uso de la comunicación Ethernet. en la cual debemos tener una dirección IP correcta para cada aparato, con esto nos facilitará su vinculación y administración desde el nodo central (Gateway). Realizar este procedimiento garantizamos una comunicación suave y

eficaz en la red IIoT.

1.2.7 Programación de controlador y dispositivos

En esta etapa, se realiza la programación de los dispositivos y controladores empleando el lenguaje particular de cada software. Procedimiento útil para establecer el control y seguimiento local, facilitando el acceso a la información de la pasarela de forma eficaz y eficiente.

1.2.8 Pruebas del sistema para monitoreo y control

Para concluir el proyecto, se realizarán evaluaciones en cada componente del sistema para garantizar una representación correcta de los datos en el módulo de seguimiento.

Esta prueba final se hace con la intención de verificar la operación del control, en la cual se necesitarán evaluaciones manuales e independientes para verificar su eficacia y asegurar que el sistema se encuentre adecuadamente a las instrucciones y condiciones establecidas.

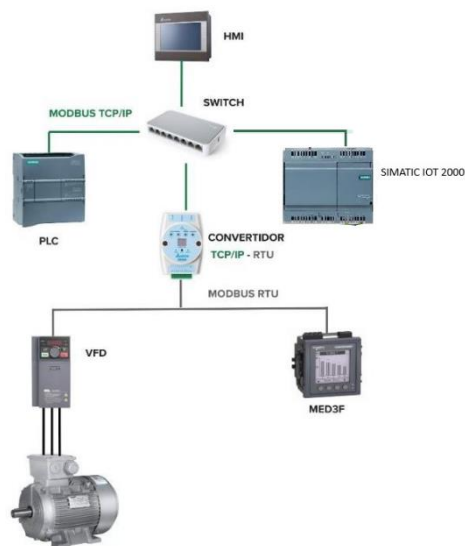


Figura 1 Diseño preliminar de la arquitectura de la red IIoT.

Fuente: Autoría propia.

1.3 Objetivos.

1.3.2 Objetivo general

Implementar un sistema de control y monitoreo basado en la Internet de las Cosas Industrial (IIoT) para la adquisición y análisis de parámetros eléctricos en un motor trifásico, con el fin de mejorar el rendimiento operativo y prolongar la vida útil del equipo.

1.3.3 Objetivos específicos

- Investigar las características técnicas del módulo Siemens IoT2000, realizando un estudio de sus especificaciones y funcionalidades relevantes, con el propósito de determinar su aplicabilidad y optimización en automatización industrial.
- Implementar un sistema de comunicación basado en una arquitectura de red que utilice el módulo IoT2000 para la adquisición eficiente de variables eléctricas de un motor trifásico.
- Implementar y configurar un sistema IIoT, haciendo uso de las herramientas de hardware y software requeridos, con el fin de validar su rendimiento, estabilidad y capacidad de integración en entornos industriales.
- Realizar pruebas de fiabilidad, latencia y velocidad en el sistema de comunicación IIoT mediante métodos de medición y análisis específicos, con el fin de evaluar su desempeño y adecuación en entornos industriales.

1.4 Justificación.

En la situación actual, marcada por la creciente complejidad de los sistemas industriales, la supervisión y gestión de procesos se ha establecido como un elemento esencial para asegurar tanto la eficacia operacional como la calidad en la producción [6]. Método que satisface la demanda de administrar de forma precisa y exhaustiva las diversas variables implicadas en estos procesos; ajustándose a las demandas de un ambiente tecnológico que varía constantemente.

La disposición de estos componentes en una red no solo incrementa la supervisión; también crea una infraestructura sólida para la recopilación y estudio de datos. Este último elemento, esencial en el marco de la Industria 4.0, permite el registro constante de datos precisos acerca del rendimiento de cada elemento. Esta información puede ser tratada para llevar a cabo diagnósticos exactos, detectar patrones de operación y elaborar estrategias de mejora constante, incrementando la eficacia global del sistema.

El uso del Internet Industrial de las Cosas (IIoT) en una red productiva que emplea protocolos de comunicación como Modbus RTU y TCP/IP proporciona un aumento notable en la conectividad y eficiencia de los sistemas de automatización. Aplicar estos protocolos incrementa la interoperabilidad entre los distintos niveles de la pirámide de automatización, fomentando una integración más fluida y eficiente de los diferentes componentes del sistema.

Esta integración no solo potencia la unidad entre los distintos grados de control y supervisión, sino que también potencia el contenido educativo al vincularlo de manera más cercana con las prácticas industriales contemporáneas. Es necesario presentar un módulo que tenga un enfoque más industrial, para conseguir experiencia más tangible y significativa, capacitando a los alumnos y expertos para afrontar retos en contextos industriales contemporáneos. En otras palabras, la inclusión de IIoT y los protocolos mencionados potencia notablemente la funcionalidad y utilidad del módulo educativo, ajustándolo a las normas y requerimientos del sector industrial.

En la actualidad, el panorama industrial a nivel global está experimentando una rápida transformación impulsada por tecnologías emergentes, entre las cuales el Internet Industrial de las Cosas ocupa un lugar destacado. De acuerdo con estudios recientes, el

87% de la industria manufacturera ya han adoptado soluciones basadas en IIoT, mientras que una porción significativa se encuentra en proceso de evaluación de los impactos que tendría esta tecnología en sus operaciones. Este escenario evidencia que, si bien la implementación de este recurso está en aumento, una sorprendente cantidad de empresas aún desconoce su potencial y beneficios [6].

El Internet de las Cosas no solo posibilita incrementar la eficiencia en las operaciones, sino que también genera nuevas posibilidades para productores, generadores de energía y proveedores de servicios, al poner en marcha productos y servicios digitales revolucionarios. Estas soluciones producen nuevas vías de ingresos que pueden impulsar tanto el desarrollo de la empresa como las ganancias. Compañías, que requieren implementar el IIoT no solo tienen que representar una ventaja competitiva, sino también una exigencia estratégica [6]. Las empresas que no implementen estas tecnologías corren el peligro de quedarse atrás ante nuevos competidores y empresas emergentes que, mediante soluciones revolucionarias, podrían captar a sus clientes y modificar la dinámica del mercado.

La reestructuración de los modelos empresariales es de suma importancia para aprovechar el potencial del IIoT. Los directivos y dirigentes pertenecientes a la industria además de que necesitan reconsiderar sus operaciones, también deben incorporar inteligencia en sus productos, servicios y procedimientos; este procedimiento es necesario llevarlo a cabo en un ambiente cada vez más competitivo y digital. Necesariamente se debe hacer una investigación y desarrollo de un sistema IIoT que posibilite el seguimiento y control remoto de variables industriales, tal como se propone en este proyecto [7]. Esto no solo nos facilita a las industrias la mejora de sus procesos; sino también la exploración de nuevas tácticas de expansión y la conservación de su competitividad en un mercado que cambia continuamente.

Implementación de un sistema de IIoT, como el que se plantea en este estudio; aportará en cuanto a términos de innovación tecnológica y de sostenibilidad industrial, por lo tanto, nos da soluciones que no solo mejoran la productividad, sino que también maximizan la rentabilidad y aseguran la continuidad operativa en un entorno industrial que avanza hacia la digitalización total.

1.5 Alcance del proyecto.

El propósito de este proyecto es establecer un sistema IIoT que unifique y mejore una red de comunicación industrial actual; facilitando el acceso a distancia para la supervisión y gestión de variables principales de un motor trifásico. Sistema que nos posibilitará la gestión y monitorización de parámetros vitales en tiempo real; permitiendo incrementar la eficacia en las operaciones y la habilidad para reaccionar ante circunstancias de mantenimiento o modificación de procesos.

Crear un sistema IIoT físico, diseñado con medidas de protección frente a peligros eléctricos y sistemas de seguridad que eviten la pérdida de información en la red; sistema que asegurará la integridad y confiabilidad de la infraestructura, por lo tanto nos ofrece una solución sólida en cuanto a seguridad eléctrica y resistencia ante eventuales errores en la comunicación.

Recoger y exponer en un formato apropiado el estudio sobre el elemento principal del sistema IIoT, centrado en las propiedades y configuraciones de la pasarela inteligente. Siguiendo el presente este estudio, se explorarán en profundidad los elementos técnicos esenciales para mejorar su operación en la red industrial. Estableciendo que la pasarela inteligente pueda simplificar la comunicación entre los diferentes elementos de la red industrial, garantizando la compatibilidad y el desempeño con los distintos protocolos de comunicación utilizados por cada aparato.

Realizar una serie de pruebas individuales para verificar la funcionalidad de cada componente del sistema IIoT, lo que permitirá validar su desempeño y obtener una visión clara sobre su integración en la red; estas pruebas garantizarán que cada elemento opere de manera óptima antes de su implementación conjunta y aseguran la compatibilidad y el correcto funcionamiento del sistema en su totalidad.

Desarrollar una interfaz visual en la plataforma, en la cual el operado pueda hacer el seguimiento y manejo en tiempo real de las variables del motor trifásico; al realizar nos da una representación clara y comprensible de los parámetros esenciales; simplificando la interacción y modificación de estos de forma remota.

1.6 Metodología de la investigación.

1.6.2 Investigación aplicada

El estudio que se lleva a cabo se centra en resolver problemas particulares de la industria a través de la aplicación de tecnologías aplicables. En esta situación, el desafío a solucionar radica en la necesidad de supervisar y manejar a distancia los parámetros eléctricos de un motor trifásico mediante un sistema IIoT. Esta metodología que comienza con el reconocimiento de las necesidades del sistema y un estudio minucioso de las tecnologías y protocolos de comunicación más apropiados, tales como MODBUS, MQTT o OPC-UA, que resultan cruciales para asegurar una transmisión eficaz de los datos; una vez establecido el sistema, se realizan ensayos en ambientes industriales o simulaciones sofisticadas para corroborar la efectividad del monitoreo y control a distancia. Hallazgos del estudio aplicado ofrece soluciones factibles para incrementar la eficiencia y la automatización en la supervisión de maquinaria industrial.

1.6.3 Investigación de prototipado y validación.

El enfoque de investigación de prototipado y validación conlleva la creación y puesta en marcha de un prototipo operativo del sistema de control y seguimiento IIoT. Esta técnica es iterativa, lo cual implica que se llevan a cabo varios ciclos de pruebas y mejoras hasta que el prototipo logre el nivel de funcionalidad esperado; como parte inicial, se elabora y edifica el prototipo, vinculando los sensores con el motor trifásico para obtener los parámetros eléctricos. Por consiguiente, se llevan a cabo evaluaciones para medir el desempeño del sistema y se hacen modificaciones basándose en los datos recabados; proceso el cual se repite hasta que el prototipo cumple con los objetivos establecidos, finalizando con una validación completa del sistema, comparando los resultados de las pruebas con los requerimientos iniciales, lo que garantiza que el sistema esté listo para su implementación en un entorno real.

1.6.4 Investigación experimental

El estudio experimental resulta apropiado para la puesta en marcha de un sistema de control y seguimiento IIoT que obtiene parámetros eléctricos de un motor trifásico, dado que facilita la valoración del desempeño del sistema en un ambiente regulado. En este enfoque, se desarrolla un sistema piloto que comprende la elección de los elementos

requeridos como sensores, controladores y la pasarela IIoT. Al montar el sistema, se realizan pruebas en diferentes condiciones de funcionamiento del motor, recolectando información acerca de voltaje, corriente, potencia, entre otros aspectos. Datos son analizados para determinar la eficiencia y precisión del sistema. metodología permite validar el funcionamiento del sistema a través de la experimentación directa, ajustes según los resultados obtenidos y comparando los datos en tiempo real con los resultados teóricos.

1.6.5 Investigación bibliográfica y de estado del arte

El estudio de la bibliografía y el examen del estado del arte son esenciales para respaldar la tesis desde un sólido fundamento teórico. Esta metodología que conlleva la revisión de estudios anteriores y documentos técnicos vinculados con la aplicación de sistemas IIoT en motores trifásicos. los procedimiento que inicia con la detección de investigaciones pertinentes que describan sistemas parecidos, tecnologías en desarrollo y los retos más significativos a los que se enfrentan; es igualmente vital revisar las normas y estándares industriales vinculados a la automatización y los protocolos de comunicación, como IEC 61850 o IEEE 1588, para garantizar que el sistema se adhiera a las normativas actuales, examinando de manera crítica las soluciones actuales y las tendencias tecnológicas, se detectan aspectos a mejorar que pueden ser tratados en el desarrollo del sistema planteado en la tesis..

CAPÍTULO II

2 PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1 Marco contextual.

La entidad dispone de varios departamentos y construcciones diseñados con el propósito de impulsar el aprendizaje a través de la práctica, en donde cada uno de estos lugares cuenta con instrumentos y tecnologías particulares se pueden ajustar a las diferentes disciplinas y programas educativos que se proporcionan; estos laboratorios y zonas de práctica se han diseñado para las demandas de una o varias materias, dando de esta manera un ambiente de aprendizaje sumamente especializado y ajustado a las demandas de cada formación académica. Los establecimientos están equipados con dispositivos y herramientas que reflejan los estándares actuales de la industria; por lo que resulta fundamental para la preparación de los estudiantes, este equipamiento permiten a los estudiantes adquirir experiencia práctica y estar mejor preparados para enfrentar situaciones reales en su futura vida profesional. Con la integración de estos recursos con la formación teórica enriquece el proceso educativo, al combinar el conocimiento académico con la práctica experimental, ofreciendo así una educación más completa y alineada con las exigencias del mercado laboral.

El desarrollo de herramientas innovadoras que cumplan con los estándares actuales de la industria ha incrementado la relevancia de los sistemas IIoT en proyectos de investigación. No obstante; para la implementación de estos sistemas en procesos industriales se exige tomar en cuenta múltiples consideraciones técnicas y operativas, garantizando así su integración eficiente y segura.

La implementación de este sistema en laboratorios especializados en el tema proporciona una valiosa perspectiva práctica sobre el control y monitoreo mediante plataformas IIoT. Integración que no solo amplía el conocimiento de los estudiantes, este también ofrece a los docentes una herramienta efectiva para la enseñanza y la investigación.

Desde tiempos históricos, la Tecnología Operativa (TO) abarca más espacio en la administración operativa de dispositivos físicos, con relevancia en el ámbito industrial. No obstante; hoy en día, las distinciones entre los sistemas de Internet de las Cosas (IoT), el Internet de las Cosas Industrial (IIoT) y la Tecnología Operativa (OT) están siendo cada vez más imprecisas. Las aplicaciones de OT contemporáneas emplean las redes IIoT

para monitorear y administrar dispositivos físicos y aplicaciones de sistema operativo. Un caso ilustrativo es la combinación de datos en sistemas OT de múltiples fuentes, que engloba sensores físicos, bases de datos y puertas de enlace a distancia[8]. El estudio de estos datos, que antes era un procedimiento manual, ahora se automatiza a través del software IIoT, lo que simplifica la recolección y el estudio de los datos.

Compañías de servicios públicos y sistemas críticos están recurriendo a un sistema IIoT para prevenir cortes de energía y detectar los picos de demanda que se dan en redes de electricidad y centrales nucleares. Tecnología no solo incrementa la confiabilidad en el reparto de recursos, sino que también posibilita que el software analítico de IIoT encuentre errores, notifique a las compañías acerca de interrupciones y proponga las reparaciones requeridas.

En el sector de la administración de flotas, se emplean las aplicaciones de IIoT para seguir el rastro de vehículos, recursos, conductores y la eficiencia global de los procesos de trabajo. Habilidad de monitoreo incrementa la eficacia en las operaciones y facilita la ayuda a distancia para los empleados en terreno[8].

En el ámbito agrícola, el IIoT no realiza la adquisición de datos analíticos y predictivos, por lo que permite a los agricultores tomar decisiones fundamentadas en cada instante idóneo de la cosecha. Los sensores equipados con tecnología IIoT tienen la facilidad de recolectar información sobre la condición del terreno y las condiciones meteorológicas, con el fin de sugerir programas de fertilización e irrigación [8]. Además, los dispositivos integrados supervisan la salud y ubicación del ganado.

En la industria manufacturera, el IIoT se utiliza para la gestión de activos y la cadena de suministro, por consiguiente, se puede hacer una administración centralizada de los activos y la comunicación en tiempo real entre proveedores, fabricantes, centros de almacenamiento, empresas de logística y clientes [8]. Las aplicaciones de IIoT permiten un seguimiento eficaz de los programas de mantenimiento a lo largo de la cadena de suministro y fomentan la comunicación remota. Al reducir el error humano en la gestión del inventario, el IIoT exige menos mano de obra y disminuye los costos asociados a bienes y servicios.

2.2 Marco conceptual.

2.2.1 Redes de comunicación Industrial

En el ámbito de las redes industriales, mientras que las redes de factoría y planta han logrado una estandarización homogénea basada en Ethernet, a nivel de comunicación en la célula de producción y el campo, aún no existe una norma que haya alcanzado una difusión y homogeneidad significativas en los entornos industriales. Generando dificultades técnicas para integrar equipos de diferentes fabricantes.

Existen varias normas compitiendo por imponerse, siendo Profibus y Fieldbus Foundation las más destacadas. Sin embargo, estos cuentan con una amplia aceptación otros estándares como ASi, LonWorks, Interbus, DeviceNet, MODBUS, HART, ControlNet, WORLDFIP, FIP, entre otros [9].

PROFIBUS-DP (Periféricos Distribuidos) se ha creado con la finalidad de promover una comunicación eficiente y accesible entre los sistemas automatizados de control y los dispositivos de entrada/salida; distribuidos en el nivel de campo, también conocido como periferia descentralizada. Proceso que nos simplifica la sustitución de las transmisiones paralelas de señales tradicionales, como las de 24V o 4-20 mA, por una red digital más eficiente. Esta transferencia de información se efectúa de manera cíclica (consulte la figura 2) y el ciclo del bus debe ser menor al ciclo de ejecución del controlador principal, asegurando de esta manera un funcionamiento sincronizado y optimizado del sistema.

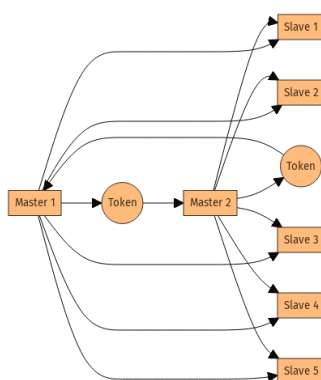


Figura 2 Red de comunicación Profibus DP. Fuente: Autoría propia.

PROFIBUS-PA (Automatización de Procesos) se ha creado específicamente para usos de automatización de procesos, facilitando la vinculación de sensores y actuadores a un bus común en áreas consideradas de alta seguridad, conocidas como áreas Ex. Protocolo que posibilita una transmisión de datos y la alimentación eléctrica a través del mismo bus, empleando una tecnología de dos hilos conforme a la norma internacional IEC 1158-2 [9].

En esencia, se trata de una extensión de PROFIBUS-DP (véase la figura 3), totalmente compatible en términos de comunicación, pero optimizada para aplicaciones en entornos donde existe riesgo de explosiones. Por otra parte, PROFIBUS-PA cuenta con diversos perfiles especializados para aplicaciones concretas, como la automatización de edificios, sistemas seguros ante fallos (PROFISafe), control numérico, robótica, encoders, variadores de velocidad de motores e interfaces hombre-máquina (HMI) [9].

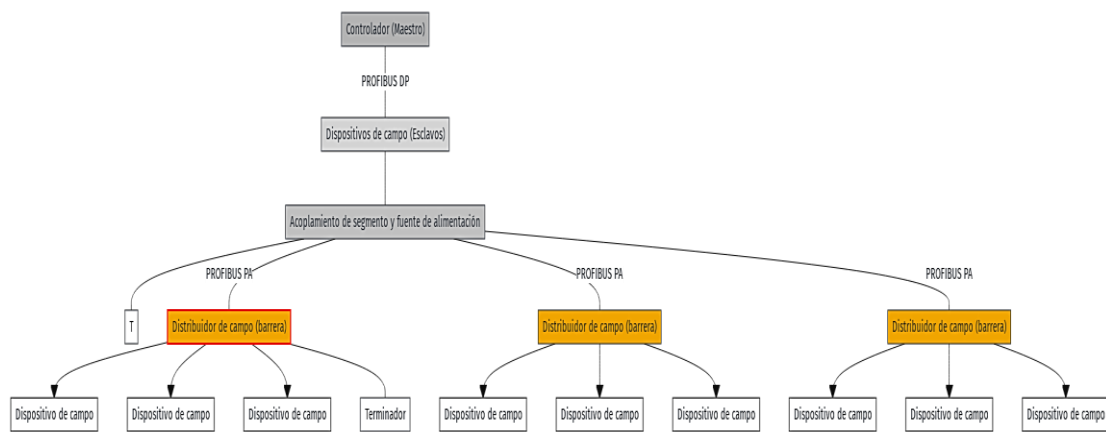


Figura 3. Red de comunicación Profibus PA. Fuente: Autoría Propia.

HART (Transductor remoto direccionable en autopista) facilita una comunicación digital en ambas direcciones con dispositivos inteligentes de campo; manteniendo compatibilidad con los sistemas convencionales que funcionan con señales de 4-20 mA. Se usa el estándar Bell 202, al hacer el acoplamiento de una señal digital de baja amplitud (en la que un "1" lógico se representa por una frecuencia de 1.200 Hz y un "0" lógico por 2.200 Hz) con la señal analógica de 4-20 mA [9]. Creado para potenciar las habilidades de comunicación de los instrumentos de medición y control que tradicionalmente utilizaban señales de 4-20 mA, es útil en varias industrias de proceso. Al ponerse encima de los sistemas ya existentes, HART proporciona una solución segura que posibilita aprovechar los beneficios de una comunicación más sofisticada con los dispositivos inteligentes sin la necesidad de alterar la infraestructura fundamental (véase la figura 4).

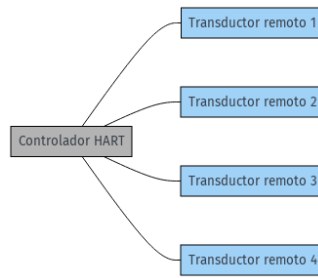


Figura 4. Red de comunicación HART Fuente: Autoría Propia.

2.2.2 Flujo de Datos en la IIoT

El flujo de datos en un sistema industrial habilitado para IIoT abarca diferentes niveles de comunicación entre dispositivos de campo (sensores, actuadores), controladores (PLC, DCS), Gateway y plataformas en la nube.

Dispositivos de Campo (Sensores y Actuadores): El dispositivo SITRANS (P, T3K, F, LR), SIPART PS2 y SIMOCODE son visibles en la figura 5. Aparatos que recolectan datos de variables de proceso (presión, nivel, temperatura, flujo), permiten que se pueda transmitir esos datos obtenidos a los controladores o a un sistema de control. En un contexto IIoT, estos datos también tienen la posibilidad de ser enviados a un enlace para su análisis en el cloud.

Gateway y Controladores: Los controladores como el S7-400, tiene que asumir la responsabilidad de recolectar los datos de los sensores y gestionar los actuadores; los gateways IIoT, que pueden conectarse a las redes PROFIBUS o HART, para poder simplificar la integración de datos en sistemas de nube para su análisis avanzado o la optimización del proceso.

Pasarelas IIoT (Edge Computing): Las pasarelas IIoT posibilitan establecer un vínculo entre el entorno industrial y las plataformas de nube. En esta metodología, los indicadores recogidos de los dispositivos de campo son transmitidos a los controladores mediante el bus de campo PROFIBUS o el protocolo HART. Por lo tanto, los datos pueden ser enviados a un gateway IIoT que los transporta a la nube para su procesamiento o visualización en sistemas de ejecución de manufactura SCADA o MES (Manufacturing Execution Systems).

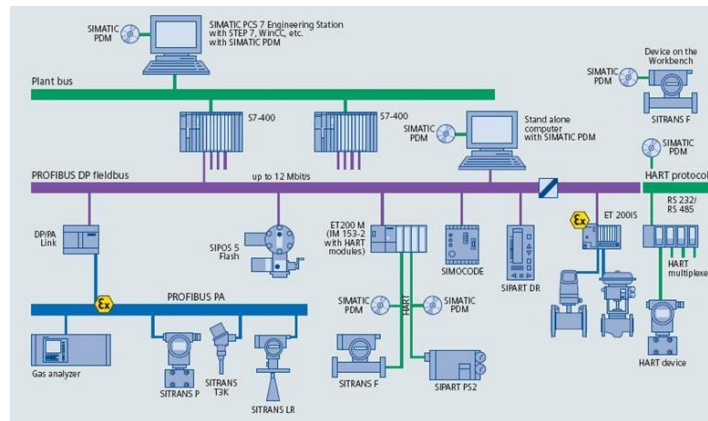


Figura 5. Red de comunicación industrial. Fuente:[10].

2.2.3 Protocolo de Comunicación y Análisis en la Nube

El Internet de las Cosas (IIoT) aporta un nivel extra de conectividad y comprensión de información al ecosistema de la automatización industrial, posibilitando que los equipos en terreno se conecten no necesariamente con los sistemas de control convencionales, no obstante, también con plataformas de análisis en la nube. Transmisión con la que obtenemos información cuando se inicia sensores y actuadores, conectados mediante conexiones de interconexión industriales como PROFIBUS DP/PA o el protocolo HART, envían sus lecturas y estados a controladores como los S7-400, o a módulos de interfaz como el ET 200M.

Conforme los controladores recolectan los datos de proceso, una pasarela IIoT (como un enlace) tiene la tarea de convertir estos datos a formatos apropiados para su envío a la nube. Para conseguir esta comunicación, se utilizan protocolos creados para ambientes de IIoT, tales como:

- **Redes Móviles (GSM 3G/4G/5G).** Esta tecnología ofrece conexión inalámbrica a través de ondas de radiofrecuencia, lo que incrementa la independencia de los dispositivos al posibilitar varias conexiones autónomas a Internet. Según la infraestructura existente, su longitud puede oscilar entre 30 y 200 kilómetros, aunque esta capacidad de conexión también implica un alto costo.
- **Redes Wi-Fi.** En la actualidad, dicha técnica se ha convertido en una de las más habituales, reemplazando a las redes de cable tradicionales. Facilitando una conexión de múltiples dispositivos a una misma red, con un alcance que varía entre 45 y 90 metros. Por su gran popularidad y su costo más bajo en comparación

con las redes GSM, es habitual hallarla en conjunto con otros métodos de comunicaciones, debido a su versatilidad y compatibilidad.

- **Zigbee.** Esta tecnología comprende un conjunto de protocolos de alto nivel para la comunicación inalámbrica, destacándose por su bajo consumo energético, adaptabilidad y características de seguridad. Uno de los protocolos utilizados en la industria del IIoT. A pesar de que su rango de práctica es más restringido, entre 10 y 100 metros, este elemento puede resultar beneficioso en situaciones donde no se necesita una amplia cobertura, con el hecho de que disminuye la superficie de impacto.
- **Bluetooth.** Este procedimiento permite la comunicación mediante radiofrecuencia y se categoriza en tres tipos, con distancias que oscilan entre 1 metro y 1 km, en función de la clase empleada. Los aparatos de clase 1 tienen una capacidad de hasta 1 km, en cambio, los de clase 3 poseen una capacidad de hasta 1 metro. Su aplicación amplia en contextos no industriales ha generado una gran diversidad de aparatos que lo incorporan, lo que lo hace más conocido y, por consiguiente, más propenso a ataques en comparación con soluciones más especializadas como Zigbee.
- **LoRaWAN.** Esta tecnología se caracteriza por su habilidad para manejar millones de aparatos vinculados con un consumo energético reducido. Además, incorpora una aplicación que facilita la administración de diversos dispositivos, y su alcance se encuentra situado entre 2 y 15 km.
- **MQTT** (Message Queuing Telemetry Transport) o **OPC UA** (Open Platform Communications Unified Architecture), son altamente eficaces para enviar grandes cantidades de datos de forma segura y con poca latencia. Estos procedimientos son fundamentales, puesto que facilitan una integración suave con servicios de la nube que llevan a cabo análisis sofisticados[11].

Tras llegar a la nube, los datos se encuentran en un ciclo de procesamiento que puede abarcar almacenamiento, visualización y análisis en tiempo real. Al usar este contexto, tecnologías de vanguardia como la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático (ML) y el estudio de big data, desempeñan un rol crucial al reconocer patrones, realizar proyecciones o identificar irregularidades. Este estudio nos da a los operadores de planta

la posibilidad de supervisar y controlar el desempeño del sistema con mayor exactitud, sino que también posibilita el mantenimiento predictivo. Mediante la nube, los datos procesada se transforma en información manipulable que puede emplearse para prever errores en los equipos o para mejorar la eficacia del proceso.

Los hallazgos del análisis en la nube no se restringen a la mera representación visual de los datos. En contextos más sofisticados; el ciclo de retroalimentación concluye el circuito de control, por lo que nos facilita que las plataformas de análisis en la nube transmitan sugerencias o órdenes de mejora a los sistemas de control industrial. Esto implica que las decisiones operativas, tales como la modificación de parámetros de control o la configuración de mantenimientos, pueden realizarse de manera automática basándose en el análisis de los datos en la nube; toda esa acción en tiempo real. Este modo sirve para que el proceso de producción se vuelva más rápido y eficaz con una interacción humana reducida y ofrece mayor capacidad para ajustarse a las exigencias del mercado o a las fluctuantes condiciones de funcionamiento.

2.2.4 Clasificación de Arquitecturas IIoT en Sistemas de Control

Según los principios definidos por la pirámide de automatización (Véase la figura 6), los dispositivos IIoT se integran estrechamente con los equipos de campo o de proceso; estos dispositivos están diseñados para funcionar en conjunto con los sensores y actuadores; que operan en el entorno industrial, permitiendo una comunicación efectiva y en tiempo real. En cuanto a las diversas arquitecturas de IIoT disponibles, se pueden agrupar en dos categorías principales:

- **Sistemas de Control Basados en Red (SCBR):** Tales sistemas se integran en redes locales, como las redes industriales locales (LAN) o los buses de campo; con el propósito de facilitarnos la comunicación entre los equipos. Estos datos que se transmiten a través de los aparatos de campo y los sistemas de control mediante conexiones específicas, nos garantizan un elevado nivel de fiabilidad y poca latencia
- **Sistemas de Control Basados en Internet (SCBI):** En esta configuración, los dispositivos IIoT se conectan a través de la infraestructura de internet, haciendo el uso de tecnologías como la nube y protocolos de comunicación basados en la red. Por lo tanto; este desempeña el papel de facilitar una conexión remota y la

integración con servicios y plataformas de análisis de datos, lo que simplifica la toma de decisiones y el mantenimiento predictivo desde cualquier sitio [12].



Figura 6 Pirámide de automatización. Fuente: [11].

2.2.4.1 Sistemas de Control Basados en Red

En los Sistemas de Control Basados en Redes (SCBR), la mayor parte de las labores del procedimiento se suele realizar por elementos administrados internamente por la compañía, él es el encargado de garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los sistemas de comunicación. Las arquitecturas de SCBR (consulte la figura 7) generalmente incluyen codificadores y decodificadores que simplifican la administración de la comunicación entre el proceso y los sistemas de regulación [13]. Normalmente, estas comunicaciones se dirigen a través de un enlace centralizado. Pese a que estos sistemas se asemejan más a las redes de Tecnología Operativa (TO) convencionales, que se distinguen por un ambiente más aislado y seguro, también presentan restricciones respecto a la habilidad para procesar y analizar la información.

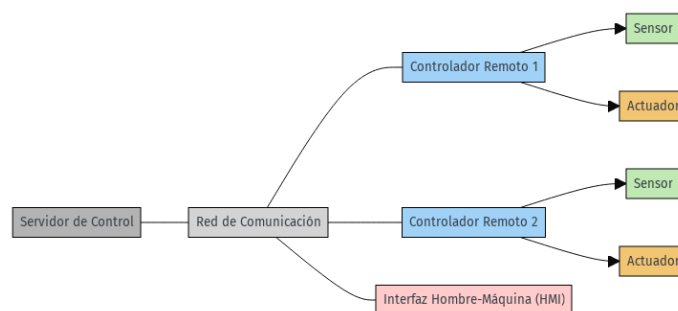


Figura 7. Arquitectura SCBR. Fuente: Autoría Propia.

2.2.4.2 Sistemas de Control Basados en Internet

Los Sistemas de Control Basados en Internet (SCBI) ejercen uso de las capacidades de conexión que brinda Internet para incorporar la puesta en marcha a distancia y la comunicación en los sistemas actuales de control industrial. La disposición de estos sistemas se determina generalmente por la localización del controlador y la manera en que se utiliza Internet, motivos que a su vez influyen en diversos aspectos incluyendo la organización de los servidores, la participación de elementos externos, el número de controladores y la magnitud del proceso[13].

Generalmente, estas clases de arquitecturas se organizan dentro de un esquema de seis niveles, que incluye: el operador, la interfaz web de usuario, la red, el equipo local, los sensores/actuadores y el proceso (Véase la figura 8); por lo tanto cada capa es importante en el funcionamiento del sistema, simplificando la supervisión y el control remoto.

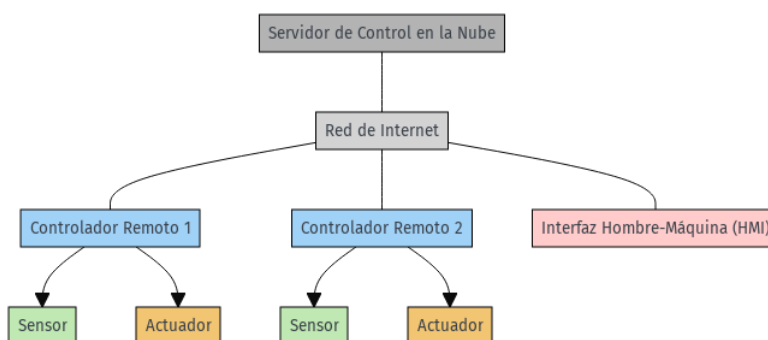


Figura 8. Arquitectura SCBI. Fuente: Autoría propia.

2.2.5 Controladores en redes industriales

Las redes de controladores dentro de la industria se han desarrollado con el fin de mejorar la comunicación vinculada a diferentes dispositivos electrónicos de control, tales como autómatas programables, robots, controladores numéricos, terminales de operador y ordenadores industriales. Consideran algunos ejemplos de estas redes:

- **MAP:** A consideración de que en la actualidad no se usa, la capa de implementación de múltiples redes se fundamenta en ella.

- **PROFIBUS-FMS:** Esta red, que forma parte de la familia PROFIBUS y fue diseñada específicamente para redes de control, la cual lleva integrado varios conceptos funcionales de las especificaciones de MAP.
- **ControlNet:** Esta red, creada por Rockwell Automation en 1995, se centra en la transferencia de datos entre sistemas de control de procesos [14].

2.2.5.1 Tipos de controladores en redes industriales

Controlador Local: En la presente configuración (consulte la figura 6), se implementa un único controlador situado a nivel local, garantizando así que la estabilidad y protección del sistema no se vean comprometidas por los eventuales retrasos en la conexión a Internet [13]. La conexión a la red solo se emplea para visualizar los datos de producción, sin actuar directamente en la gestión de los procesos. Este método es actualmente el más habitual en contextos industriales por su confiabilidad y sencillez

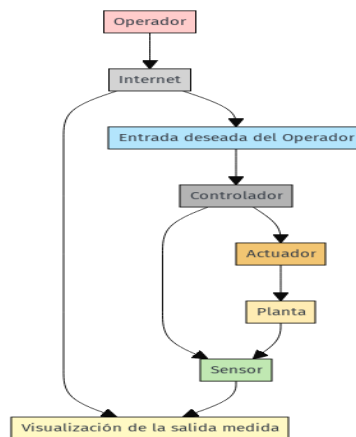


Figura 9. Arquitectura de control Local. Fuente: Autoría Propia.

Controlador Remoto: Esta estructura (Véase la figura 10) conlleva la recopilación de información del campo y su difusión por medio de Internet, lo que genera latencia en el enlace que puede impactar la estabilidad del sistema. No obstante, este método resulta más asequible, dado que el controlador no está ubicado en un lugar local, lo que posibilita a las compañías externalizar gastos a través de la utilización de servicios de infraestructura como servicio (IaaS) o parecidos [13]. Es crucial destacar que la puesta en marcha de estas arquitecturas implica el establecimiento de conexiones a distancia para el intercambio de datos delicados del proceso industrial y, en ciertas situaciones, la externalización de elementos esenciales del mismo.

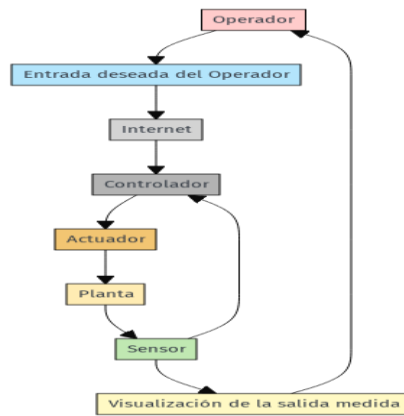


Figura 10. Arquitectura de control Remoto. Fuente: Autoría propia.

Controladores Bilaterales: Este tipo de estructura emplea dos controladores, uno a nivel local que disminuye la latencia y el segundo a nivel remoto que mejora la consistencia del enlace. Este tipo de configuración (véase la figura 11) asegura que las demoras vinculadas al uso de Internet no perjudiquen el desempeño de la producción. A tener en cuenta de ser una opción más costosa, su mayor beneficio radica en la capacidad de instaurar redundancia en los controladores, incrementando notablemente la disponibilidad y la continuidad de las operaciones del sistema.

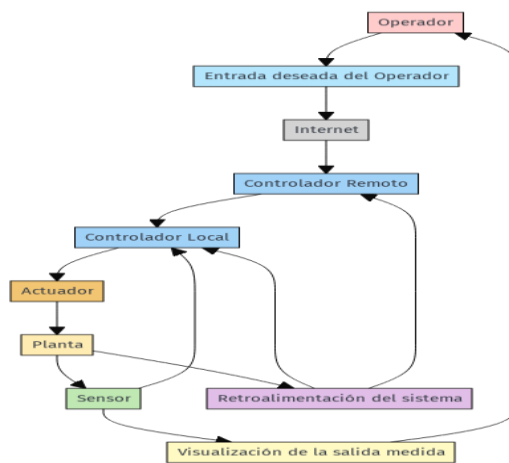


Figura 11. Arquitectura de control bilateral. Fuente: Autoría Propia.

2.2.6 Conexiones externas

Para asegurar una conexión física que permita asegurar una comunicación fiable y sin fallos entre los dispositivos, se debe considerar el tipo de protocolo Modbus que se emplee. Para ello, se consideraron los protocolos a emplear como Modbus RTU y Modbus TCP/IP [15].

- **Cable Ethernet:** El cable Ethernet es el cable más común para Modbus TCP/IP. Es un cable de par trenzado con ocho conductores. Los conductores están aislados y trenzados entre sí para reducir la interferencia electromagnética. El cable Ethernet puede transportar datos a una distancia de hasta 100 metros [15].
- **Cable RS-485:** Es el cable más común para Modbus RTU, es un cable de par trenzado con dos conductores; los conductores están aislados y trenzados entre sí para reducir la interferencia electromagnética. El cable RS-485 permite transportar datos a una distancia de hasta 1200 metros.

2.2.7 Topología de redes industriales

Un esquema de red industrial que utiliza una mezcla de topologías, particularmente la topología estrella como se ve en la figura 12, se simplifica a través de un switch que une múltiples dispositivos, dentro de ellos la HMI, el PLC y el SIMATIC IoT 2000. Dicho equipo cuenta con su propio vínculo al switch, lo que posibilita una comunicación eficaz y adaptable. La presente resolución es útil puesto que, si un aparato falla, no impacta en el funcionamiento de los demás, y simplifica la incorporación o supresión de dispositivos sin perturbar el funcionamiento de la red [16].

Asimismo, el sistema incluye componentes de topología bus en la interacción entre el VFD y el MED3F, los elementos se vinculan al SIMATIC IoT 2000 a través del protocolo MODBUS RTU. Esta integración de técnicas promueve la optimización en el uso de medios de red y ofrece la flexibilidad necesaria con el fin de combinar diversas tecnologías de comunicación. Sin embargo, es crítico tratar que el switch es el único elemento de falla; si este dispositivo falla, la totalidad de la red podría verse afectada. También cabe mencionar una característica prácticamente habitual de esta estructura de red industrial es demostrar cómo la mezcla de diferentes técnicas puede incrementar el control y la supervisión en entornos industriales.

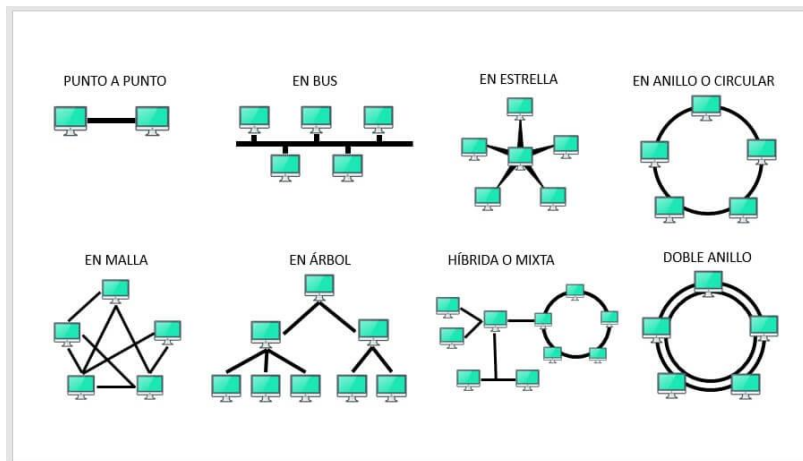


Figura 12. Tipos de topologías de las redes industriales. Fuente: [17].

2.2.8 Sistemas de medición de comunicación industrial.

Estos sistemas pueden abarcar equipos que supervisan aspectos como el tráfico de la red, el rendimiento, la disponibilidad y la latencia, entre otros, lo cual es fundamental para gestionar de manera eficiente una infraestructura de red. A continuación, se describen dos de los parámetros más utilizados en este contexto.

- **Latencia:** Este concepto hace referencia al periodo que un paquete de datos necesita para moverse desde un lugar de origen hasta su destino en la red; generalmente la latencia se cuantifica en milisegundos; empleando instrumentos como el comando "ping", que transmite un paquete de datos a un dispositivo mediante su dirección IP y anota el tiempo requerido para obtener una reacción
- **Tráfico de red:** Se hace referencia al intercambio de información que ocurre entre los dispositivos conectados en una red. Esto es importante realizar, para monitorear el flujo de datos para prevenir pérdidas en la transmisión de datos entre dispositivos; con el objetivo de simplificar la observación tanto del envío como de la salida de datos. Ha mediado del manejo de programas especializados, como aplicaciones de monitoreo de red o computadores de inspección de protocolos, se simplifica el monitoreo en tiempo real de esta comunicación, particularmente en el contexto de equipos en serie. Esto facilita a los usuarios la identificación de patrones de comunicación, la detección de fallos en la transmisión y la realización de modificaciones en las configuraciones para incrementar la eficacia y confiabilidad de la red.

2.2.9 Interconexión de redes

La integración de dispositivos auxiliares de interconexión es fundamental para expandir y conectar redes del mismo o diferente tipo (véase la figura 13), garantizando una comunicación eficiente en entornos complejos. Estos componentes juegan un papel crucial en la optimización de la conectividad y el rendimiento de sistemas interconectados.

Como dispositivos principales auxiliares tenemos:

- **Repetidor:** Este aparato funciona amplificando las señales de red, lo que permite que recorran distancias más largas sin sacrificar potencia; a pesar de que es pasivo y no modifica las señales, su habilidad para ampliar la cobertura de una red es crucial.
- **Puente:** Ideal al momento de vincular redes similares, el puente funciona en la capa 2 del modelo OSI, permitiéndole examinar únicamente las direcciones MAC, su aplicación es habitual para dividir grandes redes en subredes más reducidas o para vincular diferentes tecnologías de nivel físico.
- **Router:** En contraste con el puente, el router tiene como tarea vincular redes de distintas clases y opera en la capa 3 del modelo OSI, donde examina las direcciones IP. Tiene como principal objetivo es sincronizar paquetes entre redes; ofreciendo además control de acceso y seguridad.
- **Gateway:** Este aparato es fundamental en la interacción entre redes con diversas estructuras, protocolos y particularidades. Este se puede usar como un traductor, fragmentando mensajes en el nivel de transporte y modificando los formatos de datos para garantizar la compatibilidad entre las redes, transmitiendo los mensajes de forma eficaz hacia su destino final [18].

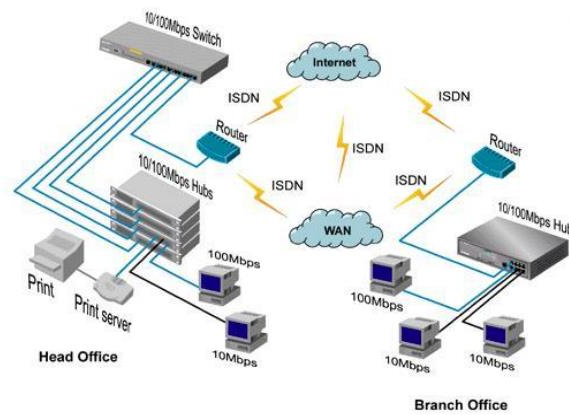


Figura 13. Interconexiones de Red. Fuente:[19].

2.3 Marco Teórico.

A continuación, procuraremos analizar algunos datos significativos obtenidos de diversas fuentes; donde se incluyen trabajos de investigación, tesis y artículos, que sus escritores han examinado. Tales documentos tratan temas vinculados con la puesta en marcha de módulos educativos con atributos parecidos, proporcionando un estudio útil para el progreso del proyecto.

El trabajo que se presenta como **"Ambiente de control de sistemas IIOT basado en MQTT implementado en LabVIEW"** fue escrito por Ana María Vera Martín y dirigido por Francisco Javier Rodríguez Sánchez en la Universidad de Alcalá; el estudio investiga la puesta en marcha de un sistema de control para el Internet Industrial de las Cosas, empleando el protocolo MQTT (Transporte de Mensajes Queuing Telemetry) utilizando la herramienta LabVIEW. En la parte de la elaboración de esta tesis, se puede observar cómo se analiza la descripción de los sistemas IIoT, donde se analizan los paradigmas de interacción y se enfatiza la importancia del protocolo MQTT. Así mismo, utilizan simuladores de dispositivos integrados con MQTT con el fin de administrar del sistema, concluyendo con la implementación de un sistema completo con un intermediario MQTT [20].

El documento denominado **"Sistema IIoT por medio de una plataforma basada en la nube para la automatización del termotanque de la empresa Ecuapanel"**, escrito por Daniel Alejandro Lema Aymacaña y Wilson Omar Martínez Erazo, bajo la dirección de William Paul Oñate Amaguaña, nos da a conocer la transición de la industria

convencional hacia la digitalización, dando ideas de la Industria 4.0 dentro de la automatización de procesos. Podemos apreciar una red de Control de Sistemas de Red Inalámbrica (WNCS) que se enfoca al Internet Industrial de las Cosas, el cual le permite el monitoreo y administración remota del termostato de la empresa Ecuapanel a través de una interfaz desarrollada en Amazon Web Services (AWS). La comunicación de los datos generados por los sensores se realiza mediante el protocolo MQTT, optimizando la eficiencia y flexibilidad del sistema [21].

La tesis denominada "**Diseño y automatización del proceso de sellado de fundas plásticas y monitorización de producción en tiempo real**" presentada por Kaira Antonella Mendoza Zambrano, se enfoca en perfeccionar el diseño y automatizar el proceso de sellado de fundas plásticas, además de ofrecer acceso a la supervisión de la producción en directo. La investigación analiza el asunto de los sistemas deteriorados en el sector que generan elevados gastos de reparación y no satisfacen los índices de producción requeridos. Ella sugiere la implementación de tecnologías de IIoT, fundamentales para la integración de equipos y la gestión eficaz de datos, favoreciendo de esta manera a mejorar el desempeño de las máquinas, disminuir los fallos humanos y potenciar la logística [22].

El trabajo de investigación denominado "**Implementación de la pasarela inteligente IoT 2040 de Siemens para el monitoreo de la Planta MPS PA Compact Workstation de Festo**" presentada por Dora Eloisa Cangá Estrada y Zamira Beatriz Gracia Guagua, bajo la guía del Ing. Víctor David Larco Torres. Esta iniciativa de proyecto se enfoca en desarrollar un sistema de seguimiento para la planta MPS PA Compact Workstation de FESTO, empleando la pasarela IoT 2040. La meta principal es crear un enlace entre el PLC y el módulo IoT 2040, facilitando de esta manera la obtención y almacenamiento de datos en la nube. Este sistema está concebido para simplificar la transición de las fábricas a la Industria 4.0 a través de la utilización de Internet de las Cosas (IoT) [23].

CAPÍTULO III

3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1 Componentes de la propuesta

A continuación, se describen los componentes, tanto físicos como lógicos, que se implementarán en la propuesta para darle forma y desarrollarla de manera secuencial desde sus etapas iniciales hasta su fase final. En la que cada componente físico, se destacan las características y especificaciones técnicas más relevantes, proporcionando una visión detallada y completa de cada elemento.

3.1.1 Componentes físicos

En este apartado se plantea presentar información relevante acerca de los componentes físicos que formarán parte del sistema; previamente analizado en función de la integración con la pasarela objeto de estudio. Se busca ofrecer un panorama técnico detallado que sustente la implementación del sistema.

3.1.1.1 Conexión para el sistema de alimentación.

Este sistema de energía se compone de varios aparatos orientados desde la suministración de energía como a la defensa eléctrica, que incluyen transformadores de corriente (TC), disyuntores y cables conductores. La tarea primordial consiste en proveer energía eficazmente a los diferentes componentes; garantizando condiciones de seguridad ideales y optimizando el desempeño global del sistema.

3.1.1.1.2 Delta Slim DRL-24V75W1AZ

Esta fuente de energía es un dispositivo de tamaño reducido y eficaz, creado para usos industriales que necesitan un abastecimiento estable de 24 V DC y un perfil fino. Un consumo que es nominal de 75 W, posibilita el funcionamiento en un extenso rango de voltaje de entrada (85 a 264 V AC); por lo que nos permite su utilización en diversos contextos sin la necesidad de adaptadores extra [24].

Este modelo se sobresale por sus sistemas de protección que vienen incorporados contra sobrecarga, sobretensión, cortocircuitos y sobrecalentamiento, lo que

asegura un desempeño seguro y fiable. Por consiguiente, la elevada eficiencia energética, que puede llegar al 90%, mejora el uso de energía, aportando a un rendimiento superior del sistema. En la tabla 1 se describen las características importantes de este aparato. Como se ilustra en la figura 14, la fuente, debido a su diseño delgado, es perfecta para instalaciones en espacios pequeños, como paneles de control y sistemas de automatización.



Figura 14. DELTA SLIM DRL-24V75W1AZ. Fuente:[24].

Tabla 1 Tabla de características técnicas del DELTA DRL-24V75W1AZ

Características técnicas	
Rango de voltaje de entrada	85 - 264 VAC (1 fase) / 320 - 600 VAC (3 fases)
Frecuencia nominal de entrada	47 - 63 Hz
Corriente nominal de entrada	3.2 A máx. (230 VAC)
Potencia nominal de entrada	150 W máx. (230 VAC)
Voltaje nominal de salida	24 VDC nominal
Rango de ajuste de voltaje	22.8 - 25.2 VDC
Corriente nominal de salida	3.1 A máx.
Potencia nominal de salida	75 W máx.
Temperatura de funcionamiento	-20°C a +70°C
Protección	Sobrecorriente, sobrevoltaje, protección térmica
Certificaciones	UL508, EN 60950, cULus 60950, EN 50178, EN 60204, GS, CCS Aus
Dimensiones	102 x 51 x 23 mm

Fuente:[24].

3.1.1.1.3 Tc Camsco CFS-33

Los transformadores de corrientes se han diseñado para cuantificar corrientes en sistemas eléctricos, su estructura física se puede observar en la ilustración 15. Se emplea para disminuir corrientes altas a niveles más controlables para instrumentos de medición, protección o vigilancia. Aparato que puede transformar la corriente primaria de un circuito en una corriente proporcional e inferior en su circuito secundario, dando lugar a que los dispositivos de medición o protección operen de forma segura sin estar expuestos a corrientes de alto riesgo [24]. La tabla 2 detalla las propiedades importantes de este componente.



Figura 15. CAMSCO CFS-33 30/5. Fuente: [24].

Tabla 2. Tabla de características técnicas del CFS-33 de 30/5A.

Características técnicas	
Relación de transformación	30/5 A
Frecuencia	50/60 Hz
Tensión primaria	500V
Tensión secundaria	5V
Corriente primaria	30 A
Corriente secundaria	5 A
Clase de aislamiento	E
Grado de protección	IP20

Fuente:[24].

3.1.1.1.4 Interruptores automáticos

Los aparatos electromecánicos, también denominados interruptores automáticos, breakers o disyuntores, se encuentran concebidos para mantener un circuito eléctrico de cargas excesivas o cortocircuitos. Su tarea principal consiste en interrumpir de forma inmediata el abastecimiento de energía cuando ocurra alguna de estas circunstancias. Tales aparatos se categorizan en función de su capacidad de interrupción, la corriente nominal y el uso al que están diseñados. La Figura 16 ilustra su aspecto físico, mientras que la Tabla 3 especifica sus características técnicas más destacadas.



Figura 16. Interruptores Automáticos. Fuente: [24]

Tabla 3. Tabla de características técnicas de interruptores automáticos.

Características técnicas		
	CHINT	Schneider Electric
Tensión nominal	220 V~/230 V~/240 V ~ (1P), 380 V~/400 V~/415 V ~ (2 ~ 4P)	230V AC / 400V AC
Frecuencia	50 Hz	50 Hz
Tipo de disparo electromagnético	C	C
Número de polos	2P	2P
Vida eléctrica	4000 ciclos	10.000 ciclos

Fuente: [24].

3.1.1.1.5 Cables conductores

Los conductores AWG en calibres 12, 14, 16 y 18 son cables eléctricos frecuentemente utilizados en diversas aplicaciones que requieren suministro de energía. En función a su habilidad para llevar corriente eléctrica, estos cables se presentan perfectos para alimentar una amplia gama de aparatos y dispositivos eléctricos, transformándose en componentes esenciales en sistemas de energía eléctrica. La Figura 17 muestra su aspecto físico, mientras que la Tabla 4 condensa sus características técnicas más destacadas.

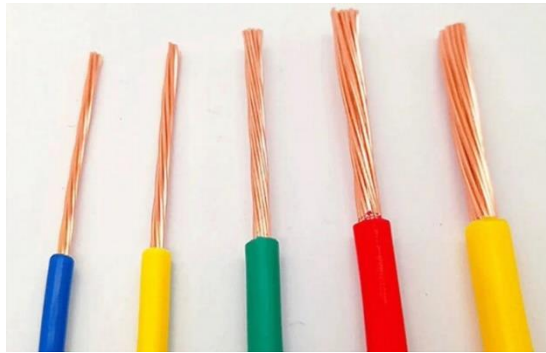


Figura 17. Conductores AWG de varios calibres. Fuente:[24].

Tabla 4. Tabla de características de los conductores AWG de diversos calibres.

Características técnicas	Unidad	AWG 12	AWG 14	AWG 16
Diámetro del conductor	mm	2.05	1.63	1.29
Sección transversal del conductor	mm ²	3.31	2.08	1.29
Amperaje máximo		20	15	13
Resistencia eléctrica	Ω/km	1.61	2.52	4.02
Voltaje máximo de operación	V	600	600	600
Temperatura máxima de operación	°C	75	75	75

Fuente:[24]

3.1.1.2 Equipos de control

Para el sistema de control, se requiere de un PLC encargado de aplicar la lógica de control, así como de un variador de frecuencia que controle las variables eléctricas. Tales elementos son cruciales para asegurar un desempeño eficaz y exacto del sistema.

3.1.1.2.1 Plc S7-1200 1214C

El esquema de controlador lógico programable (PLC) que se usa en el proyecto es el 6ES7214-1BG40-0XB0, equivalente a la CPU 1214C de la serie de los modelos S7-1200, se destaca para aplicaciones de automatización industrial de alcance pequeño y mediano.

Este plc es famoso por su flexibilidad, pues facilita la gestión de entradas y salidas tanto analógicas como digitales, proporcionando un gran grado de adaptabilidad para ajustarse a diferentes usos. En la descripción AC/DC/Relay en el apartado de los detalles menciona que el aparato tiene la capacidad de gestionar señales alternas (AC) y continuas (DC), e incluso de disponer de salidas tipo relé, esto hace incrementar sus posibles aplicaciones en entornos industriales [24].

En la Figura 18 se muestra el diseño físico del PLC, mientras que la Tabla 5 presenta un resumen de sus características técnicas más relevantes.



Figura 18. PLC S7-1200 1214C AC/DC/Relay. Fuente: [24].

Tabla 5. Tabla de características técnicas del PLC S7-1200 1214C AC/DC/Relay.

Características técnicas	
descripción del producto	CPU 1214C AC/DC/Relay
Código de producto	6ES7214-1BG40-0XB0
Alimentación	AC/DC
Entradas digitales	14 x 24 V DC
Salidas digitales	10 x relé (2 A)
Entradas analógicas	2 x 0-10 V DC
Comunicación	1 puerto PROFINET
Expansión	Hasta 3 módulos de comunicación, 8 módulos de señal y 1 placa de señal/placa de comunicación
Temperatura de funcionamiento	-20 a +60 °C
Grado de protección	IP20
Montaje	Riel DIN

Fuente: [24].

3.1.1.2.2 Vdf sinee EM730-0R7-2B

El Variador de Frecuencia Vectorial es un dispositivo electrónico normalmente utilizado en sistemas de control de motores eléctricos. Su propósito principal de tal variador es regular la velocidad y el torque del motor; mediante la modificación de la frecuencia y amplitud del voltaje suministrado.

Este variador, utilizando metodologías de control vectorial, permite que se pueda hacer una gestión autónoma de la velocidad y el torque, esto nos conduce a un control con exactitud y eficacia en comparación con técnicas tradicionales.

En la Figura 19 se muestra el aspecto físico del variador, y en la Tabla 6 se resumen sus características técnicas más relevantes.



Figura 19. VDF SINEE EM730-0R7-2B. Fuente: [25].

Tabla 6. Tabla de características técnicas del VDF SINEE EM730- 0R7-2B.

Características técnicas	
Potencia	1 HP
Tensión de entrada	220 V AC
Corriente de entrada	4,8 A
Frecuencia de entrada	48-63 Hz
Tensión de salida	220 V AC
Corriente de salida	4,8 A
Frecuencia de salida	0,5-100 Hz

Fuente: Manual de usuario físico del fabricante SINEE.

3.1.1.3 Equipos para monitoreo.

Para la supervisión dentro de la planta, se utilizan interfaces hombre-máquina (HMI), estas nos facilitan al operador la visualización y el control de las variables relacionadas a un proceso concreto; interfaces que promueven una efectiva interacción entre el usuario y el sistema, optimizando la supervisión y el control de las operaciones.

3.1.1.3.1 Hmi delta DOP-103WQ

El DELTA DOP-103WQ, dispositivo de interfaz hombre-máquina (HMI), tiene integrado un panel de 4.3 pulgadas, el cual cuenta con una extensa variedad de colores, su fabricante nos permite una visualización profunda y minuciosa de la información.

Este HMI incluye conectividad Ethernet y puertos RS232, RS422 y RS485, permitiéndole comunicarse con otros dispositivos y sistemas dentro de una red industrial. Por lo que se convierte en una interfaz de usuario (UI) eficaz en

entornos de automatización, donde puede controlar y monitorear equipos y procesos de manera eficiente.

La Figura 20 ilustra el diseño físico del componente, mientras que la Tabla 7 recopila sus características técnicas más relevantes.



Figura 20. Pantalla HMI DELTA DOP-103WQ. Fuente: [24].

Tabla 7. Tabla de características técnicas de la pantalla HMI DELTA DOP-103WQ.

Características técnicas	
Pantalla	- Tamaño: 4.3" - Resolución: 480 x 272 - Colores: 65.536 (16 bit) - Tipo: TFT - Pantalla táctil: Resistiva
Conectividad	- Ethernet 10/100 Mbps - RS-232
Entradas/Salidas	- 1 puerto COM - 1 puerto COM de extensión - 1 puerto USB Host
Montaje	- Panel - VESA 75 mm
Alimentación	24 VDC
Consumo de energía	Máximo: 15 W
Temperatura de operación	0 °C a 50 °C
Protección	IP65 (frontal)
Certificaciones	CE, FCC, UL

Fuente:[24].

3.1.1.4 Componentes para el sistema IIoT

Para conectar los aparatos de control y monitorización con la plataforma web, se hace uso de un switch TP-Link en conjunto con una pasarela IoT de Siemens, esto nos facilita la conversión de protocolos de comunicación. Este tipo de medida permite una integración de los sistemas eficiente y sin problemas, garantizando una comunicación efectiva entre los diferentes componentes del entorno industrial y la plataforma digital.

3.1.1.4.1 Switch tp-link TL-SF1008D

Este switch de red no gestionable de sobremesa cuenta con 8 puertos Ethernet de 10/100 Mbps, dándonos una solución económica y eficiente para expandir la red; por lo tanto, este diseño compacto y elegante nos permite una fácil instalación y uso sin configuraciones complejas, gracias a la tecnología plug-and-play. Tiene incorporado la función auto MDI/MDIX, lo que nos elimina la necesidad de cables cruzados.

La Figura 21 muestra el diseño físico del switch, mientras que la Tabla 8 presenta sus características técnicas más relevantes.



Figura 21. Switch TL-SF1008D. Fuente: [24].

Figura 21.

Tabla 8. Tabla de características técnicas del Switch TL-SF1008D.

Características técnicas	
Puertos	8 RJ45 a 10/100 Mbps
Velocidad	10/100 Mbps a semidúplex, 20/200 Mbps a dúplex completo
Rendimiento	1,6 Gbps sin bloqueo
Funciones	Control de flujo, autoaprendizaje MAC, indicadores LED, ahorro de energía
Interfaz	8 RJ45 a 10/100 Mbps
Dimensiones	134.5 x 79 x 22.5 mm
Peso	200 g
alimentación	Externa, 5 V CC, 0.6 A

Consumo de energía	Máximo: 2.05 W, Sin actividad: 0.75 W
Condiciones ambientales	Temperatura de funcionamiento: 0°C a 40°C (32°F a 104°F), Temperatura de almacenamiento: -40°C a 70°C (-40°F a 158°F), Humedad de funcionamiento: 10% a 90% sin condensación, Humedad de almacenamiento: 5% a 90% sin condensación
Certificaciones	FCC, CE, RoHS

Fuente: [46]

3.1.1.4.2 Pasarela inteligente SIMATIC IOT2000.

El sistema de micro PC SIMATIC IOT2000 se basa en el SoC (Sistema en Chip) Intel X1000; este aparato puede funcionar con el sistema operativo Linux, esta imagen puede ser personalizada de acuerdo a las necesidades particulares mediante el proyecto Yocto. Posee un conector el cual funciona con Arduino UNO, esto nos permite simplificar su adaptación a diferentes usos.

Los GPIOs (Entradas/Salidas de Propósito General), que se pueden acceder externamente a través del conector, pueden ser programados y empleados de diversas maneras, tanto a través de lenguajes como Java o C++, como a través del Portal TIA.

3.1.1.4.2.1 Módulos incluidos

El SIMATIC IOT2000 se presenta en dos versiones que se diferencian por sus interfaces. El IOT2020 cuenta con una interfaz Ethernet y dos puertos USB, por el contrario, el IOT2040 ofrece una interfaz Ethernet adicional y dos puertos COM adicionales.

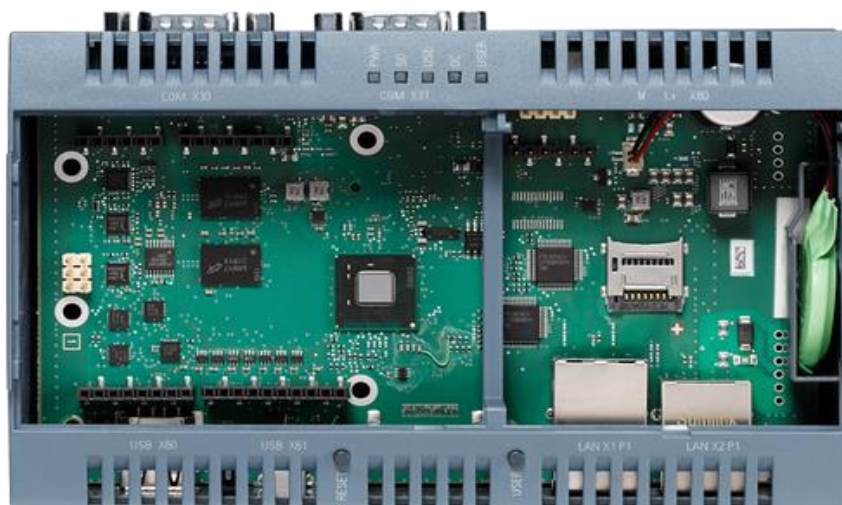


Figura 22. Módulos de Simatic IOT2040. Fuente: [26].

Las dos versiones cuentan con un conector compatible con Arduino UNO, esto nos posibilita el uso de shields de Arduino o la creación de shields a medida que se requiera. La programación cambia en función del escudo empleado (véase la figura 22). En el Portal TIA, solo se pueden utilizar los GPIOs (entradas/salidas de propósito general) como entradas y salidas digitales o analógicas, excluyendo el uso de funciones más sofisticadas como I2C o SPI. Para el software, es necesaria una tarjeta MicroSD, y el software suministrado por Siemens requiere al menos 2 GB de espacio [27].

3.1.1.4.2.2 Características del IOT2040

El dispositivo SIMATIC IOT2000 presenta una serie de características físicas y técnicas que facilitan su instalación y operación. En la figura 23, se enumeran los principales componentes y conexiones del equipo:

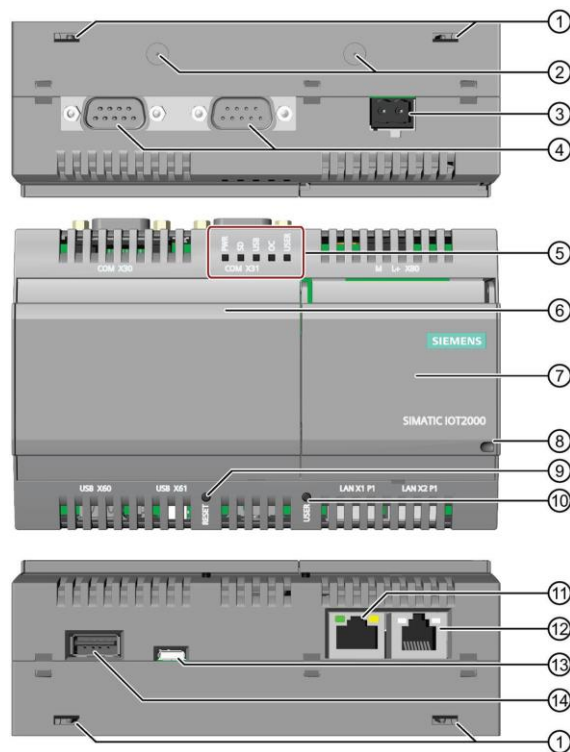


Figura 23. Parte superior, frontal e inferior del IOT2040. Fuente:[27].

- 1) Aberturas para lengüetas de inserción para montaje en pared.
- 2) Marcas para instalación de antenas.
- 3) Conexión para la fuente de alimentación (24 V).
- 4) interfaces COM (RS232/422/485).

- 5) pantalla LED.
 - 5.1) El LED PWR (verde) indica si el sistema está recibiendo suministro de voltaje.
 - 5.2) El LED SD (verde) señala los accesos a la tarjeta SD.
 - 5.3) El LED USB (verde) indica si hay 5 V disponibles para el puerto USB.
 - 5.4) El LED OC (rojo) se ilumina si el voltaje de suministro es demasiado alto.
 - 5.5) El LED USER (verde/rojo/naranja) se puede programar mediante el sistema operativo (no a través del TIA Portal).
- 6) Tapa izquierda.
- 7) Tapa derecha.
- 8) Dispositivo de seguridad.
- 9) Botón RESET para la CPU.
- 10) Tecla USER, programable (no a través del TIA Portal).
- 11) Interfaz Ethernet 10/100 Mbps.
- 12) Interfaz Ethernet 10/100 Mbps, preparada para PoE (Power over Ethernet).
- 13) USB tipo Micro-B.
- 14) USB tipo A [27].

3.1.1.4.2.3 Tarjeta microSD.

El SIMATIC IOT2000 puede funcionar con el sistema operativo Yocto Linux, que requiere el uso de una tarjeta Micro-SD. Para utilizar el SIMATIC IOT2000 con Yocto Linux, se necesita una tarjeta Micro-SD con una capacidad de almacenamiento entre 8GB y 32GB como se ve en la figura 24.



Figura 24. MircoSD adata 32gb. Fuente: [28].

3.1.1.4.2.4 Estación de ingeniería.

Para trabajar con el SIMATIC IOT2000, se requiere una estación de ingeniería. En este caso, se utiliza una PC con Windows 11. La estación de ingeniería debe contar con las siguientes interfaces:

- Ranura para tarjeta SD
- Puerto Ethernet

3.1.1.4.2.5 Cable ethernet.

Para establecer una conexión Ethernet entre la estación de ingeniería y el SIMATIC IOT2000; con el fin de crear una conexión SSH y descargar los proyectos de Eclipse, se necesita un cable Ethernet.

3.1.1.4.2.6 Fuente de alimentación.

Para operar el SIMATIC IOT2000, debemos disponer de una fuente de alimentación capaz de proporcionar entre 9 y 36V de corriente continua (DC) [29].

3.1.1.5 Equipos de medición.

El sensor Schneider Electric PM5100, es diseñado para la medición precisa de parámetros eléctricos como; voltaje, corriente y energía en entornos industriales. Dispositivo que nos garantiza un control eficaz y eficiente del consumo de energía eléctrica.

3.1.1.5.1 Medidor de parámetros eléctricos Schneider Electric PM5100.

El dispositivo PM5100 para medir parámetros eléctricos está diseñado para registrar y supervisar varios parámetros eléctricos en sistemas de distribución de energía. Dispositivo que proporciona medidas exactas de voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y frecuencia.

La gama PowerLogic, que comprende el PM5100, se aplica en usos industriales, comerciales y domésticos con el objetivo de supervisar el uso de energía, optimizar la eficiencia y detectar el estado de la red eléctrica. También, estos medidores suelen tener capacidades de comunicación que nos permiten transmitir información a sistemas de administración de energía o seguimiento a distancia, de esta manera favorece la monitorización del uso de energía en tiempo

real y respaldando la toma de decisiones basada en información.

Su diseño compacto se visualiza en la figura 25, y la información más relevante se detalla en la tabla 10.



Figura 25. Medidor de parámetros eléctricos. Fuente:[24].

Tabla 9. Tabla de características técnicas del medidor de parámetros eléctricos PM5110 Fuente:[24].

Características técnicas	
Precisión	Clase 0.5S según IEC 62053-22
Muestreo	64 muestras por ciclo
Parámetros medidos	Energía, potencia activa y reactiva, tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia, armónicos hasta el orden 15
Red eléctrica	50Hz o 60Hz
Tensión de alimentación	1 a 415 VCA y de 125 a 250 VCC
Corriente nominal de línea	1A o 5A
Configuraciones de fase	Monofásica y neutra, trifásica o trifásica y neutra
Comunicación	RS485
Alarmas	33 alarmas configurables
Cumplimiento de directivas	RoHS de la UE

3.1.1.6 Equipo actuador.

En el ámbito de la automatización, usualmente se categoriza un motor como un actuador. Estos motores eléctricos son elementos esenciales en sistemas automatizados, este elemento es encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica permitiendo llevar a cabo tareas, como desplazar, rotar o situar maquinaria y equipos.

3.1.1.6.4 Motor eléctrico trifásico.

Un motor eléctrico de tres fases es un aparato que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Modelo de motor que posee tres bobinas vinculadas a las líneas de alimentación, lo que produce campos magnéticos rotativos durante el torbellino de las bobinas. La interacción de estos campos magnéticos con el rotor, que puede ser de forma de jaula de ardilla o de bobina enrollada, facilita el movimiento del rotor.

Su diseño compacto se visualiza en la figura 26, y la información más relevante se detalla en la tabla 11.



Figura 26. Motor eléctrico trifásico Siemens. Fuente:[24].

Tabla 10. Tabla de características técnicas del motor eléctrico trifásico.

Características técnicas	
Fases	3
Voltaje de alimentación	220 V
Corriente	3.3 A
Potencia	1 HP
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1720 RPM
Factor de potencia	0.77

Fuente: Placa de datos técnicos adherida a motor.

3.1.2 Componentes lógicos

En esta sección, se detallan y explican los programas o softwares seleccionados para el diseño e implementación adecuada de la propuesta.

3.1.2.1 CADESimu

CADESimu (Véase la figura 27) es un programa informático para simular y

programar la automatización industrial, orientado al diseño y evaluación de circuitos eléctricos, esquemas de escalera (Ladder) y controladores lógicos programables (PLC). Facilita a los usuarios la simulación de sistemas automatizados antes de su puesta en marcha real, favoreciendo el aprendizaje y la comprobación de configuraciones en ambientes de control industrial [30].

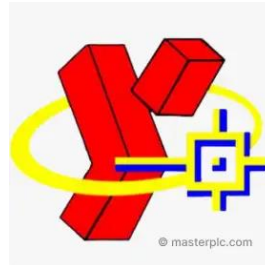


Figura 27. Logotipo CADEsimu. Fuente: [30].

3.1.2.2 Win32DiskImager

Win32DiskImager (Véase la figura 28) es un software libre que facilita la grabación de imágenes de disco en dispositivos de almacenamiento extraíbles, tales como tarjetas SD o memorias USB. Particularmente beneficioso para generar copias precisas de sistemas operativos o particiones, facilitando su recuperación o instalación en otros aparatos. Si se usa su interfaz intuitiva, el usuario tiene la posibilidad de elegir la imagen que quiere guardar y el dispositivo de destino, lo que nos simplifica el intercambio de datos o la generación de medios de arranque. Además, facilita la comprobación de la autenticidad de las imágenes a través de un procedimiento de lectura y comparación [31].

Este software nos permitirá grabar la imagen de Yocto Linux en la tarjeta SD interna de la pasarela, la cual debe tener una capacidad mínima de 8 GB y máxima de 32 GB.



Figura 28. Logotipo Win32DiskImager. Fuente: [31].

3.1.2.3 PuTTY

PuTTY (Ver la figura 29) es un programa libre el cual cumple con la función de un cliente de comunicación, esto nos facilita conexiones seguras mediante protocolos como SSH, Telnet y serial. Software usado para tener acceso a servidores y dispositivos de red a distancia, ofreciendo una interfaz sencilla para gestionar sistemas y ejecutar órdenes desde una terminal [32].

Este software es necesario para acceder a la terminal de Yocto Linux en la pasarela y realizar la configuración de sus parámetros.



Figura 29. Logotipo PuTTY. Fuente: [32].

3.1.2.4 DOPSoft

DOPSoft (Véase en la figura 30) es un software desarrollado por Delta Electronics que se utiliza para programar y configurar pantallas táctiles HMI. Herramienta la cual nos permite a los usuarios diseñar interfaces personalizadas para sistemas de automatización industrial, mejorando la interacción entre los operarios y las máquinas. Posee una amplia gama de funciones gráficas y de control, este software también permite crear gráficos, alarmas y animaciones, es una plataforma sólida para la gestión visual de procesos industriales [33].



Figura 30. Logotipo DOPSoft. Fuente: [33].

3.1.2.5 Wireshark

Wireshark es un software de código abierto diseñado para poder realizar el análisis

en el tráfico de redes, ampliamente utilizado para capturar y examinar paquetes de datos en tiempo real. Permite a los usuarios visualizar el flujo de información dentro de una red, identificar problemas de conectividad, seguridad, y rendimiento, al igual que realizar diagnósticos detallados. Tiene capacidad para filtrar y desglosar paquetes de acuerdo con varios protocolos de red, Wireshark es una herramienta clave para la administración de redes y la resolución de problemas en entornos locales e industriales [35].

3.1.2.6 Plataforma Node-Red

Actualmente, la biblioteca de Node-RED (véase la figura 31) cuenta con más de 2500 nodos disponibles, en los que se incluyen características como la geolocalización, integraciones para hogares inteligentes e incluso la conversión entre diferentes protocolos IoT [36]. Algunos de los nodos más destacados son:

- **Contrib S7:** Nodo utilizado para interactuar con los PLC de Siemens S7. Este nodo no está preinstalado en Node-RED, por lo que debe descargarse.
- **Function:** Nodo empleado para incorporar funciones a medida redactadas en JavaScript en el flujo de datos.
- **Change:** Facilita cambiar el contenido de un mensaje o añadir nuevas características a este.
- **Switch:** Se emplea para valorar diversos resultados basándose en una variable determinada.
- **Inject:** Nodo que transmite datos a intervalos regulares, o bien puede ser utilizado de manera manual al hacer clic en él.
- **Debug:** Su función es mostrar mensajes en la barra lateral del editor para facilitar la depuración [36].

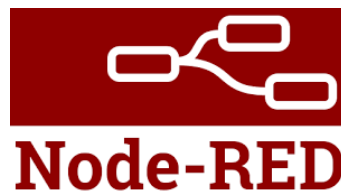


Figura 31. Logotipo Node Red. Fuente: [37].

3.1.2.7 Plataforma Insights Hub.

El software Insights Hub (véase la figura 32) desarrollado por Siemens, tiene como objetivo gestionar y evaluar información en entornos industriales. Nos facilita la recopilación, visualización y estudio de grandes volúmenes de datos provenientes de dispositivos y sistemas interrelacionados, lo que favorece la toma de decisiones en tiempo real y mejora la eficiencia en las operaciones.

Al momento que se establece la conexión con el IOT2040, un dispositivo de pasarela IoT industrial, se activa la incorporación de información proveniente de sensores, controladores y otros aparatos industriales en la plataforma. Por lo tanto, nos posibilita la supervisión a distancia, la mejora de procesos y la puesta en marcha de soluciones inteligentes en la nube, fusionando los datos obtenidos con aplicaciones sofisticadas como el análisis predictivo o el mantenimiento preventivo [38].

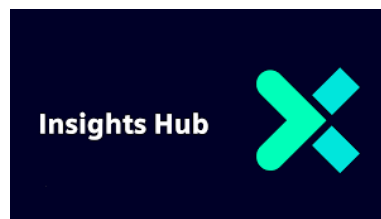


Figura 32. Logotipo Insights Hub. Fuente: [38].

3.2 Diseño de la propuesta

3.2.1 Diagrama de conexión eléctrica del sistema IIoT

La Figura 33 nos da la representación gráfica de las conexiones eléctricas. La línea principal se encuentra vinculada a disyuntores de 16A, que proporcionan un voltaje de 220V a los distintos dispositivos. Dentro de estos se encuentran un adaptador de corriente para el switch, el regulador de voltaje SLIM de 24V y el PLC S7-1200. Tanto la pasarela IoT como la pantalla HMI son alimentadas por la fuente de 24V.

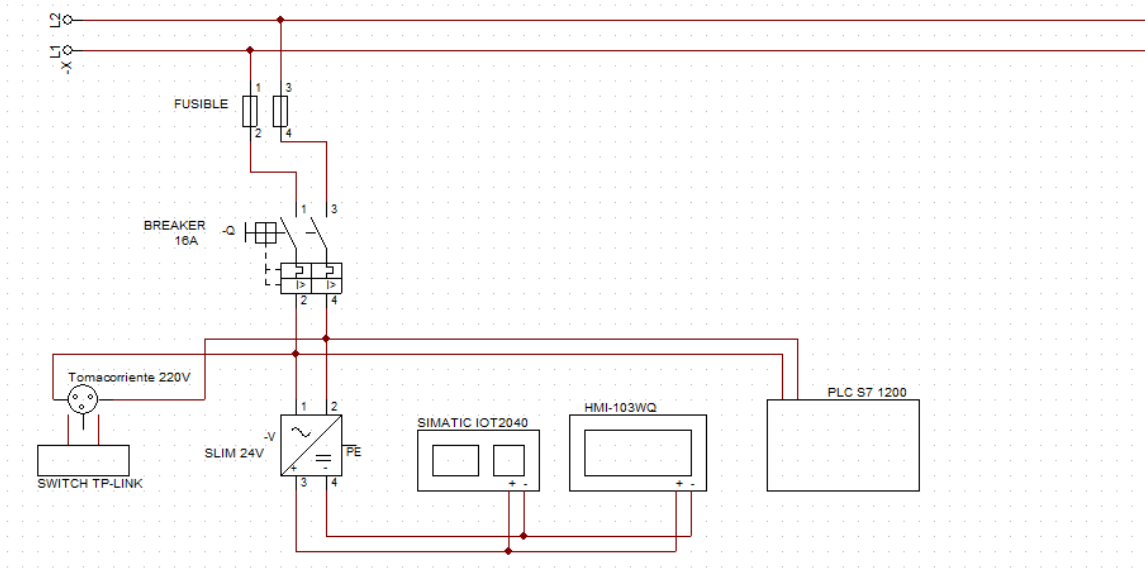


Figura 33. Diagrama de conexión eléctrica de equipos 1. Fuente: Autoría propia

En la Figura 34 se detallan las conexiones del circuito de potencia del motor trifásico de 1 HP. El motor está conectado a la salida trifásica del variador de frecuencia, el cual a su vez se encuentra vinculado a la línea bifásica de 220V. El medidor de parámetros eléctricos está conectado a esta misma línea de 220V. Para medir los voltajes del motor trifásico, el medidor se conecta a sus líneas, mientras que los transformadores de corriente se utilizan para registrar la corriente.

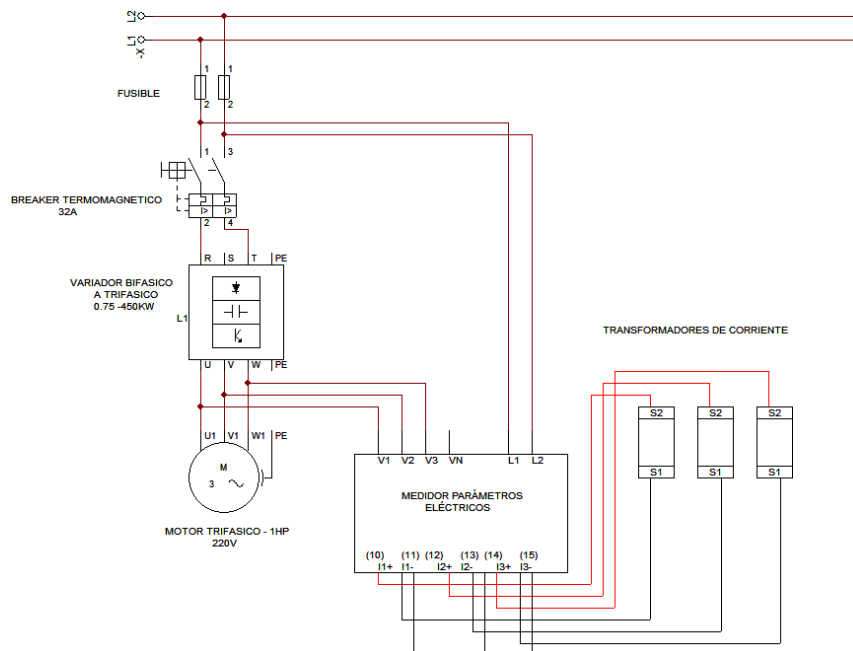


Figura 34. Diagrama de conexión eléctrica de equipos 2. Fuente:[24].

Figura 34.

3.2.2 Topología de la red de datos del sistema

El sistema IIoT tiene una red de datos, con una estructura de distribución de aparatos tal como se ilustra en la figura 35. El nodo central funciona como un switch de red, donde todos los dispositivos con interfaz Ethernet, tales como el HMI, el PLC S7-1200 y la pasarela IoT 2000, se vinculan a través de la comunicación TCP/IP. Los aparatos que funcionan con comunicación RS485, tales como el variador de frecuencia (VDF) y el módulo de distribución de potencia (MDP), tienen la posibilidad de vincularse directamente con la pasarela IoT 2000, que funciona como conexión entre ambos protocolos.

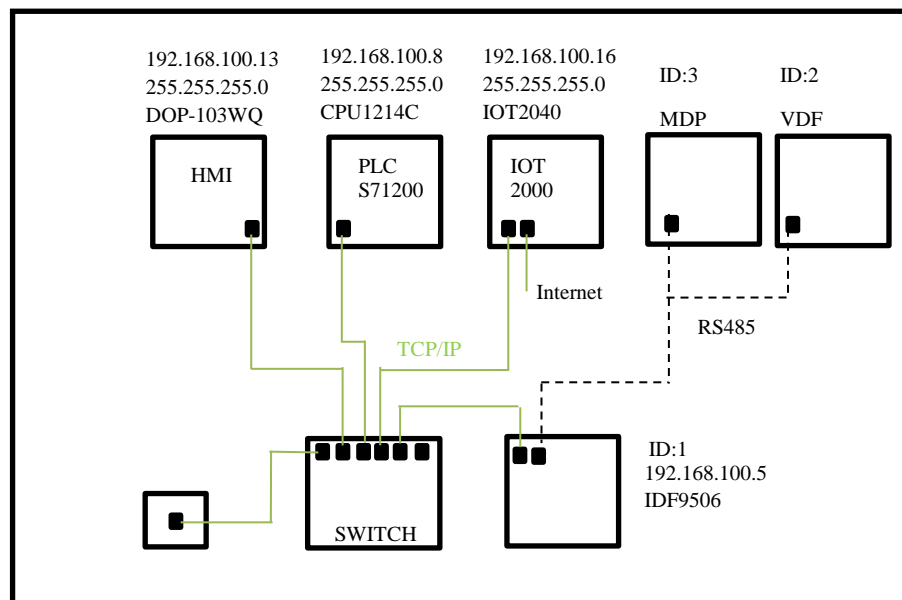


Figura 35. Topología de red. Fuente: Autoría propia.

3.2.3 Montaje de los componentes del sistema IIoT

El montaje físico mostrado en la imagen 36 es un sistema de simulación y control IIoT, compuesto por diversos componentes industriales integrados. En la parte inferior se encuentra un motor trifásico, el cual actúa como la carga controlada del sistema, mientras que un variador de frecuencia (VFD) regula su velocidad y torque; en la parte superior, se observan una interfaz HMI, que permite la supervisión y control en tiempo real, y un controlador lógico programable (PLC), encargado de gestionar la lógica del sistema. Además, están presentes pasarelas de comunicación que soportan diversos protocolos industriales como Modbus, MQTT, PROFINET y PROFIBUS, facilitando la conexión

entre el sistema físico y redes industriales o la nube. También se ha incorporado Node-RED, una herramienta para la creación de flujos de trabajo que permiten la visualización y manipulación de datos. En conjunto, este montaje permite el monitoreo y control remoto de un motor trifásico en un entorno de red industrial.



Figura 36. Montaje de los componentes en el módulo. Fuente: autoría propia

3.2.4 Diagrama esquemático general de la red IIoT

La figura 37 muestra una red IIoT compuesta por varios dispositivos interconectados para el monitoreo y control de un motor trifásico. El sistema incluye un PLC S7-1200 (CPU 1214 AC/DC/RLY), con la dirección IP 192.168.100.8, que actúa como el controlador central de la red. Este PLC se comunica mediante TCP/IP con un HMI Delta DOP103WQ, que tiene la dirección IP 192.168.100.13 y permite a los usuarios monitorear y controlar el sistema en tiempo real. Ambos dispositivos están conectados a un switch de 8 puertos, que centraliza la comunicación de la red.

Además, el PLC está conectado al SIMATIC IOT2040, con la dirección IP 192.168.100.10, que actúa como pasarela IIoT, facilitando la conexión del sistema a Internet para la supervisión y control remotos. El VFD EM730 (variador de frecuencia), con la dirección RS-485 ID: 2, controla el motor trifásico de 220V y está conectado al IOT2040. Este variador se utiliza para regular la velocidad del motor. Finalmente, el medidor de energía DPM-5110, con el ID: 3, proporciona información sobre los parámetros eléctricos del sistema y está vinculado también a la red a través del SIMATIC IOT2040.

En conjunto, esta red IIoT permite el control y monitoreo de un motor trifásico a través de un entorno de comunicación industrial basado en TCP/IP y RS-485, con acceso remoto habilitado a través de la pasarela IIoT

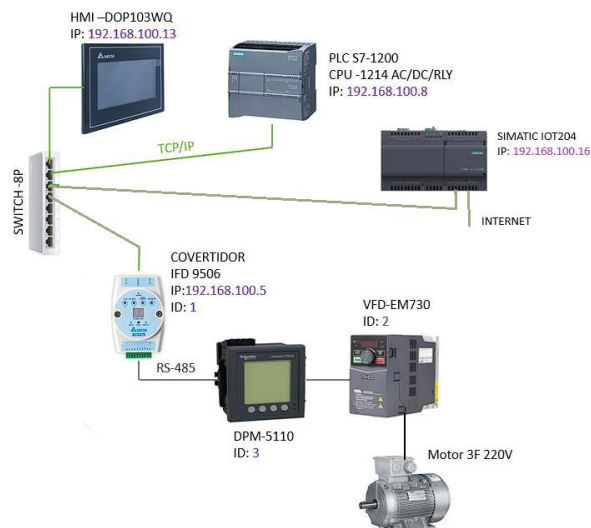


Figura 37. Diagrama general de la red IIOT. Fuente: Autoría propia

3.2.5 Configuración de accionamientos eléctricos

La configuración en delta (véase las figuras 38 y 39) de un motor trifásico se utiliza para conectar sus devanados en forma triangular, lo que permite que cada fase del motor esté conectada entre dos puntos de la fuente de alimentación. Esta configuración es ideal cuando se desea operar el motor a su máxima potencia y utilizar su capacidad nominal completa, ya que permite una mayor corriente en los devanados y, por ende, un mayor torque. En una tesis, se puede destacar el uso de la configuración en delta para aplicaciones donde se requiere mayor robustez y eficiencia en el arranque del motor, especialmente en sistemas industriales que demandan alta potencia, como en el control

de motores trifásicos a través de variadores de frecuencia (VFD). Además, su implementación en sistemas IIoT permite un monitoreo preciso de variables eléctricas bajo condiciones de carga máxima.

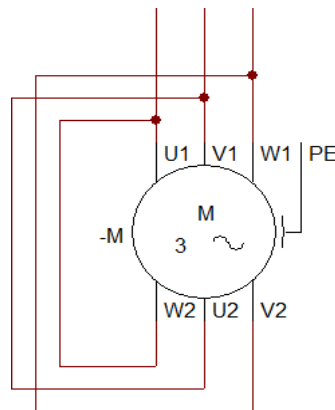


Figura 38. Esquema delta del motor trifásico. Fuente:[24].

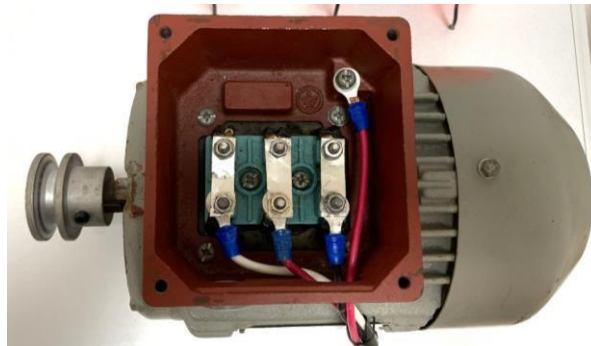


Figura 39. Conexión física del motor trifásico en delta- delta. Fuente:[24].

3.2.6 Conexión de los dispositivos seriales

Se realiza la conexión en serie de los dispositivos del módulo didáctico mediante el bus Modbus RS-485, como se muestra en la figura 40. Utilizando una topología en cadena; un cable de par trenzado conecta todos los equipos con puerto serial, siguiendo la estructura Maestro/Esclavo. Esta configuración es usada, con un único dispositivo maestro que gestiona y se comunica con varios esclavos, cada uno con una dirección única, lo que garantiza una comunicación ordenada y eficiente. Este tipo de conexión es adecuado para aplicaciones que requieren una comunicación robusta y de largo alcance en entornos industriales o educativo.

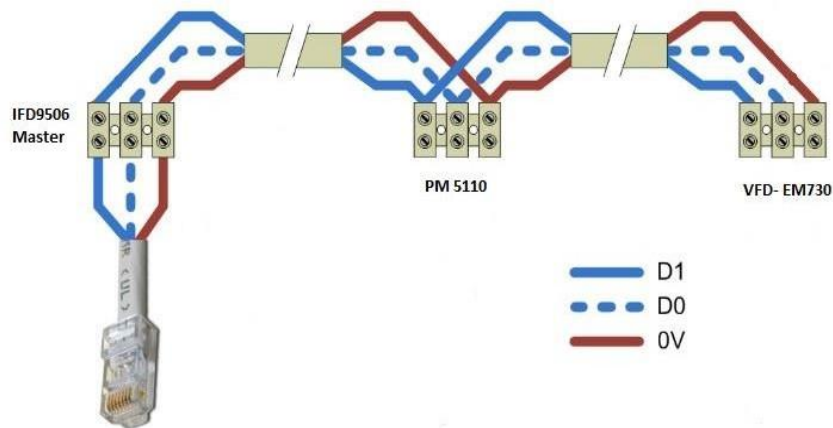


Figura 40. Conexión en cadena de los equipos seriales Fuente: [24].

3.2.6.1 Conexión del variador SINEE VFD-EM730

La conexión eléctrica del variador SINEE VFD-EM730 con alimentación de 220V bifásica se realiza conectando las dos fases del suministro eléctrico a los terminales de entrada del variador, normalmente etiquetados como L1 y L2; esta configuración nos permite que el variador reciba la potencia necesaria para operar el motor trifásico, por lo que utiliza el voltaje bifásico para proporcionar un rendimiento eficiente.

Por consiguiente, en la comunicación, el variador VFD-EM730 utiliza el protocolo RS-485, un estándar de comunicación serial que permite el intercambio de datos entre dispositivos; esta comunicación se establece a través de los terminales designados para RS-485 en el variador, comúnmente etiquetados como A+ y B-. Con esta configuración, el variador actúa como un dispositivo esclavo en una red Modbus, donde recibe instrucciones de un maestro (como un PLC o una pasarela IIoT) y envía información sobre su estado y parámetros operativos, como velocidad y corriente; esta forma de comunicación es ideal para entornos industriales que requieren un control preciso y de largo alcance.



Figura 41. Conexión del variador de frecuencia SINEE. Fuente:[24].

3.2.6.2 Conexión y configuración del medidor de parámetros PM5110 Schneider Electric

El medidor de parámetros eléctricos PM5110 de Schneider Electric se conecta a la alimentación eléctrica a través de sus terminales de entrada de tensión y corriente (véase la figura 42). Para una red de 220V bifásica, los terminales L1 y L2 se conectan a las dos fases; mientras que el terminal de neutro se conecta si es requerido para la medición. Por consiguiente, deben conectarse los transformadores de corriente (CT), junto a los terminales de corriente del medidor para medir el flujo eléctrico, en cuanto a la comunicación; el PM5110 utiliza el protocolo RS-485 para integrar el medidor a una red Modbus RTU.

Los terminales D+ y D- del medidor se conectan a los correspondientes terminales de la red RS-485, lo que permite la transmisión y recepción de datos; esta red, del PM5110 actúa como un dispositivo esclavo, enviando información sobre los parámetros eléctricos (tensión, corriente, potencia, etc.) a un dispositivo maestro, como un PLC o una pasarela IIoT, facilitando el monitoreo remoto y la gestión de los datos energéticos en tiempo real.

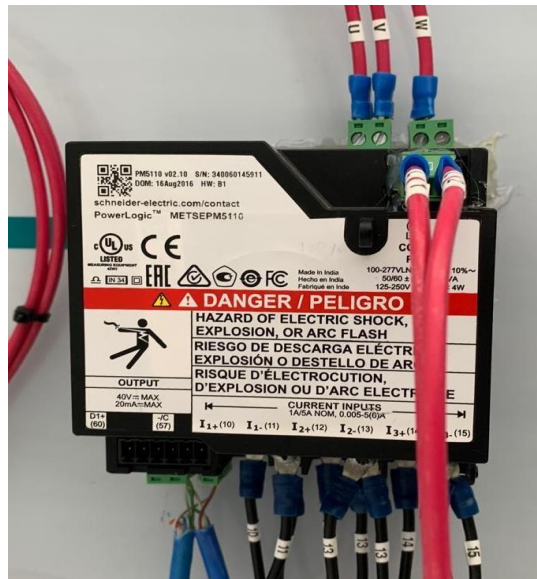


Figura 42. Conexión de alimentación del medidor PM5110. Fuente: [24].

Primero, para la configuración del medidor de parámetros PM5110, debemos ingresar los datos en la configuración básica del medidor, según se muestra en las figuras 37. Los datos a introducir incluyen; el sistema de alimentación en uso, la configuración de los transformadores de corriente, el tipo de conexión, el número de terminales utilizados; las corrientes del primario y secundario, y la frecuencia de operación.

Adicionalmente, se configura la comunicación Modbus en la opción del puerto serie, como se ilustra en la figura 38. Aquí, se establece la dirección del esclavo, la velocidad en baudios y la paridad, concluyendo así la configuración del medidor de parámetros para asegurar su correcto funcionamiento y comunicación. Para iniciar este proceso, se debe acceder a la opción de mantenimiento y luego a configuración en el sistema, donde se encuentran las opciones a configura.

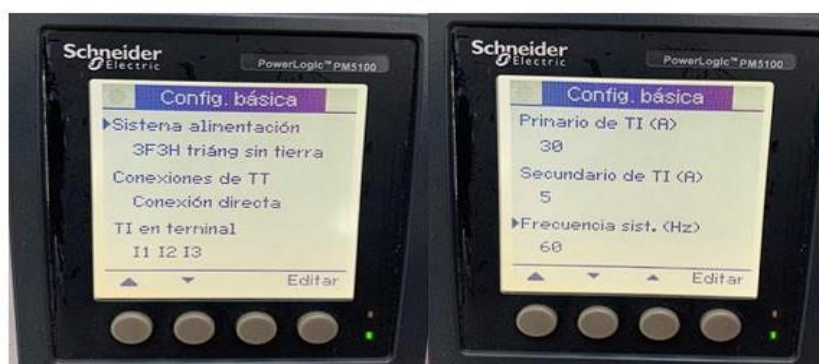


Figura 43. Configuración del medidor de parámetros. Fuente: [24].



Figura 44. Puerto serie del medidor de parámetros. Fuente:[24].

3.2.7 Conexión de los transformadores de corriente

La conexión de los transformadores de corriente (TC) se realiza insertando los conductores del circuito principal (donde se desea medir la corriente) a través del núcleo del transformador, lo que constituye la conexión primaria (véase la figura 45). Esta parte no requiere conexiones físicas directas, ya que el TC funciona por inducción.

En la conexión secundaria, los terminales del TC (normalmente etiquetados como S1 y S2) se conectan al dispositivo de medición, como un medidor de energía o un relé de protección. El terminal S1 suele conectarse al terminal de entrada positivo del medidor, mientras que S2 se conecta al negativo o tierra; es crucial que el circuito secundario esté siempre cerrado para evitar que el transformador se sobrecargue o sufra daños (véase la figura 44). Se recomienda conectar a tierra el terminal S2 por mayor seguridad.

Esta configuración asegura que la corriente medida en el circuito secundario (5 A), sea proporcional a la corriente real en el circuito primario (30 A); por lo tanto nos permite la medición precisa sin afectar el sistema principal.



Figura 45. Conexión física y etiquetado de los Transformadores de corriente. Fuente: [24].

3.2.8 Conexión de la pasarela inteligente SIMATIC IOT2040

El SIMATIC IOT2040 se conecta eléctricamente mediante una fuente de alimentación de 24V DC (véase la figura 46) proporcionando la energía necesaria para su operación. En la comunicación, utiliza diferentes interfaces para integrar dispositivos industriales en redes IIoT; por medio de su puerto RS-485, se conecta con dispositivos que emplean el protocolo Modbus RTU, permitiendo la transmisión de datos entre equipos maestros y esclavos, como variadores o medidores. Por otra parte, también cuenta con puertos Ethernet que nos permiten una conexión a redes industriales mediante TCP/IP; al realizarlo dicha forma facilita la interacción con PLCs, HMIs o una red local para control remoto. El IOT2040 puede conectarse a Internet mediante de los mismos puertos Ethernet, habilitando la transmisión de datos hacia la nube o sistemas externos, mediante protocolos como MQTT o HTTP; esto nos posibilita el monitoreo y control remoto de los dispositivos. Capacidades que hacen del SIMATIC IOT2040 una pasarela eficiente para la integración de sistemas industriales con plataformas digitales en entornos IIoT.



Figura 46. Conexión de la pasarela SIMATIC IOT2040. Fuente: Autoría propia.

3.2.9 Conexión del PLC S7-1200 SIEMENS

El PLC S7-1200 conecta directamente a una línea de 220V AC para suministrar la energía necesaria para su funcionamiento y el control de sus módulos. En cuanto a la comunicación Ethernet, el PLC incorpora un puerto PROFINET, lo que permite su integración en redes industriales mediante TCP/IP (véase la figura 47). A través de esta conexión, el S7-1200 puede comunicarse con otros dispositivos como HMIs, PLCs adicionales o sistemas SCADA, facilitando el intercambio de datos y la supervisión en tiempo real. Además, la comunicación Ethernet permite la programación y el diagnóstico remoto del PLC, integrándolo en sistemas de automatización avanzados



Figura 47. Conexión del PLC S7-1200. Fuente: [24].

3.2.10 Conexión pantalla HMI Delta DOP-103WQ

El HMI Delta DOP-103WQ se alimenta con una fuente de 24V DC, que proporciona la energía necesaria para su funcionamiento y la visualización de los procesos industriales en tiempo real. En cuanto a la comunicación Ethernet, el HMI cuenta con un puerto Ethernet que permite su conexión a redes industriales utilizando el protocolo TCP/IP (véase la figura 48). A través de esta conexión, el HMI se comunica con dispositivos como PLCs y otros controladores, facilitando el monitoreo y control de sistemas de automatización desde una interfaz gráfica intuitiva. Esta conectividad también permite la integración en redes más amplias para la supervisión remota.



Figura 48. Conexión del HMI Delta DOP-103WQ. Fuente: [24]

3.2.11 Conexión de los equipos Ethernet conectados al Switch Ethernet

El esquema de conexión de los equipos acoplados al módulo didáctico, todos interconectados mediante un switch Ethernet central que permite la comunicación entre los diferentes dispositivos del sistema, se muestra en la figura 49. En la parte inferior derecha, se ilustra la fuente de alimentación monofásica de 110V AC, que proporciona la energía necesaria para el funcionamiento de los componentes.



Figura 49. Conexión de puertos del switch TP-Link. Fuente: [24].

3.2.12 Configuración de la pasarela Simatic iot2040

Para configurar el SIMATIC IOT2040, es fundamental instalar una imagen base que sirva como sistema operativo. Posteriormente, se accede a la configuración de los puertos mediante SSH (Secure Shell) en un entorno Linux. Esta conexión permite realizar ajustes

en los parámetros de red y otros ajustes esenciales. Además, es necesario activar la plataforma Node-RED, que facilita la creación de aplicaciones de automatización y el procesamiento de datos mediante una interfaz gráfica de usuario. Este proceso asegura que el IOT2040 esté adecuadamente configurado para integrarse en sistemas de automatización industrial y IIoT.

3.2.12.1 Instalación de imagen Yocto Linux.

La instalación de la imagen IOT2040_Example_Image_V3.1.17 en el SIMATIC IOT2040 implica varios pasos. Primero, se debe descargar la imagen desde el sitio oficial de Siemens (<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109741799/downloads-for-simatic-iot20x0?dti=0&lc=en-WW>). A continuación, se prepara una tarjeta SD formateada en el sistema de archivos adecuado (generalmente FAT32) y se graba la imagen utilizando herramientas como Win32 Disk Imager (<https://win32diskimager.org/>). Una vez que la imagen se ha grabado correctamente en la tarjeta SD (véase la figura 50), se inserta en el IOT2040. Luego, se enciende el dispositivo, que automáticamente detectará la tarjeta SD e instalará el sistema operativo (véase la figura 51).



Figura 50. Grabación de imagen Yocto Linux. Fuente: Autoría propia.

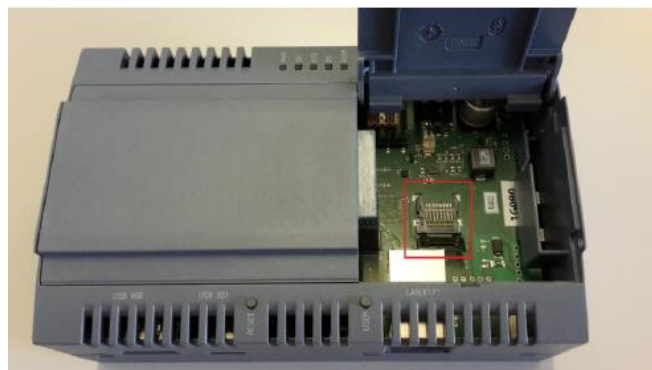


Figura 51. Instalación de imagen Yocto Linux. Fuente: Autoría propia.

3.2.12.2 Acceder a la configuración interna del SIMATIC IOT2040.

Es fundamental que la conexión Ethernet de la PC se encuentren en la misma red que la pasarela SIMATIC IOT2040. Para lograr esto, es necesario cambiar la dirección IP de la PC. Este ajuste debe realizarse de acuerdo con las configuraciones de red indicadas en la figura 52, asegurando que ambas, la PC y la pasarela, se encuentren en la misma subred para facilitar la comunicación entre dispositivos.

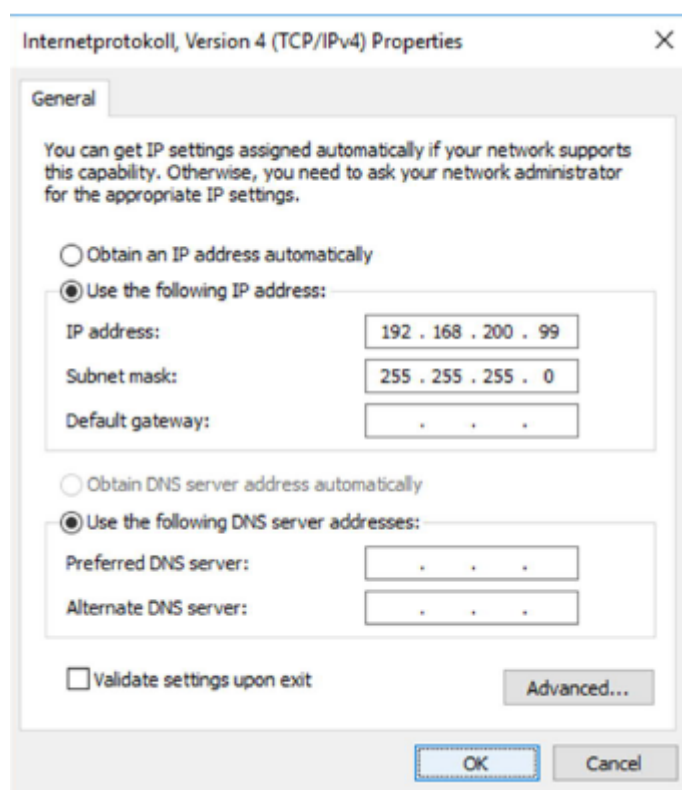


Figura 52. Configurar subred del puerto ethernet. Fuente: Autoría propia

Accedemos a la configuración del SIMATIC IOT2040 haciendo uso de la herramienta PuTTY; primero debemos asegurarnos de que el dispositivo esté conectado a la PC a través del puerto Ethernet X1P1 la dirección IP estándar de la pasarela es 192.168.200.1. Al momento de abrir PuTTY; ingresamos esta dirección IP para posteriormente seleccionar el puerto 22, el cual es el valor predeterminado para conexiones SSH. Hacemos clic en Guardar para recordar esta configuración y, posteriormente, abrimos la conexión (véase la figura 52); Al iniciar la sesión, aparecerá una advertencia de seguridad que debemos aceptar para continuar. Se establecerá la conexión, permitiéndonos acceder a la configuración

del dispositivo y realizar los ajustes necesarios.

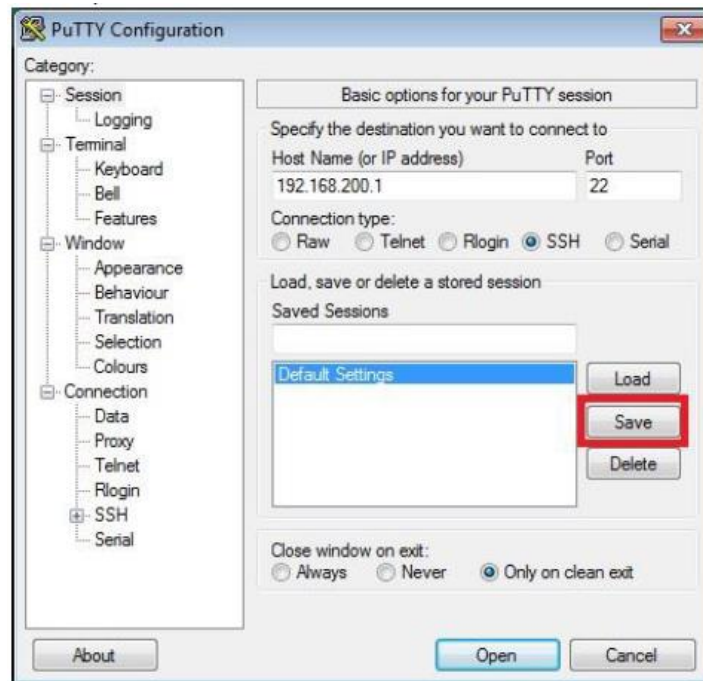


Figura 53. Abrir terminal de Yocto Linux. Fuente: Autoría propia.

Al abrir la terminal de **Yocto Linux** en el **SIMATIC IOT2040**, se nos solicitará ingresar un nombre de usuario y una contraseña. Para acceder, utilizamos el usuario "**root**", el cual no tiene contraseña predeterminada. Una vez que hemos iniciado sesión correctamente, ingresamos el comando "**iot2000setup**" para acceder a la configuración de la pasarela. Este comando nos permitirá realizar ajustes en los parámetros del dispositivo y configurar las funcionalidades necesarias para su integración en el sistema.



Figura 54. Ingreso a la configuración del simatic iot2040. Fuente: Autoría propia.

3.2.12.3 Configuración de puertos de la pasarela.

Los puertos Lan x1 p1 y Lan x2 p1 se usan para la comunicación con la red local e internet, respectivamente. En el primer puerto; se configura la IP para acceder

al dispositivo (ver figura 55), mientras que el segundo puerto se configura como DHCP para permitir que la pasarela tenga acceso a internet.

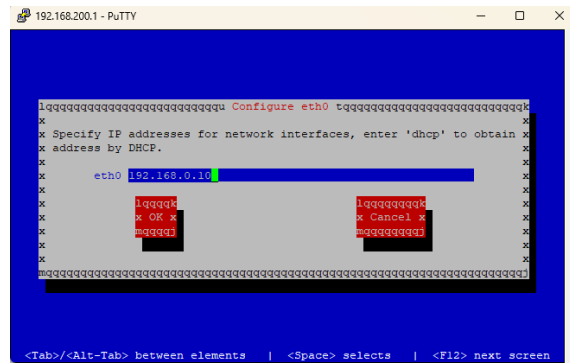


Figura 55. Asignación de IP del iot2000. Fuente: Autoría propia

3.2.13 Configuración de variables en la nube.

En Siemens Insights Hub, la creación de un activo se requiere para poder comenzar a monitorear y visualizar datos de tus dispositivos y máquinas. Activos que son representaciones digitales de los equipos que se quieren supervisar, y se necesita configurar correctamente los tipos y aspectos de los activos para permitir estructurar adecuadamente la información que se obtiene de ellos.

3.2.13.1 Creación de aspecto en plataforma Insights hub.

Los aspectos organizan propiedades específicas en una estructura lógica. Se define un aspecto para cada grupo de variables del medidor de parámetros abarcando; voltajes, corrientes y potencias (véase la figura 36), y estableciendo el tipo de variable y la unidad de medida. Es posible especificar otros parámetros, como el valor límite y el valor estandar.

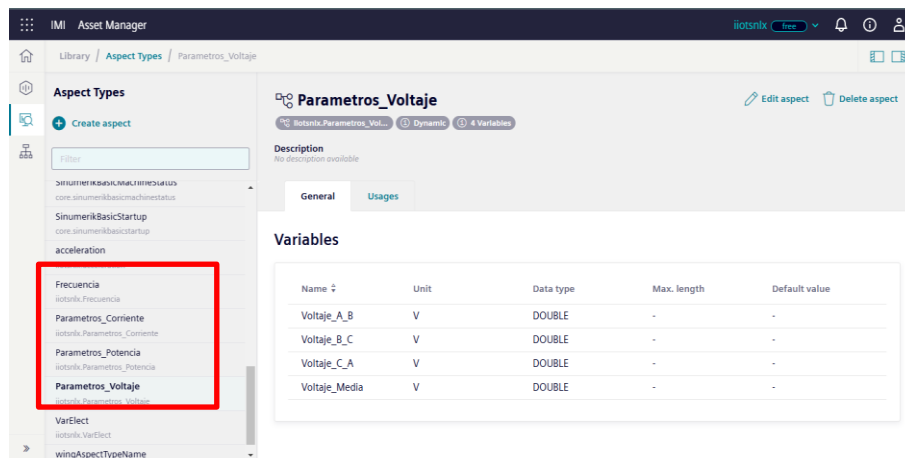


Figura 56. Creación de aspectos en Insights hub. Fuente: Autoría Propia

3.2.13.2 Creación de tipo en plataforma Insights hub.

En este paso, se pueden definir todas las propiedades del activo que se está creando, agrupando los aspectos previamente establecidos (véase la figura 37) para dicho activo; esto permite estructurar de manera organizada las características y variables específicas del activo.

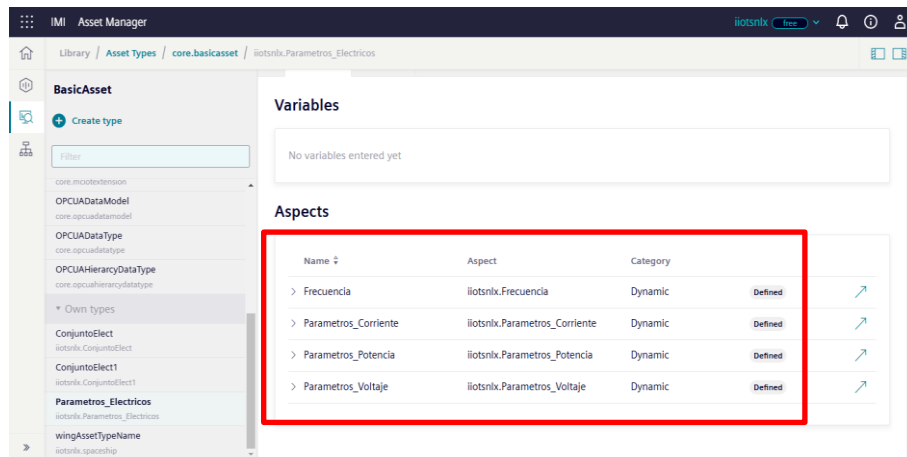


Figura 57. Creación del Tipo en Insights hub. Fuente: Autoría Propia

3.2.13.3 Creación de activo en plataforma Insights hub.

Una vez finalizada la creación de los aspectos y el tipo, es posible otorgar acceso a estas variables mediante la configuración de un activo (véase la figura 38). Esto permite manipular dichas variables dentro del entorno local de Insights Hub.

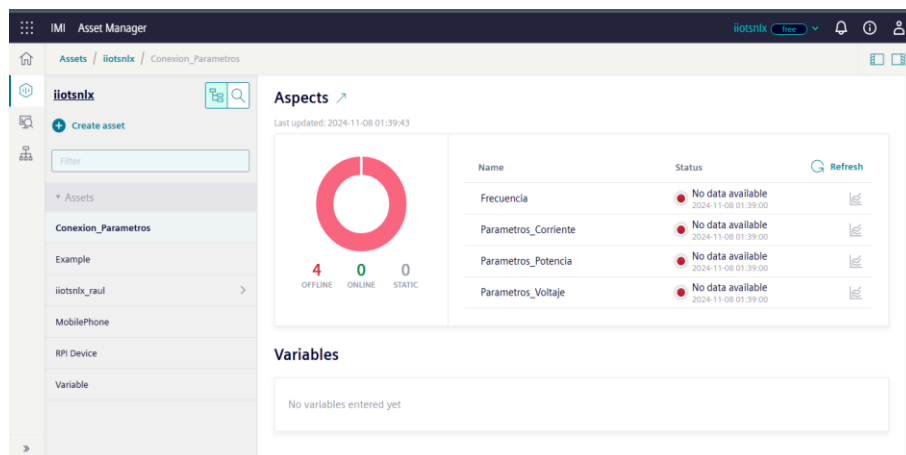


Figura 58. Creación del activo en Insights hub. Fuente: Autoría Propia

3.2.13.4 Creación de certificado mqtt en plataforma Insights hub.

Para enviar datos desde la pasarela IoT2000, es esencial conectarse a un bróker MQTT privado, cuyo acceso es facilitado por la plataforma Insights Hub. Cabe destacar que, una vez creado el bróker (véase la figura 39), la plataforma no permite descargar nuevamente los archivos .key y .pem necesarios para configurar el cliente que desee suscribirse a este bróker.

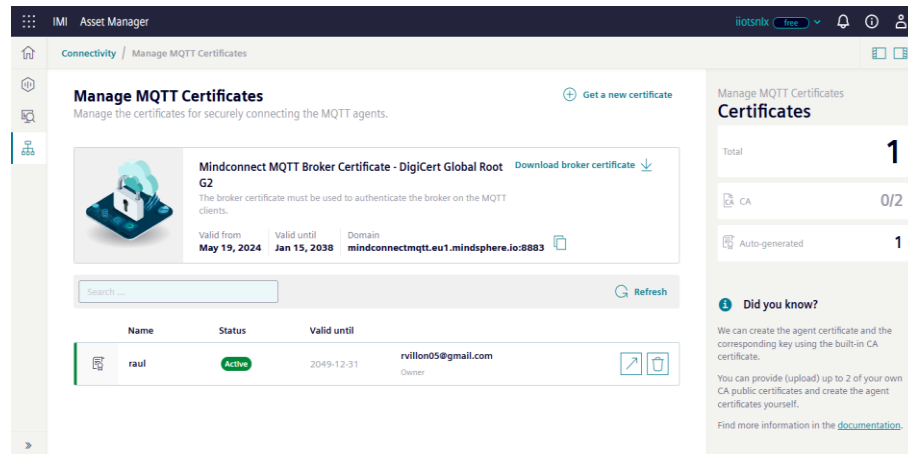


Figura 59. Certificado mqtt en Insights hub. Fuente: Autoría Propia

3.2.14 Comunicación entre red local e interfaz remota.

La pasarela IoT2000 se encarga de gestionar las variables del medidor de parámetros y del variador de frecuencia, ambos conectados a través del gateway mediante el protocolo de comunicación Modbus TCP. Estos datos pueden ser visualizados y controlados de forma remota a través de una interfaz que utiliza el protocolo de comunicación MQTT.

3.2.14.1 Comunicación entre el variador de frecuencia y pasarela IOT2000

Para acceder a las variables del variador mediante registros en formato decimal (ver tabla 11), se emplean nodos Modbus en la plataforma Node-RED. La frecuencia de salida del variador la podemos monitorear a través del registro 3206 con el nodo “Modbus flex getter” como se muestra en la figura 40.

Tabla 11. Registros del variador de frecuencia. Fuente: Autoría Propia

Accionamiento del motor	Registros a forzar (Hexadecimal)	Registros a forzar (Decimal)	Valor de activación
Parada	7000H	28672	0005H
Arranque	7000H	28672	0001H
Inversión de giro	7000H	28672	0002H

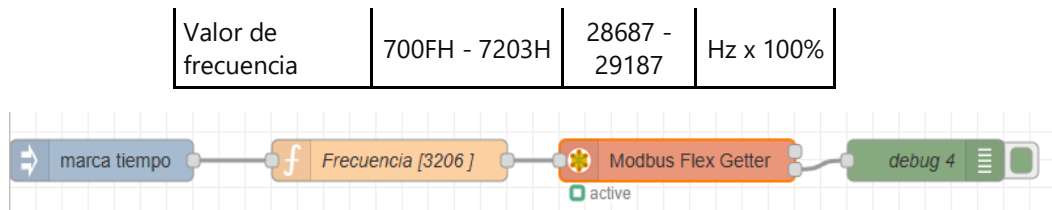


Figura 60. Adquisición de frecuencia de salida. Fuente: Autoría Propia

Para el control de accionamiento del motor nos guiamos de la tabla 11, enviado los datos a través del nodo “Modbus flex getter” como se muestra en la figura 50.

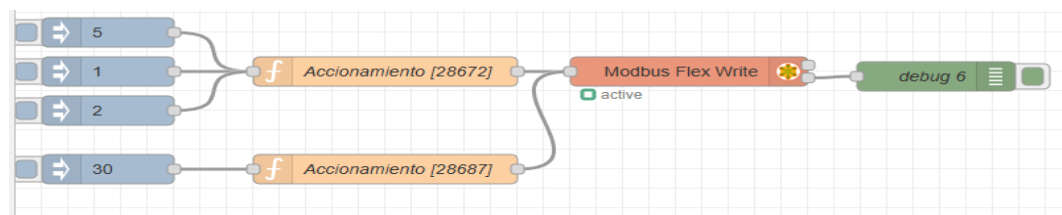


Figura 61. Accionamientos del variador. Fuente: Autoría Propia.

3.2.14.2 Comunicación entre el medidor de parámetros y pasarela iot2000

Para la adquisición de los parámetros eléctricos, se usan los nodos de comunicación modbus adquiriendo a través de los registros 3020,3000,3050 para los valores de voltajes, corrientes y potencia respectivamente.

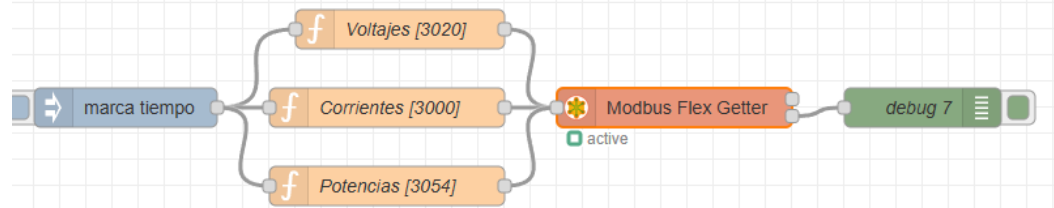


Figura 62. Adquisición de parámetros eléctricos. Fuente: Autoría Propia.

3.2.14.3 Comunicación entre la pasarela iot2000 y la interfaz remota.

Esta comunicación se realiza mediante dos conexiones MQTT: uno para las variables de control y otro para las variables de monitoreo. El bróker destinado a las variables de control se muestra en la figura 45, mientras que el envío de las variables de accionamiento desde la interfaz remota se ilustra en la figura 43, y su recepción en la pasarela se observa en la figura 44.

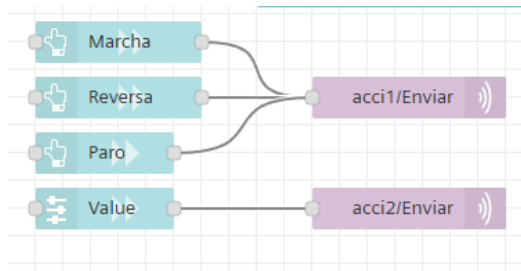


Figura 63. Envío de accionamiento por mqtt. Fuente: Autoría Propia.

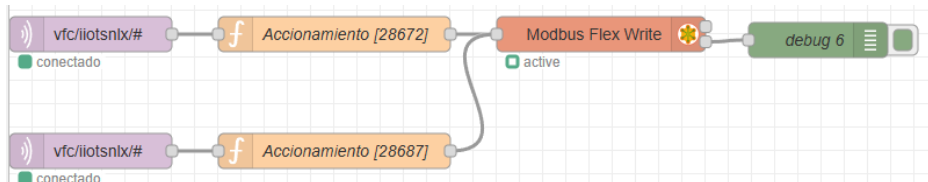


Figura 64. Recepción de accionamiento vía mqtt. Fuente: Autoría Propia

Username (prefixed by tenant)	Created	Last access time	Created by
iotsnlx/accr1	8/11/24, 22:55:13	9/11/24, 0:25:56	rvillon05@gmail.com
iotsnlx/acc2	8/11/24, 23:17:40	9/11/24, 0:25:56	rvillon05@gmail.com

Figura 65. Broker mqtt para variables de accionamiento. Fuente: Autoría Propia

Para el monitoreo de los parámetros eléctricos, se utiliza un bróker con certificado TLS (ver figura 39) para enviar datos de manera segura al activo “Conexion_Parametros” en la plataforma Insights Hub. Mediante nodos de comunicación Modbus, se accede a los valores de voltaje, corriente y potencia (ver figura 46), que luego se envían a la plataforma Insights a través de MQTT.

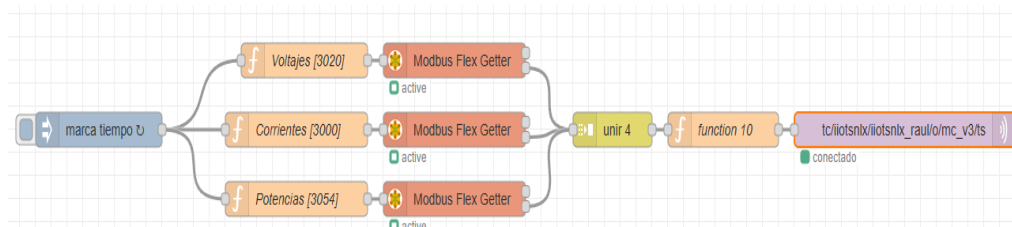


Figura 66. Adquisición y envío de parámetros eléctricos. Fuente: Autoría Propia.

Para acceder a los datos generados en el activo desde el bróker MQTT (ver figura 47), es necesario añadir un "datapoint", que actúa como la variable de enlace para transmitir datos desde la pasarela hacia la plataforma Insights Hub.

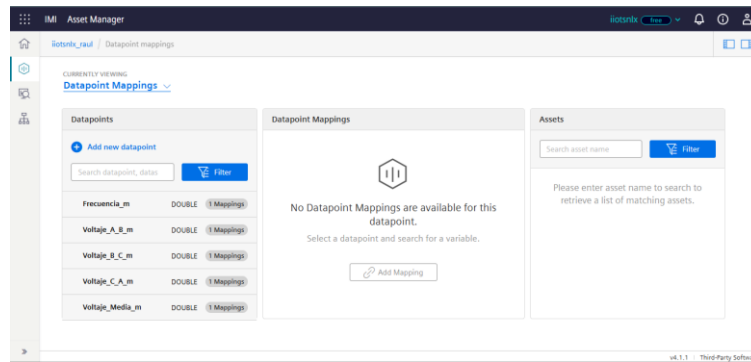


Figura 67. Crear Datapoint Mappings en insights hub. Fuente: Autoría Propia.

Para visualizar los parámetros, accedemos localmente al activo denominado "Conexión_Parametros" (ver figura 48), donde se encuentran almacenados los datos de estas variables.

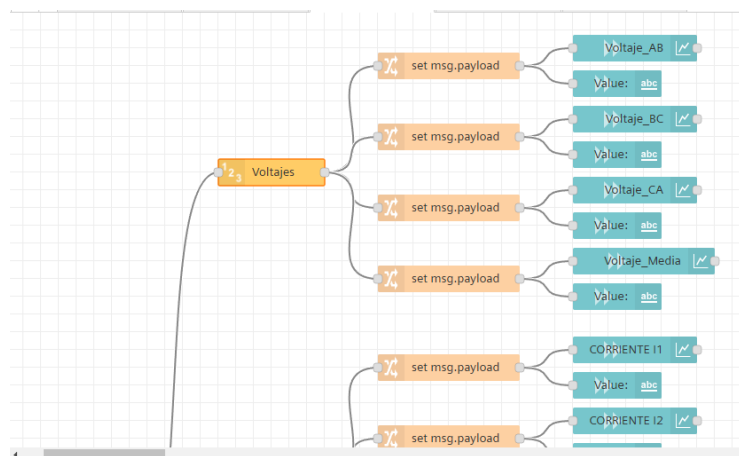


Figura 68. Visualizar parámetros en interfaz remota. Fuente: Autoría Propia.

3.2.15 Interfaz remota en plataforma Insights hub.

Esta interfaz consta de diversas pantallas que facilitan la supervisión, análisis, reporte y gestión del sistema. En la pantalla de "Parámetros Eléctricos" es posible observar todas las variables del medidor de parámetros (consulte la figura 49); en la pantalla de "Eventos" es posible examinar cada información de manera individual (consulte la figura 50); y en la pantalla de "Control" es posible modificar los parámetros del variador de

frecuencia (consulte la figura 51).

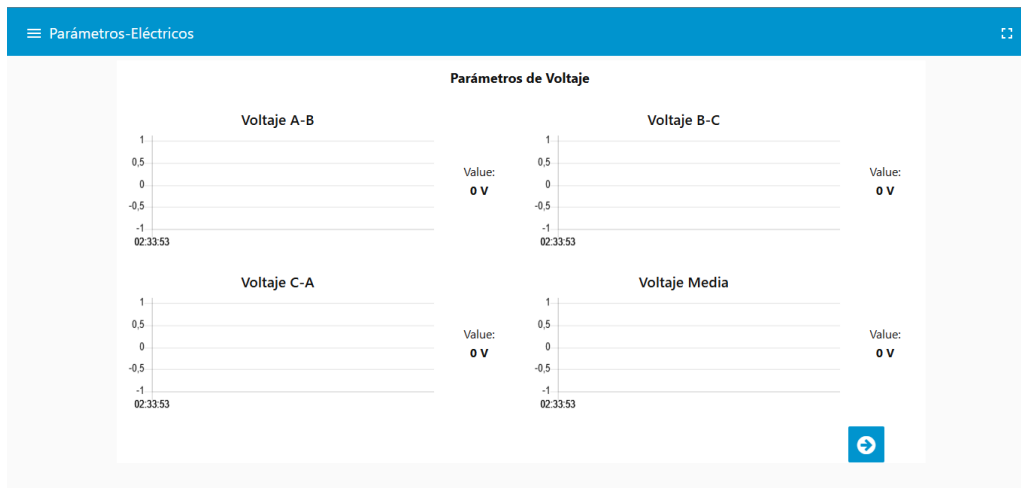


Figura 69. Plantilla para parámetros en interfaz remota. Fuente: Autoría Propia.

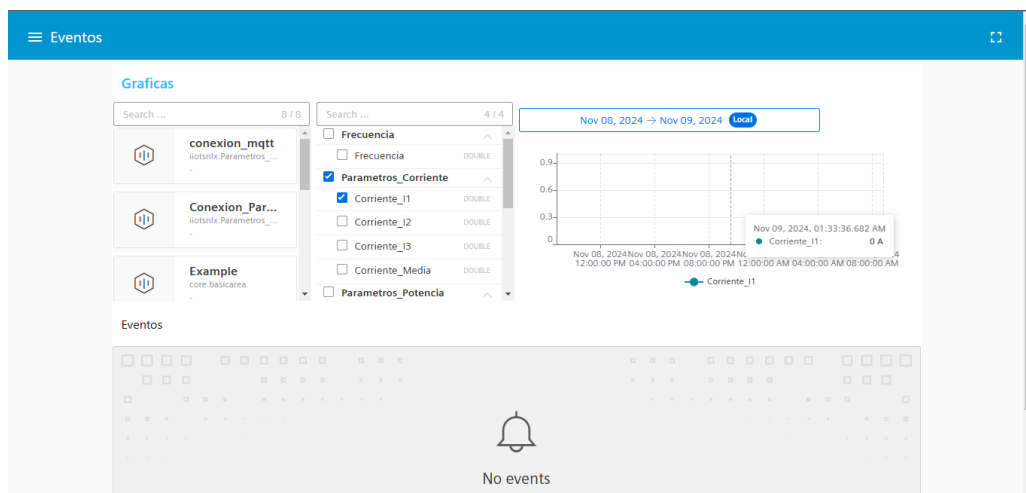


Figura 70. Plantilla para gráficas y eventos en interfaz remota. Fuente: Autoría Propia.



Figura 71. Plantilla para control de variador EM730. Fuente: Autoría Propia.

3.3 Pruebas y resultados

3.3.1 Pruebas y resultados en la red de comunicación de los equipos conectados a la pasarela iot2000

Para confirmar la comunicación entre los equipos de la red, se visita la terminal de la pasarela y se llevan a cabo pruebas de ping a las direcciones IP correspondientes a cada equipo, tal como se ilustra en la figura 20. Evaluación que posibilita verificar la transmisión y recepción de datos de cada dispositivo (ver figura 52), además de evaluar el tiempo de respuesta, garantizando de esta manera una adecuada conexión en la red.

```
Administrador: Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.19045.4529]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Windows\system32>ping 192.168.100.5

Haciendo ping a 192.168.100.5 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.100.5: bytes=32 tiempo<1m TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.5: bytes=32 tiempo<1m TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.5: bytes=32 tiempo<1m TTL=255
Respuesta desde 192.168.100.5: bytes=32 tiempo<1m TTL=255

Estadísticas de ping para 192.168.100.5:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 0ms, Máximo = 0ms, Media = 0ms
```

Figura 72. Ping a la dirección Ip del IDF9506. Fuente: Autoría Propia.

En los resultados logrados, la pasarela se vincula a las direcciones IP de una red local estable, garantizando así la no pérdida de paquetes de información. La latencia que se obtuvo es menor a 1 ms, evidenciando una comunicación ágil y eficaz entre los equipos de la red.

3.3.2 Pruebas y resultados de rendimiento de la pasarela iot2000.

La captura tomada de la terminal del dispositivo IoT2040 (véase la figura 73) nos muestra el uso de recursos mediante el comando top, por lo que nos permite visualizar el desempeño del sistema en términos de CPU y memoria. Esta evaluación es imprescindible para medir el rendimiento en proyectos de IIoT, esto permite identificar los procesos que requieren más recursos, afectando el desempeño del sistema en tiempo real.

```

192.168.200.1 - PuTTY
top - 04:21:44 up 1:10, 1 user, load average: 0.10, 0.13, 0.11
Tasks: 90 total, 1 running, 89 sleeping, 0 stopped, 0 zombie
%Cpu(s): 34.5 us, 3.3 sy, 0.0 ni, 62.2 id, 0.0 wa, 0.0 hi, 0.0 si, 0.0 st
MiB Mem : 859.4 total, 634.2 free, 98.6 used, 126.7 buff/cache
MiB Swap: 0.0 total, 0.0 free, 0.0 used, 741.8 avail Mem

  PID USER      PR  NI  VIRT  RES  SHR  S  %CPU  %MEM    TIME+  COMMAND
 362 root        20   0 225724 104596 23732 S   34.0  11.9   9:24.29 node-red
 756 root        20   0   3212   2208  1800 R    3.2   0.3   0:06.92 top
 751 root        20   0   6364   4224  3816 S    0.6   0.5   0:02.01 sshd
   3 root        20   0     0     0     0 S    0.3   0.0   0:00.23 ksoftirqd/0
  48 root        20   0     0     0     0 S    0.3   0.0   0:00.55 kworker/u2:1
 358 mosquit+  20   0  24236  4796  4288 S    0.3   0.5   0:11.40 mosquitto
 398 root        20   0  16136  2844  2328 S    0.3   0.3   0:11.25 tcf-agent
   1 root        20   0   2204  1276  1196 S    0.0   0.1   0:05.85 init
   2 root        20   0     0     0     0 S    0.0   0.0   0:00.02 kthreadd
   5 root        0 -20     0     0     0 S    0.0   0.0   0:00.00 kworker/0:0H
   7 root        20   0     0     0     0 S    0.0   0.0   0:02.96 rcu_preempt
   8 root        20   0     0     0     0 S    0.0   0.0   0:00.00 rcu_sched
   9 root        20   0     0     0     0 S    0.0   0.0   0:00.00 rcu_bh

```

Figura 73. Rendimiento de pasarela iot2040. Fuente: Autoría Propia.

Respecto al consumo de la CPU, se indica que el dispositivo posee una carga total del 34.5%, donde el 3.3% corresponde al sistema y el 0.3% corresponde a procesos en segundo plano. El proceso que produce la mayor carga es el de node-red, utilizando el 34.0% de la CPU, lo que señala que está realizando labores de procesamiento de alta intensidad.

En respecto a la memoria, el sistema posee un total de 859.4 MB, de los cuales 634.2 MB están disponibles. Por lo tanto, el proceso de node-red sobresale por su alto consumo, empleando el 11.9% de la memoria total, lo que se traduce en cerca de 104.5 MB de memoria residente.

Esta información subraya que el proceso node-red es el usuario principal de recursos en el IoT2040. Observación que es significativa para la creación y desarrollo de aplicaciones IIoT, en las que es necesario un aprovechamiento eficaz de los recursos para asegurar un manejo correcto de datos y una comunicación constante en tiempo real.

3.3.3 Pruebas y resultados en la comunicación entre pasarela y el bróker mqtt.

Para valorar la latencia y el desempeño del bróker MQTT, se realizan ensayos de transmisión de datos en diversos tamaños y cantidades. Por consiguiente, se hacen evaluaciones que facilitan el cálculo del tiempo de respuesta y confirman la existencia de posibles pérdidas de datos al gestionar grandes volúmenes de datos. Siendo objetivos, se llevan a cabo dos clases de pruebas: una examina el tiempo de respuesta al aumentar la cantidad de paquetes enviados (ver figura 53) y otra mide el efecto en la latencia al incrementar el tamaño de cada paquete (ver figura 54). Esto posibilita adquirir una perspectiva minuciosa del desempeño del bróker bajo diferentes condiciones de carga.

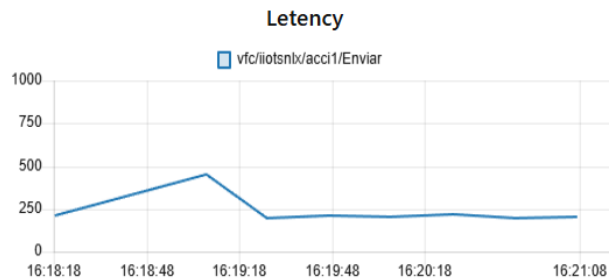


Figura 74. Latencia con respecto al número de paquetes. Fuente: Autoría Propia.

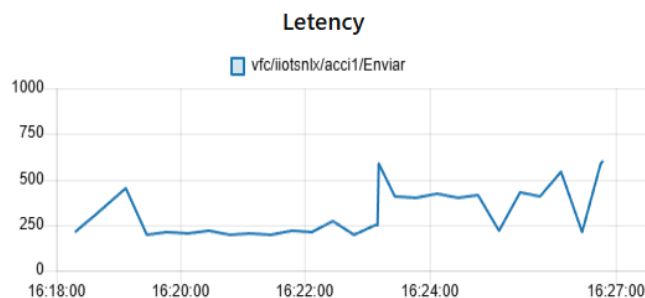


Figura 75. Latencia con respecto al tamaño de paquete. Fuente: Autoría Propia.

Los resultados de este análisis demuestran una correlación clara entre la capacidad del paquete y la latencia del sistema. En la Figura 53, en el momento en que se conserva el tamaño de los paquetes invariable, en la cual podemos observar una latencia bastante uniforme en el intervalo de milisegundos, lo que indica un desempeño óptimo del sistema en términos de tiempo de respuesta. Por otro lado, la Figura 54 nos muestra cómo cuando se modifica el tamaño de los paquetes, donde se puede notar una relación directa entre el aumento del tamaño y la prolongación del tiempo. En tanto a que los valores de latencia se mantienen en un margen razonable, los hallazgos señalan que el tamaño del paquete es un factor esencial en el rendimiento del sistema, requiriendo más atención en circunstancias donde se administren paquetes de gran tamaño.

3.3.4 Pruebas y resultados de confiabilidad del sistema IIoT.

Para llevar a cabo las pruebas de confiabilidad del sistema IIoT, se realizaron evaluaciones en escenarios específicos, donde los dispositivos fueron sometidos a fallos y reinicios controlados. Estos escenarios permitieron medir la capacidad del sistema para restablecer la comunicación de manera automática y rápida entre los dispositivos y la pasarela IIoT.

Los resultados obtenidos, resumidos en la tabla 14, muestran que los dispositivos restablecen la comunicación con la pasarela casi de inmediato tras una interrupción. Sin embargo, la pasarela requiere aproximadamente 3 minutos para reconectarse con la nube. Este tiempo de espera se debe a que el sistema operativo de la pasarela debe cargarse completamente antes de reestablecer la conexión remota.

Tabla 12. Prueba de confiabilidad del sistema. Fuente: Autoría Propia.

Métrica	Descripción	Unidad	medición
Disponibilidad	Porcentaje de tiempo que el sistema está operativo y accesible	% (porcentaje)	86,44
Tiempo de respuesta	Tiempo que tarda en enviar los datos la interfaz remota a la red local	ms (milisegundos)	598
Pérdida de datos	Cantidad de datos que se pierden en la transmisión	% (porcentaje)	1,05
Latencia del sistema IIoT	Tiempo que tarda en realizar una acción el sistema IIoT	ms (milisegundos)	810
Consistencia de datos	Porcentaje de datos que llega correctamente sin alteración	% (porcentaje)	98.5

3.3.5 Pruebas y resultados de control de variador de SINEE EM730 para el accionamiento del motor trifásico mediante interfaz remota

La pantalla de control desarrollada para el variador de frecuencia EM730 (véase la figura 56) permite al usuario gestionar de manera eficiente las operaciones de un motor trifásico, proporcionando tanto controles directos como información en tiempo real sobre el estado del sistema. La interfaz está organizada en tres secciones principales, lo cual facilita su uso y mejora la experiencia del operador. La primera sección, denominada Accionamiento 1, ofrece botones de control básicos para el motor, incluyendo opciones para activar el modo de marcha (avance), reversa y paro, además de opciones de trabajo específicas como "Job Adelante" y "Job Reversa", que permiten ejecutar ciclos preprogramados en ambos sentidos de rotación.

La segunda sección, llamada Accionamiento 2, permite ajustar la frecuencia de operación del motor en Hz mediante un control deslizante, lo que determina la velocidad del motor y permite un control preciso en aplicaciones que requieren regulación de velocidad. Por último, en la sección de Estado del Sistema, el usuario puede visualizar el estado actual del motor, incluyendo indicadores de marcha o reversa, y la frecuencia de operación en tiempo real. También se presenta una tabla con los principales datos técnicos del motor, tales como el número de fases, el voltaje de alimentación, la corriente consumida, la potencia nominal, la frecuencia operativa, la velocidad en RPM y el factor de potencia.



Figura 76. Monitoreo y control de variador de frecuencia por interfaz remota. Fuente: Autoría Propia.

3.3.6 Pruebas y resultados del monitoreo de parámetros eléctricos de un motor trifásico mediante la interfaz remota.

Las figuras 57 y 58 muestran las gráficas de los principales parámetros eléctricos de un motor trifásico, permitiendo analizar su comportamiento en tiempo real. Estas incluyen variables clave como voltaje, corriente, potencia y frecuencia, esenciales para el monitoreo y diagnóstico del motor.

La **tensión** entre fases (A-B, B-C y C-A), junto con el promedio, permite identificar desequilibrios y caídas de voltaje que afectan el rendimiento. La **corriente** refleja la demanda eléctrica y puede indicar cambios en la carga o posibles fallas. La **potencia** muestra el consumo energético, crucial para evaluar la eficiencia y evitar sobrecargas. La **frecuencia** indica la velocidad de operación, cuya estabilidad es fundamental para el control adecuado del sistema.

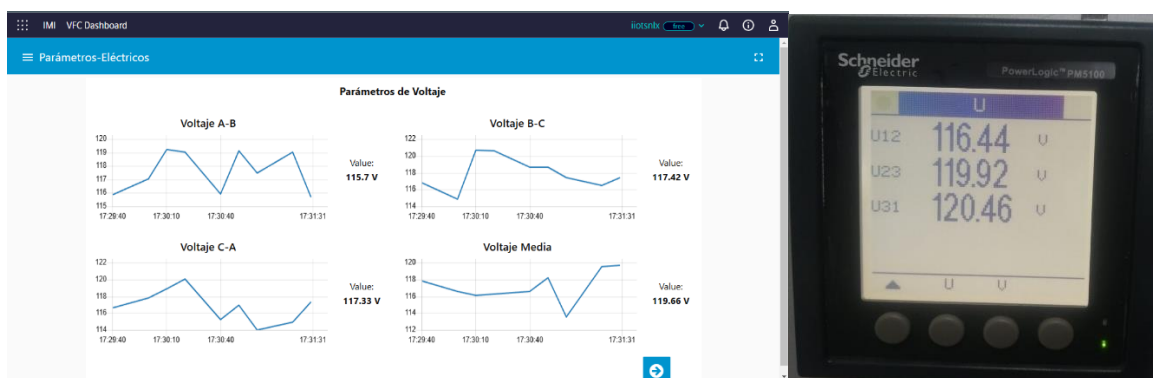


Figura 77. Monitoreo de parámetros de voltaje mediante la interfaz remota y el PM5100. Fuente: Autoría Propia

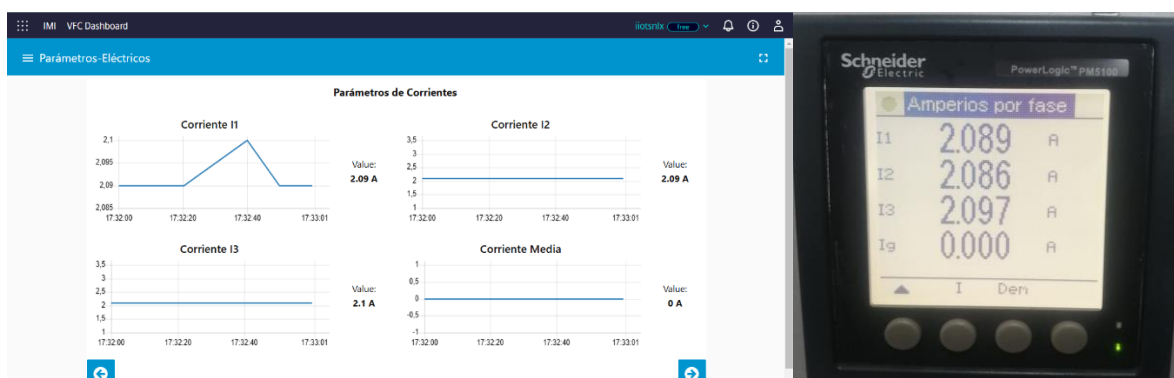


Figura 78. Monitoreo de parámetros de corriente mediante la interfaz remota y el PM5100. Fuente: Autoría Propia

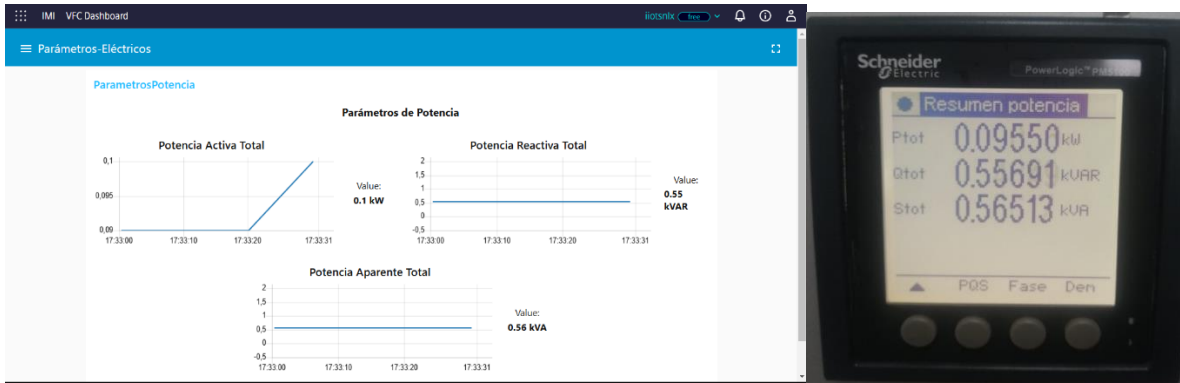


Figura 79. Monitoreo de parámetros de Potencia mediante la interfaz remota y el PM5100. Fuente: Autoría Propia

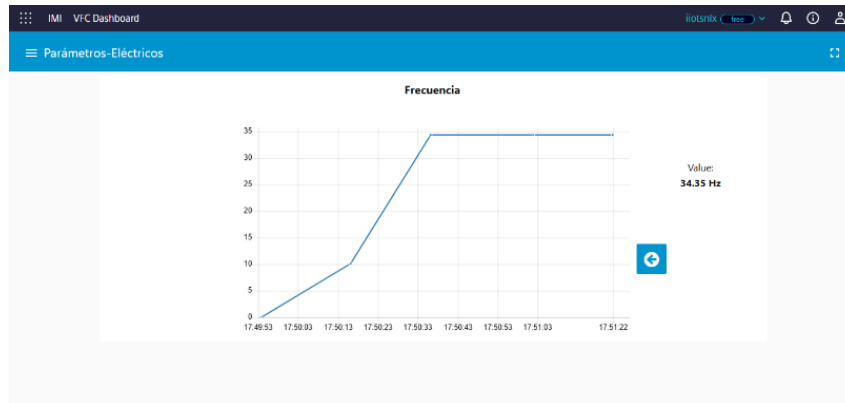


Figura 80. Monitoreo de parámetros de Frecuencia mediante la interfaz remota. Fuente: Autoría Propia

3.3.7 Pruebas y resultados de graficas de series temporales y eventos del variador de frecuencia

La figura 61 muestra una interfaz que permite acceder a datos históricos de variables monitoreadas dentro de un rango de fechas específico. En la parte superior, se observa un gráfico que detalla los cambios en la frecuencia registrados durante las pruebas realizadas, esta información seleccionada sirve para generar un reporte el cual podemos introducir el correo destinatario. Además, en la parte inferior, se muestra un registro de sucesos que contiene datos acerca de las normas establecidas en el sistema, con descripciones concretas de alertas, como "Frecuencia que excede el rango permitido" (consulte la figura 62). Esta pantalla facilita tanto la vigilancia visual de las variables como el monitoreo de sucesos pertinentes para la gestión y supervisión del sistema.

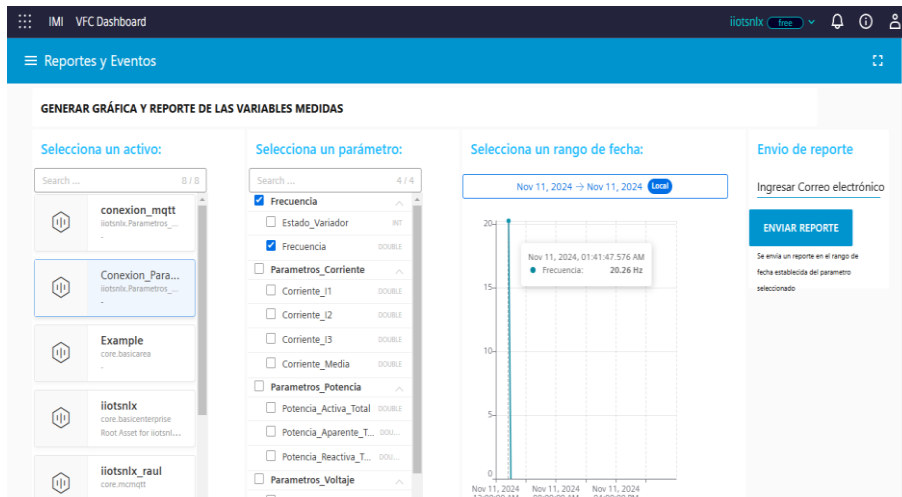


Figura 81. Gráficas y eventos del sistema IIoT. Fuente: Autoría Propia

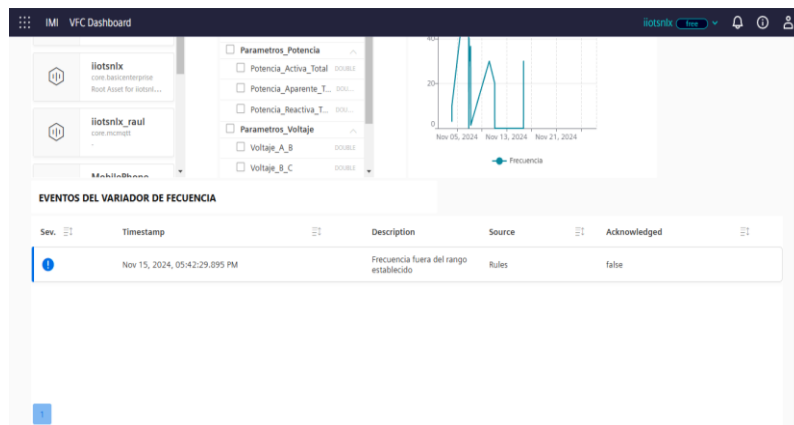


Figura 82. Eventos del variador de frecuencia. Fuente: Autoría Propia.

3.3.8 Pruebas y resultados de notificación de eventos de acciones en el motor trifásico.

Un sistema IIoT permite monitorear y controlar procesos industriales, con la ventaja de notificar en tiempo real eventos críticos o acciones realizadas en el sistema. Esto garantiza operaciones más seguras y eficientes. Las notificaciones pueden enviarse por diversos medios, como correos electrónicos, SMS o aplicaciones móviles, facilitando que los operadores reciban alertas sin importar su ubicación.

En esta sección, se llevaron a cabo pruebas para evaluar el sistema de notificación de eventos en el motor trifásico. Se configuraron reglas específicas para detectar condiciones críticas, como desviaciones en la frecuencia o el estado del variador de frecuencia. Ante cualquier irregularidad, el sistema generó notificaciones inmediatas enviadas por correo electrónico al personal responsable.

Estas pruebas demostraron la efectividad del sistema al permitir respuestas rápidas frente a anomalías, lo que contribuye a mantener la seguridad, continuidad y desempeño óptimo de las operaciones industriales.

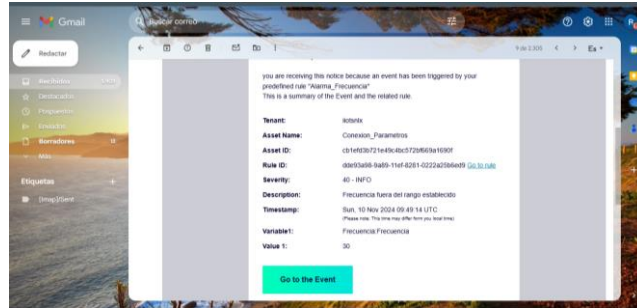


Figura 83. Notificación de evento por correo electrónico. Fuente: Autoría Propia

3.8.9 Pruebas y resultados de reportes de medición de parámetros eléctricos del sistema IIoT.

Un aspecto fundamental del sistema IIoT implementado es su capacidad para registrar y analizar variables eléctricas como voltaje, corriente y potencia. Esto permite identificar tendencias, detectar anomalías y realizar ajustes en el sistema. Para facilitar esta tarea, se desarrolló un mecanismo automatizado que genera reportes periódicos con los datos recopilados y los envía por correo electrónico a los usuarios clave (véase la figura 63).

Estos reportes, estructurados en formatos accesibles como hojas de cálculo de Excel, organizan la información en tablas detalladas para su fácil análisis (véase la figura 64). Las pruebas confirmaron que el envío de reportes se realiza de manera eficiente y puntual, permitiendo a los operadores disponer de un resumen claro de las mediciones, estadísticas relevantes, gráficos de tendencias y alertas sobre posibles anomalías. El sistema emplea servicios de correo electrónico basados en protocolos como SMTP, integrados con herramientas como Node-RED o plataformas en la nube, automatizando la entrega y permitiendo la personalización de la frecuencia y el contenido de los reportes según las necesidades del usuario. Esto mejora la capacidad de toma de decisiones en tiempo real y el monitoreo continuo del sistema

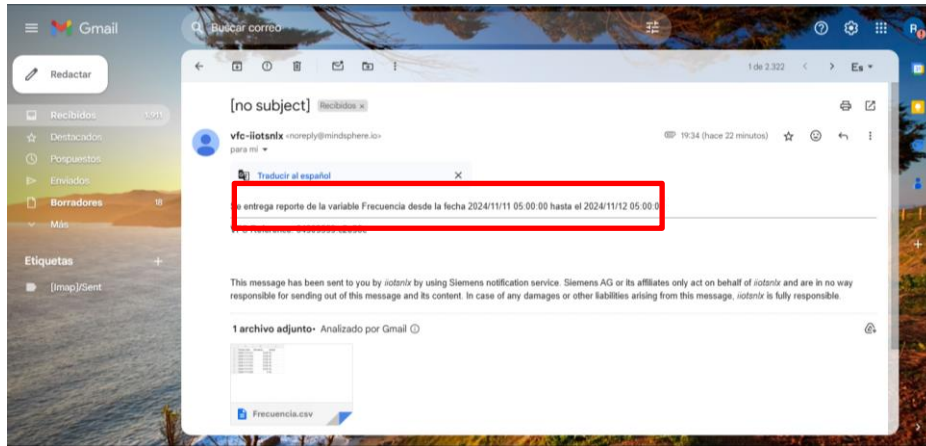


Figura 84. Reporte de variables por correo electrónico. Fuente: Autoría Propia

Figura 85. Archivo adjunto del reporte. Fuente: Autoría Propia

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Algunas características que resaltaron en la prueba de rendimiento de la pasarela IOT2040, fueron el uso de ram del 11.9% (98.6 MB en uso de 859,4 MB) y el uso del CPU del 34,4%. Estos datos se obtuvieron en pruebas realizadas en una red local con protocolos de comunicación modbus y profinet, a diferentes velocidades de comunicación entre los diferentes dispositivos. Los resultados demostraron que la pasarela tiene capacidades de procesamiento de información para un proceso industrial a diferentes escalas.
- Al integrar la comunicación a través de registros Modbus para la identificación de las variables eléctricas del motor, a través de una pasarela inteligente, se realizó un tiempo de respuesta de menos de 1 milisegundo. Esta clase de desempeño altamente adecuado

es ideal para redes industriales, en las que la velocidad de transmisión de datos es vital para garantizar la sincronización y el control en tiempo real de los procesos. La presente actuación sobresaliente evidencia que la pasarela es ideal para usos industriales que demandan alta precisión y exactitud.

- La pasarela posee la capacidad de ejecutar varias funciones en la plataforma Node-RED, que, a través de nodos como "modbus-contrib", facilita la comunicación con el servidor Modbus usando su dirección IP. Procedimiento de recolección de datos es destacado por su eficacia, evidenciando una disminución del 3% en la pérdida de información y una consistencia del 98,7%. Adicionalmente, la versatilidad de Node-RED permite la incorporación de nuevos nodos y la adaptación de los flujos de trabajo, optimizando de esta manera la administración y el estudio de datos en tiempo real en contextos industriales.
- La pasarela IIot es capaz de comunicarse remotamente con diferentes opciones, entre esas la más destacada en estos tipos de sistema la comunicación Mqtt. Las respuestas de envío y recepción en las pruebas fueron de 200 ms con un tamaño de paquete menor a los 10000 bytes con valores mayor dio como resultado 598 ms. Con esta prueba se puede concluir para el control una respuesta inmediata a los accionamientos del variador de frecuencia, mientras que para la parte de monitoreo la cantidad de variables que se enviaron a la plataforma remota mantuvieron su consistencia con respecto a sus valores reales.
- Un sistema IIoT puede tener varios complementos para el análisis de los parámetros eléctricos, uno de esos es analizar los cambios de estas variables a través de graficas en un rango de tiempo determinado, para esto se accede a la información de estas en la nube, logrando visualizar los cambios que se presentaron dentro de 30 min en los parámetros eléctricos, con valores que se muestran en la figura 61, donde podemos ver la variación de frecuencia del motor trifásico.
- Otro aspecto de un sistema IIoT es poder mantener informado al operario en diferentes modos, esto se logra a través de notificación de eventos de accionamiento del variador donde podemos observar a través de correo electrónico, reglas establecidas para el proceso. En este sistema IIOT se establecieron reglas para el accionamiento de motor, dando como resultado la notificación de una frecuencia límite establecida y el estado del motor. Además, el sistema es capaz de enviar un reporte con las lecturas dentro de

un rango de tiempo deseado por medio de email, este resultado lo podemos ver en la figura 64.

4.2 Recomendaciones

La selección de componentes y software se debe basar en un estudio de sus propiedades técnicas, compatibilidad, desempeño y habilidad para ser escalados. Es vital valorar cada alternativa basándose en estos criterios para garantizar que los elementos escogidos no solo cumplan con las demandas presentes del proyecto, sino que también sean capaces de ajustarse a futuros progresos y progresos tecnológicos.

Durante las fases iniciales del proyecto, es recomendable emplear instrumentos que muestren una baja curva de aprendizaje. Esto nos simplificará la adopción de los usuarios, facilitándoles una rápida familiarización con las tecnologías emergentes y reducirá el tiempo requerido para lograr la operatividad completa del sistema.

La plataforma IIoT elegida debe ser capaz de integrar una variedad de dispositivos y protocolos de comunicación, garantizando así la interoperabilidad del sistema. Esto asegurará que todos los componentes del sistema puedan comunicarse de manera efectiva y coordinada, optimizando el rendimiento general del entorno industrial.

La selección de los métodos de comunicación debe tener en cuenta varios factores clave, como la latencia, el ancho de banda, la seguridad y los requisitos normativos. Es esencial evaluar cómo cada método se ajusta a las necesidades específicas del proyecto y garantizar que cumpla con los estándares y regulaciones pertinentes, para mantener la integridad y eficiencia del sistema.

La implementación de medidas de seguridad robustas, tales como firewalls, encriptación y autenticación de dos factores, es fundamental para proteger el sistema de posibles ciberataques. Estas medidas deben ser revisadas y actualizadas periódicamente para asegurar que el sistema esté siempre protegido contra las amenazas más recientes.

Un plan de mantenimiento preventivo es crucial para detectar y corregir problemas de manera proactiva, evitando fallos inesperados y maximizando la disponibilidad del sistema. Este enfoque no solo mejora la fiabilidad del sistema, sino que también extiende la vida útil de los componentes y reduce los costos asociados con reparaciones de emergencia.

Firmas de responsabilidad

Firma de Responsabilidad del Estudiante

Nombre: Villon Tomalá Raúl Jair

Cédula: 2450109638



Firma

Firma de Responsabilidad del Profesor o Tutor Propuesto

Nombre: Ing. Gómez Morales Óscar Wladimir, Mgt

Cédula:

OSCAR
WLADIMIR
GOMEZ
MORALES

Firmado digitalmente por OSCAR
WLADIMIR GOMEZ MORALES
DN: cn=OSCAR WLADIMIR GOMEZ
MORALES gn=OSCAR WLADIMIR c=EC
l=TAMBILLO ou=Certificado Persona
Natural EC (FIRMA)
e=oscargomez@yahoo.com
Motivo: Soy el autor de este documento
Ubicación:
Fecha: 2024-12-01 09:57:05:00

Firma

BIBLIOGRAFIA

- [1] “Historia y evolución de la comunicación industrial | Redes industriales.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://netcloudengineering.com/historia-comunicacion-industrial/>
- [2] R. C. Dorf and R. H. Bishop, “Sistemas de control,” *Sistemas de control moderno*, no. 1, p. 882, 2005, [Online]. Available: http://books.google.com/books?id=mw_8nQEACAAJ&pgis=1
- [3] A. Jesús González García, J. López, V. Xavi, and V. Guillen, “IoT: Dispositivos, tecnologías de transporte y aplicaciones,” 2017.
- [4] “Iot en la Industria 4.0 ¿Qué papel juega actualmente? | Nuclio School.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://nuclio.school/blog/el-iot-en-la-industria-4/>
- [5] A. Valencia and P. Portilla, “Internet Industrial de las Cosas (IIOT): Nueva Forma de Fabricación Inteligente”.
- [6] “Internet industrial de las cosas (IIoT) Volumen del mercado.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/industrial-internet-of-things-iiot-market/market-size>
- [7] “Redefinir estrategias de negocios con IoT - Código IoT.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.codigoiot.com/redefinir-estrategias-de-negocios-con-iot/>
- [8] “¿Qué es el IIoT? Definición y detalles.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.paessler.com/es/it-explained/iiot>
- [9] “Sistemas Industriales Distribuidos”.
- [10] G. B. López and L. E. Velasteguí, “Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0,” *AlfaPublicaciones*, vol. 3, no. 3.1, pp. 98–115, Aug. 2021, doi:

10.33262/ap.v3i3.1.80.

- [11] “Protocolos y arquitecturas en entornos IIoT | INCIBE-CERT | INCIBE.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/protocolos-y-arquitecturas-en-entornos-iiot>
- [12] “IIoT y sistemas de control: oportunidades, desafíos y arquitecturas.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5075/507555085001/html/>
- [13] V. F. Casanova Calvo, “Sistemas de control basados en red. Modelado y diseño de estructuras de control,” 2005, Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=17969&info=resumen&idioma=SPA>
- [14] J. Gabriel, M. Bustos, L. Alejandro, and T. Sarmiento, “THE PLC AND INDUSTRIAL COMMUNICATIONS”.
- [15] W. Tomásí, “Sistemas de comunicaciones electrónicas,” p. 935, 2003, Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: https://books.google.com/books/about/Sistemas_de_comunicaciones_electr%C3%B3nicas.html?hl=es&id=_2HCio8aZiQC
- [16] Manuel. Castells and Carmen. Martínez Gimeno, “La era de la información. Economía, sociedad y cultura (Vol I: La sociedad red).,” p. 506, 1997.
- [17] “¿Qué son las Topologías de Red? – Mtro. Fernando Arciniega.” Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <https://fernandoarciniega.com/que-son-las-topologias-de-red/>
- [18] J. M. Gallegos Ramírez and E. H. Delgado Guerrero, “Diseño e implementación de una red industrial Modbus para el control de actuadores trifásicos en el laboratorio de fabricación flexible.,” 2015, Accessed: Oct. 03, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10386>
- [19] A. E. García Gu0érrez, “Tema 02. Interconexión de Redes Protocolos de Interconexión de Redes Este tema se publica bajo Licencia: CreaHve Commons BY-NC-SA 3.0”.
- [20] “Universidad de Alcalá Escuela Politécnica Superior,” 2019.
- [21] C. De, I. Electrónica, W. Omar, and M. Erazo, “Sistema IIoT por medio de una plataforma basada en la nube para la automatización del termotanque de la empresa

- Ecuapanel,” 2022, Accessed: Oct. 04, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22221>
- [22] K. A. Mendoza Zambrano and A. D. Larco Gómez, “Diseño y automatización del proceso de sellado de fundas plásticas y monitorización de producción en tiempo real,” 2021, Accessed: Oct. 04, 2024. [Online]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56828>
- [23] C. Estrada, D. Eloisa, G. Guagua, and Z. Beatriz, “Implementación de la pasarela inteligente IoT 2040 de Siemens para el monitoreo de la Planta MPS PA Compact Workstation de Festo,” 2024, Accessed: Oct. 04, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28185>
- [24] S. Elena, “Universidad Estatal Península De Santa Elena Facultad De Sistemas Y Telecomunicaciones Título Del Trabajo De Titulación,” 2023.
- [25] “SINEE Chinese VFD,Dedicated VFD,Servo System, Solar Pump Inverter Manufacturer.” Accessed: Oct. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.sineedrive.com/>
- [26] “SIMATIC IOT2040 6ES76470AA001YA2 — Tech Dealio.” Accessed: Oct. 04, 2024. [Online]. Available: <https://techdealio.com/products/simatic-iot2040>
- [27] S. A. Cooperates, T. I. A. P. Module, and S. Iot, “Learn - / Training Document,” 2018.
- [28] “Tarjeta de memoria Adata MicroSD 32GB, 80MB/s, slot 10, con adaptador.” Accessed: Oct. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.pni.es/tarjeta-de-memoria-adata-microsd-32gb-80mb-s-slot-10-con-adaptador.html>
- [29] C. Schulkey, “Setting Up the Settings,” *Getting to Work with the Avid S6*, pp. 31–38, 2021, doi: 10.4324/9781003111801-6.
- [30] “Cade Simu – Web sobre el programa Cade Simu, el mejor software de creacion de circuitos electronicos de internet.” Accessed: Oct. 05, 2024. [Online]. Available: <https://cade-simu.com/>
- [31] “Win32 Disk Imager - Download [Official Site].” Accessed: Oct. 05, 2024. [Online]. Available: <https://win32diskimager.org/>
- [32] “Download PuTTY - a free SSH and telnet client for Windows.” Accessed: Oct. 05,

2024. [Online]. Available: <https://www.putty.org/>

- [33] “Delta | Download Center.” Accessed: Oct. 05, 2024. [Online]. Available: https://downloadcenter.deltaww.com/en-US/DownloadCenter?v=1&dataType=8&q=DOPSoft&sort_expr=cdate&sort_dir=DESC
- [34] “Portal de automatización totalmente integrada - Siemens AR.” Accessed: Oct. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.siemens.com/ar/es/productos/automatizacion/software-industrial/tia-portal.html>
- [35] “Wireshark · Download.” Accessed: Oct. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.wireshark.org/download.html>
- [36] K. E. TIGRE CHITACPA and J. D. ZUMBA ARICHAVÁLA, *Estudio De La Pasarela Inteligente Iot 2040 De Siemens Y Desarrollo De Un Manual De Prácticas De Laboratorio Orientadas Al Aprendizaje De Los Sistemas De Automatización*. 2022.
- [37] “Introducción a Node-Red en Internet de las Cosas - Código IoT.” Accessed: Oct. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.codigoiot.com/curso/introduccion-a-node-red/>
- [38] “Introducción - Documentación para desarrolladores.” Accessed: Oct. 04, 2024. [Online]. Available: <https://documentation.mindsphere.io/MindSphere/apps/insights-hub-edge-analytics/introduction.html>

ANEXOS

Anexo 1. Manual de prácticas realizadas en el sistema IIoT

	GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO	
CARRERA: Ingeniería en Electrónica y automatización		
NRO.PRÁCTICA:	1	TÍTULO PRÁCTICA: “Lectura de parámetros eléctricos en una plataforma IIoT”
OBJETIVOS:		
<ul style="list-style-type: none"> •Establecer la comunicación entre pasarela iot y insights hub. •Adquisición de datos del PM5100 a través de nodos. •Mostrar series temporales de las variables. 		
INSTRUCCIONES:	1.Crear un activo en la plataforma insights hub.	
	2.Crear un certificado CA para comunicación mqtt.	
	3.Adquirir datos en la pasarela iot 2000.	
	4.Seguir las instrucciones que se detallan en esta práctica.	
MATERIALES:		
<ul style="list-style-type: none"> •Una pasarela Iot2000 •Un convertidor IFD9506Delta •Un medidor de parámetros PM5110 Schneiderelectric •Software Node-Red •Software Insights hub 		
DESCRIPCIÓN:		
<p>En esta práctica, se obtendrán los datos del medidor de parámetros con la comunicación entre el convertidor IFD9506 y la pasarela iot2000, utilizando nodos de comunicación modbus. Estos datos son enviados a través de un bróker mqtt que la plataforma Insights hubs nos permite crear. En la cual se manejarán estos datos para mostrarlos en una interfaz.</p> <p>La figura muestra el esquema de conexiones de la práctica.</p>		
Figura 86. Esquema practica IIoT 1. Fuente: Autoría Propia		

Paso 1

Primero se crea un activo donde se ingresarán los datos de las variables del medidor de parámetro.

Para esos debemos manejar la herramienta de Asset Manager de la plataforma insights hub, en la cual creamos tipo, aspecto y un activo (véase la figura).

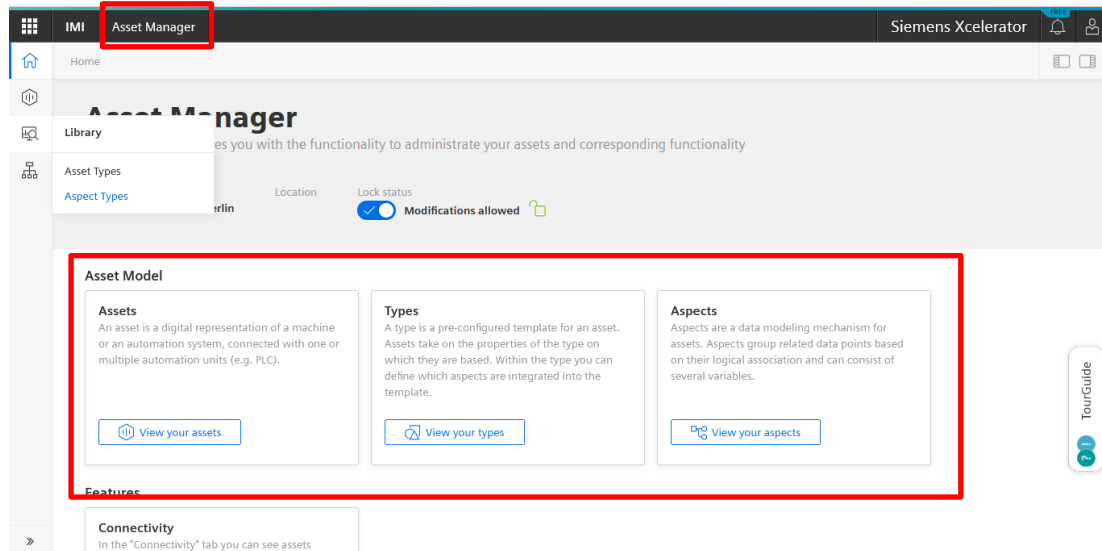


Figura 87. Herramienta Asset Manager de Insights Hub. Fuente: Autoría Propia

Crear un Aspecto. En este apartado creamos cada variable con el nombre, la unidad de medida y el tipo de variable como se muestra en la figura, se crear 4 grupos de tipos donde están las variables de voltaje, corriente y potencia (véase la figura 68).

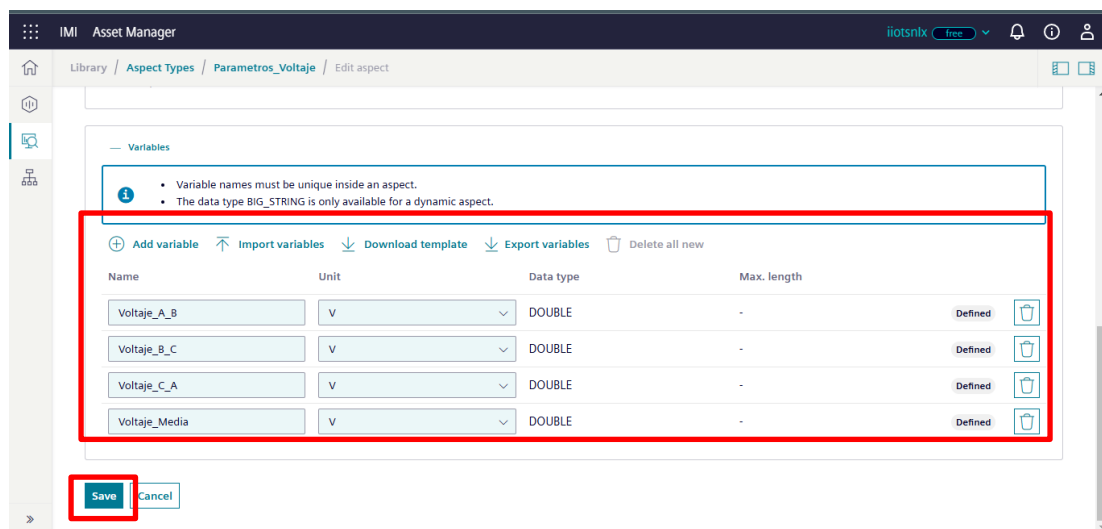


Figura 88. Creación de un Aspecto en Insights hub. Fuente: Autoría Propia

Crear un tipo. En este apartado creamos un tipo donde se reúnen los grupos de parámetros anteriormente creados, el cual es creado con el nombre "Parametros Electricos" (véase la figura 69).

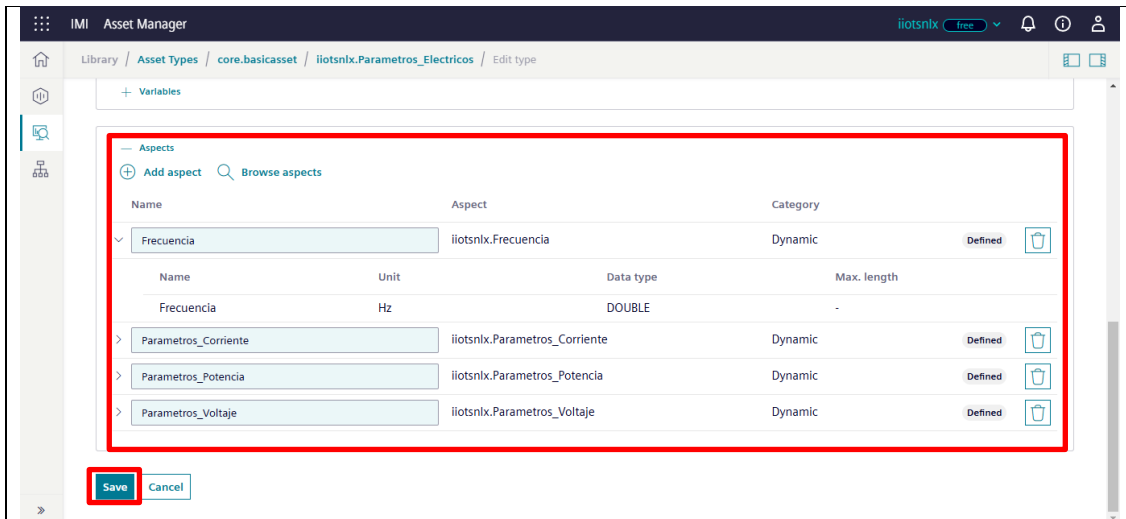


Figura 89. Creación de un Tipo en Insights hub. Fuente: Autoría Propia

Crear un activo. El activo enlazar el tipo creado y poder manipular estas variables, es la de enlace que nos permitirá almacenar los datos de las variables del medidor de parámetros.

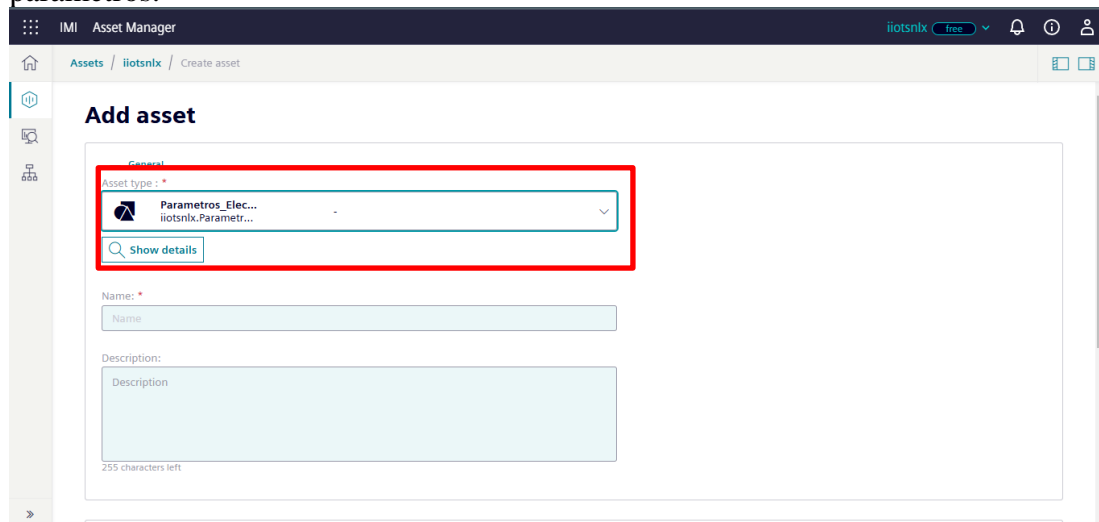


Figura 90. Creación de un Aspecto en Insights hub. Fuente: Autoría Propia

Paso 2

Para conectar este activo mediante mqtt y poder ingresar valores de manera remota, necesitamos crear un bróker mqtt con certificados CA (véase la figura 71).

Para eso nos dirigimos a la herramienta “Asset Manager” y en el apartado “MQTT Certificates”

Al crear esta conectividad se descargarán dos archivos necesarios para configurar el dispositivo suscriptor.

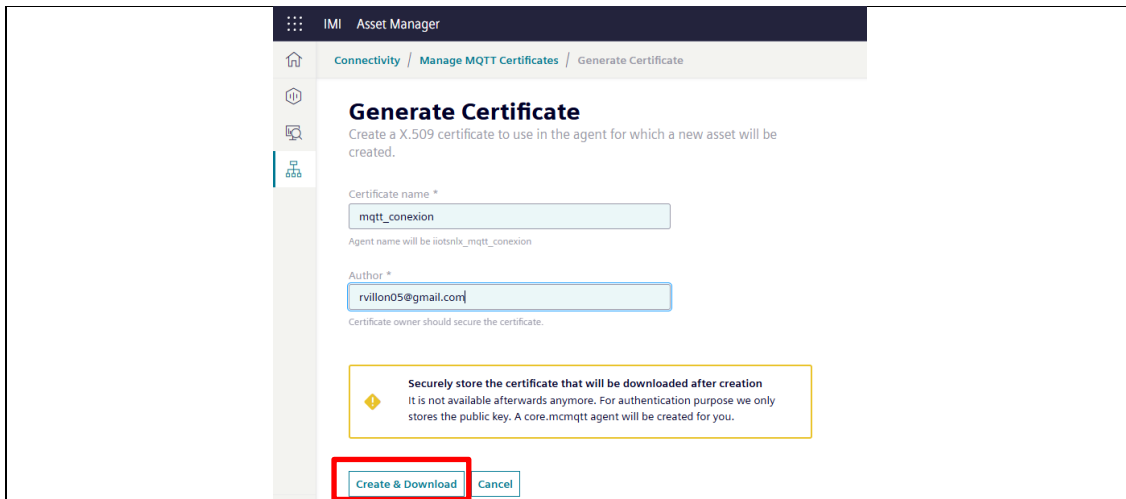


Figura 91. Creación de certificado MQTT. Fuente: Autoría Propia

Una vez creado el certificado debemos enlazar el activo “Parametros_Electricos” al bróker mqtt “iiotsnlx_raul” como se ve en la figura 72.

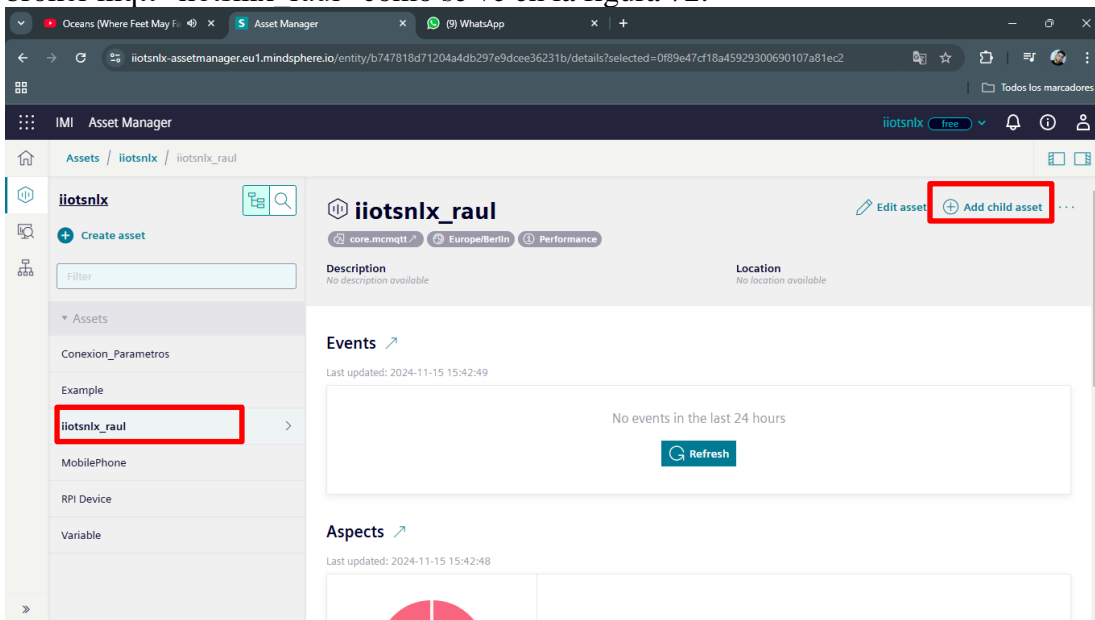


Figura 92. Activo "Conexion_Parametros" enlazado con bróker MQTT “iiotsnlx_raul”. Fuente: Autoría Propia

Crear punto de acceso para cada variable en el bróker mqtt con el fin de poder ingresar valores desde un suscriptor.

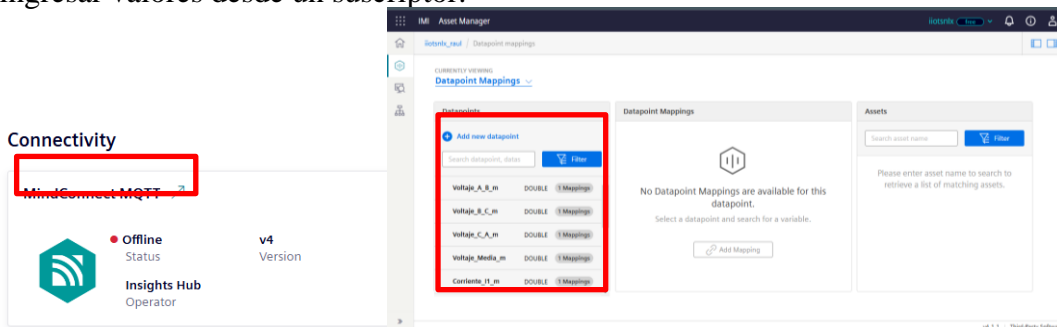


Figura 93. Datapoint para acceso remoto de las variables. Fuente: Autoría Propia

Paso 3

En software node red de la pasarela debemos adquirir los valores a través de nodos de comunicación modbus como se muestra en la figura 74 y las configuraciones de los nodos desde la figura 75 hasta la. Donde mediante una función hacemos una petición a través de los registros de los valores del medidor de parámetro, es peticiones se harán dependiendo el intervalo de tiempo asignado en el nodo inject.

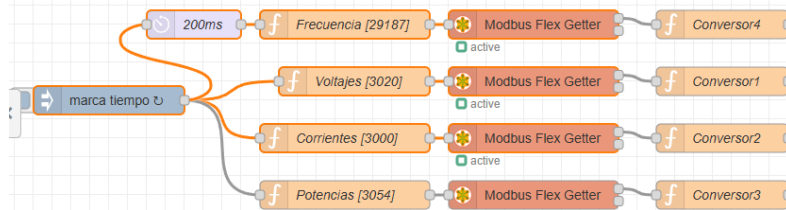


Figura 94. Adquisición de parámetros mediante nodos modbus. Fuente: Autoría Propia.

```
1 msg.payload = { value: msg.payload, 'fc': 3, 'unitid': 3, 'address': 3019, 'quantity': 10 }
2 return msg
```

Figura 95. Configuración de nodo "Frecuencia [29187]". Fuente: Autoría Propia

Figura 96. Configuración de nodo "Modbus Flex Getter". Fuente: Autoría Propia.

```
let low3 = msg.payload[7];
let high3 = msg.payload[6];

// Intercambio de bytes para Little-Endian
let swapped3 = (high3 << 16) | low3;

// Convertir el valor a flotante de 32 bits
let buffer3 = Buffer.alloc(4);
buffer3.writeInt32LE(swapped3);

// Obtener el valor flotante
let floatVal3 = buffer3.readFloatLE(0);

let dato4 = parseFloat(floatVal3.toFixed(2));

const values = {
  "Voltajes": {
    "Voltaje_A_B": dato1,
    "Voltaje_B_C": dato2,
    "Voltaje_C_A": dato3,
    "Voltaje_Media": dato4
  }
};

msg.payload = values;
```

Figura 97. Configuración de nodo "Conversor1". Fuente: Autoría Propia

Como siguiente paso es unir esos datos, debido a que el nodo join une los datos dependiendo de cómo lleguen, se usa una función para organizar dichas variables, luego se le da un formato específico para guardar valores en la plataforma IIoT, mediante el nodo mqtt enviamos estas series temporales



Figura 98. Esquema de envío mediante MQTT. Fuente: Autoría Propia

Figura 99. Configuración de nodo "Join". Fuente: "Autoría Propia"

```
// Variables que deseas buscar
const voltajes = buscarObjetoPorClave(msg.payload, "Voltajes");
const corrientes = buscarObjetoPorClave(msg.payload, "Corrientes");
const potencias = buscarObjetoPorClave(msg.payload, "Potencias");
const frecuencia = buscarObjetoPorClave(msg.payload, "Frecuencia");
// Agregar los resultados al mensaje para utilizarlos en el flujo
msg.voltajes = voltajes ? voltajes.Voltajes : null;
msg.corrientes = corrientes ? corrientes.Corrientes : null;
msg.potencias = potencias ? potencias.Potencias : null;
msg.frecuencia = frecuencia ? frecuencia.Frecuencia : null;

// Si deseas continuar trabajando con un 'payload' simplificado, puedes ajustar msg.payload:
msg.payload = {
  Voltajes: msg.voltajes,
  Corrientes: msg.corrientes,
  Potencias: msg.potencias,
};
```

Figura 100. Configuración de nodo "Organizador". Fuente: Autoría Propia

```
const dato5 = msg.payload.Corrientes?.Corriente_I1 || 0;
const dato6 = msg.payload.Corrientes?.Corriente_I2 || 0;
const dato7 = msg.payload.Corrientes?.Corriente_I3 || 0;
const dato8 = msg.payload.Corrientes?.Corriente_Media || 0;

const dato9 = msg.payload.Potencias?.Potencia_Activa_Total || 0;
const dato10 = msg.payload.Potencias?.Potencia_Reactiva_Total || 0;
const dato11 = msg.payload.Potencias?.Potencia_Aparente_Total || 0;

const dato12 = msg.payload.Frecuencia?.Frecuencia || 0;

const values = {
  "timeseries": [
    {
      "timestamp": msg._time,
      "values": [
        {
          "dataPointId": "Voltaje_A_B_m",
          "value": dato1,
          "qualityCode": "0"
        },
        {
          "dataPointId": "Voltaje_B_C_m",
          "value": dato2,
          "qualityCode": "0"
        }
      ]
    }
  ]
};
```

Figura 101. Configuración de nodo "TimeSeries". Fuente: Autoría Propia.

Figura 102. Configuración de nodo MQTT. Fuente: Autoría Propia.

Paso 3

Los cambios que presentan las variables la podemos ver a través de la herramienta "Monitor" de insights hub, tenemos que seleccionar el activo, la variable a supervisar y el rango de fecha la demostración se ve en la figura 83.

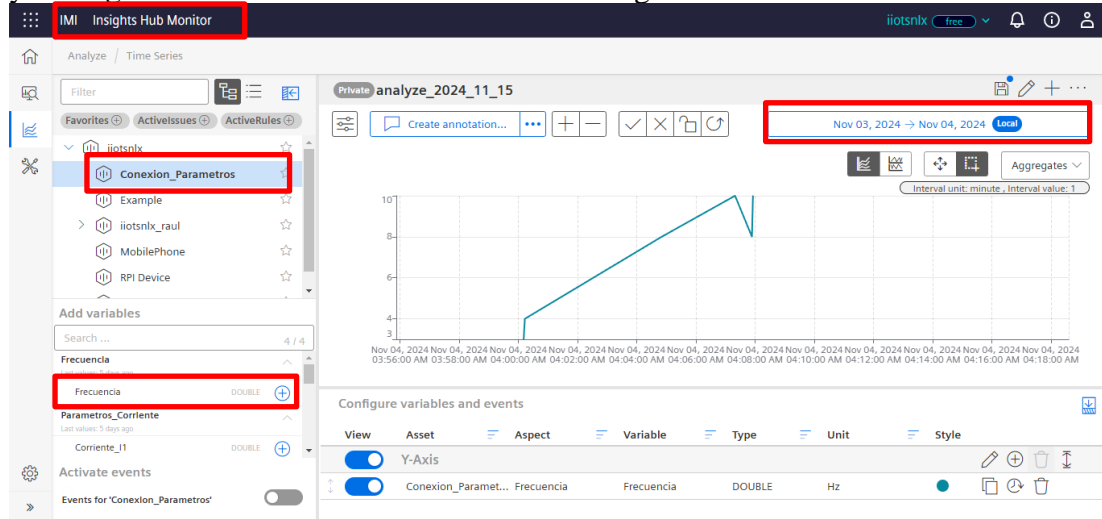


Figura 103. Herramienta "Monitor" de insights hub. Fuente: Autoría Propia

		GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO
--	--	--

CARRERA: Ingeniería en Electrónica y automatización

NRO.PRÁCTICA:	1	TÍTULO PRÁCTICA: “Control de variador de frecuencia en una plataforma IIoT”
----------------------	---	--

OBJETIVOS:

- Establecer la comunicación entre pasarela iot y insights hub.
- Ingresar accionamientos al variador a través de nodos.
- Mostrar accionamientos en el variador físico.

INSTRUCCIONES:	1.Crear un interfaz en insights hub.
	2.Crear acceso mqtt en la interfaz.
	3.Ingresar acciones con nodos en la pasarela.
	4.Seguir las instrucciones que se detallan en esta práctica.

MATERIALES:

- Una pasarela Iot2000
- Un convertidor IFD9506Delta
- Un variador de frecuencia EM730
- Software Node-Red
- Software Insights hub

DESCRIPCIÓN:

En esta práctica, se realizará acciones, como arranque, inversión de giro, reversa y establecer frecuencia a través de la herramienta “Visual Flow Creator” que nos permite crear una interfaz a través de nodos, estos datos se envían a través de accesos mqtt creados dentro de la herramienta, dichos datos se envían a la pasarela iot2040 y esta acción del variador de frecuencia se realiza con el uso de nodos de comunicación modbus, el esquema de conexiones se ve en la figura 84.

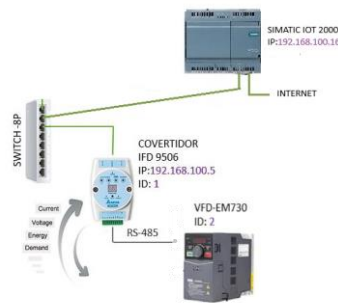


Figura 104. Esquema practica IIoT 2. Fuente: Autoría Propia

Paso1

Para crear la interfaz se usan nodos de “dashboard” como se ve en la figura 55, en la cual se emplean botones, deslizadores, para los accionamientos, la configuración de estos nodos la podemos ver de la figura 85 a la 89.

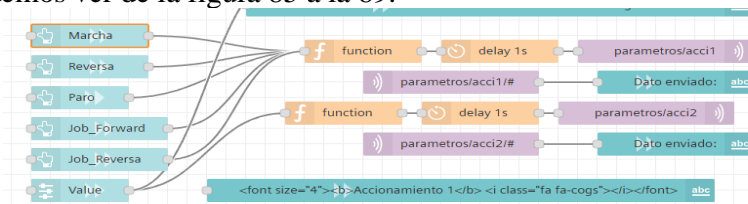
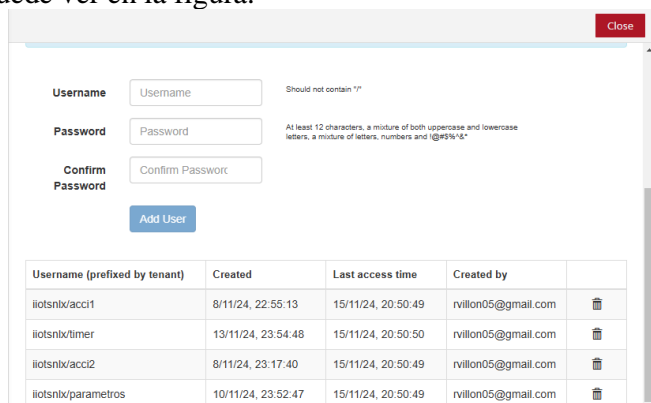


Figura 105. Envío de datos a la pasarela IIoT 2000. Fuente: Autoría Propia.

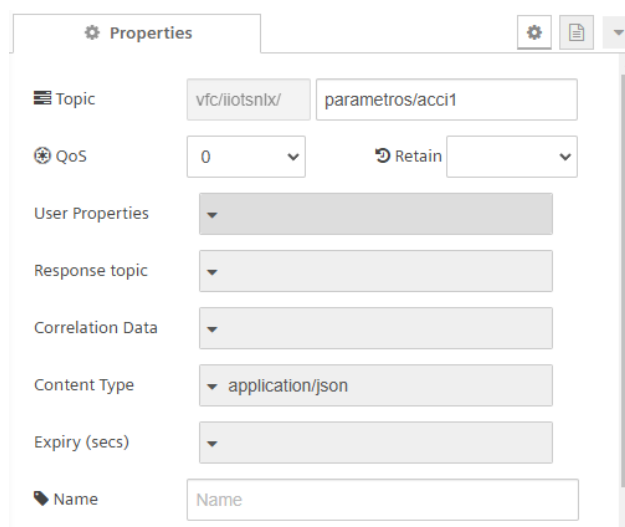
Paso 2

Para crear accesos mqtt creamos un bróker con nombre y contraseña, las mismas que serán usadas en el dispositivo suscriptor (véase la figura 92). Después con un nodo mqtt de la herramienta publicamos un nuevo tema con los valores de accionamiento, la configuración de este nodo se puede ver en la figura.



Username (prefixed by tenant)	Created	Last access time	Created by	
iiotsnlx/acc1	8/11/24, 22:55:13	15/11/24, 20:50:49	rvillon05@gmail.com	🗑️
iiotsnlx/timer	13/11/24, 23:54:48	15/11/24, 20:50:50	rvillon05@gmail.com	🗑️
iiotsnlx/acc2	8/11/24, 23:17:40	15/11/24, 20:50:49	rvillon05@gmail.com	🗑️
iiotsnlx/parametros	10/11/24, 23:52:47	15/11/24, 20:50:49	rvillon05@gmail.com	🗑️

Figura 110. Acceso Mqtt en interfaz remota. Fuente: Autoría Propia.



Properties

Topic: vfc/iiotsnlx/ parametros/acc1

QoS: 0 Retain: [dropdown]

User Properties: [dropdown]

Response topic: [dropdown]

Correlation Data: [dropdown]

Content Type: application/json

Expiry (secs): [dropdown]

Name: [input field]

Figura 111. Configuración de nodo mqtt en interfaz remota. Fuente: Autoría Propia

Paso 3

Luego comprobamos el accionamiento entrando al dashboard creado, manipulando estos accionamientos comprobamos de manera física el funcionamiento del motor con el variador de frecuencia (véase la figura 91).



Figura 112. Accionamiento de variador mediante interfaz remota. Fuente: Autoría Propia

Anexo 2. Dirección de registro del protocolo MODBUS EM730

Address Space		Note	
Function code 0000H - 6F63H		For the function code FXX.YY, the high order is hexadecimal of XX and the low order is hexadecimal of YY. For example, the address of F00.14 is 000EH (00D=00H, 14D=0EH).	
Function code (not saved after power-down) 8000H-EF63H		When the parameters are set with the function code 0x06 or 0x10, the function that “the settings are valid immediately and not saved after power-down” can be realized in the form of “original address +8000H”. For example, the corresponding address of F00.14 is 800EH (=000EH+8000H).	
Control command (write only) 7000H ~ 71FFH	7000H control word	0000H	Invalid command
		0001H	Forward running
		0002H	Reverse running
		0003H	JOG forward
		0004H	JOG reverse
		0005H	Deceleration to stop
		0006H	Stop the controller quickly
		0007H	Free stop
		0008H	Reset protection
		0009H	+/- input switching
		000BH	JOG stop

	Others to 00FFH	Reserved
7001H	Communication percentage setting of main channel frequency A	-100.00% to 100.00% (100% = maximum frequency)
7002H	Communication percentage setting of auxiliary channel frequency B	-100.00% to 100.00% (100% = maximum frequency)
7003H	Torque communication setting	-200.00% to 200.00% (100% = digital torque setting)
7004H	Communication setting of process PID setting	-100.00% ~ 100.00%
7005H	Communication setting of process PID feedback	-100.00% ~ 100.00%
7006H	Voltage setting of VF separation mode	0.00% to 100.00% (digital setting reference)
7007H to 7009H	Reserved	

700AH	Communication percentage setting of upper frequency limit	0.00% to 200.00% (digital setting reference)
700BH	Communication percentage setting of upper frequency limit of torque control	0.00% to 200.00% (digital setting reference)
700CH	Linear speed input for inertia compensation	0.00% to 100.00% (digital setting reference)
700DH to 700EH	Reserved	
700FH	Master-slave communication setting	-100.00% to 100.00% (maximum reference)
7010H to 7013H	Reserved	
7014H	External	Protection input of external device

Working status 7200H ~ 73FFH	7200H status word 1	Bit7 to 0 running status	00H	Parameter setting
			01H	Slave running
			02H	JOG running
			03H	Self-learning running
			04H	Slave stop
			05H	JOG stop
			06H	Protection status
			07H	Factory self-inspection
			08H - 0FFH	Reserved
	7201H status word 2	Bit15-8 protection information	00H	Normal running of inverter
			xxH	Inverter protection status, where "xx" is the protection code
	7201H status word 2	Bit0 setting direction	1	- setting is valid
			0	+ setting is valid
		Bit1 running direction	1	Reverse frequency output
			0	Forward frequency output
	7202H monitoring frequency +/- status word 1 (1: -; 0: +)	Bit0	Output frequency	
		Bit1	Input frequency	
		Bit2	Synchronization frequency	
		Bit3	Reserved	
		Bit4	Estimate feedback frequency	
		Bit5	Estimated slip frequency	
Bit6		Load rate		
Bit15 to 7		Reserved		
7203H	Output frequency			
7204H	Output voltage			
7205H	Output power			
7206H	Running speed			
7207H	Bus voltage			
7208H	Output torque			

Anexo 3. Dirección de registro del protocolo MODBUS PM5100

Category		Description	Register	Units	Size (NT16)
Meter Data (Basic)			3000	---	
	1s Metering (50/60 Cycles)		3000	---	
		Current	3000	---	
		Current A	3000	A	2
		Current B	3002	A	2
		Current C	3004	A	2
		Current N	3006	A	2
		Current G	3008	A	2
		Current Avg	3010	A	2
		Current Unbalance	3012	---	
		Current Unbalance A	3012	%	2
		Current Unbalance B	3014	%	2
		Current Unbalance C	3016	%	2
		Current Unbalance Worst	3018	%	2
		Voltage	3020	---	
		Voltage A-B	3020	V	2
		Voltage B-C	3022	V	2
		Voltage C-A	3024	V	2
		Voltage L-L Avg	3026	V	2
		Voltage A-N	3028	V	2
		Voltage B-N	3030	V	2
		Voltage C-N	3032	V	2
		Voltage N-G	3034	V	2
		Voltage L-N Avg	3036	V	2
		Voltage Unbalance	3038	---	
		Voltage Unbalance A-B	3038	%	2
		Voltage Unbalance B-C	3040	%	2
		Voltage Unbalance C-A	3042	%	2
		Voltage Unbalance L-L Worst	3044	%	2
		Voltage Unbalance A-N	3046	%	2
		Voltage Unbalance B-N	3048	%	2
		Voltage Unbalance C-N	3050	%	2
		Voltage Unbalance L-N Worst	3052	%	2
		Power	3054	---	
		Active Power A	3054	kW	2
		Active Power B	3056	kW	2
		Active Power C	3058	kW	2
		Active Power Total	3060	kW	2
		Reactive Power A	3062	kVAR	2
		Reactive Power B	3064	kVAR	2
		Reactive Power C	3066	kVAR	2
		Reactive Power Total	3068	kVAR	2
		Apparent Power A	3070	kVA	2
		Apparent Power B	3072	kVA	2
		Apparent Power C	3074	kVA	2
		Apparent Power Total	3076	kVA	2
		Power Factor	3078	---	
		Power Factor A	3078	---	2
		Power Factor B	3080	---	2
		Power Factor C	3082	---	2
		Power Factor Total	3084	---	2
		Displacement Power Factor A	3086	---	2
		Displacement Power Factor B	3088	---	2
		Displacement Power Factor C	3090	---	2
		Displacement Power Factor Total	3092	---	2
		Frequency	3110	Hz	2
	Energy			3200	---
Accumulated		Energy	3200	---	
		Accumulated Energy Reset Date/Time	3200	---	4
		Active Energy Delivered (Into Load)	3204	Wh	4
		Active Energy Received (Out of Load)	3208	Wh	4
		Active Energy Delivered + Received	3212	Wh	4
		Active Energy Delivered - Received	3216	Wh	4
		Reactive Energy Delivered	3220	VARh	4
		Reactive Energy Received	3224	VARh	4
		Reactive Energy Delivered + Received	3228	VARh	4
		Reactive Energy Delivered - Received	3232	VARh	4
		Apparent Energy Delivered	3236	VAh	4
		Apparent Energy Received	3240	VAh	4
		Apparent Energy Delivered + Received	3244	VAh	4
		Apparent Energy Delivered - Received	3248	VAh	4

Anexo 4. Certificado de Análisis del sistema anti plagio



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis-RaúlVillón (1)

4%
Textos sospechosos

3% **Similitudes**
< 1% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas

2% **Idiomas no reconocidos**

16% **Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)**

Nombre del documento: Tesis-RaúlVillón (1).pdf
 ID del documento: 367920ebf348230660434da2723123da4afd0eac
 Tamaño del documento original: 4,34 MB
 Autores: []

Depositante: Oscar Wladimir Gómez Morales
 Fecha de depósito: 1/12/2024
 Tipo de carga: Interface
 fecha de fin de análisis: 1/12/2024

Número de palabras: 24.072
 Número de caracteres: 179.978

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/11946/1/UPSE-TEA-2024-0026.pdf	2%		 Palabras idénticas: 2% (383 palabras)
2	 www.paessler.com ¿Qué es el IoT? Definición y detalles https://www.paessler.com/es/it-explained/itot	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (52 palabras)
3	 Documento de otro usuario #8d3x11 El documento proviene de otro grupo 1 fuente similar	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 dspace.upse.edu.ec https://dspace.upse.edu.ec/bitstream/123456789/28185/1/UPS-GT005528.pdf	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
2	 TESIS_MONITOREO_FINAL_4.docx TESIS_MONITOREO_FINAL_4 #795w El documento proviene de mi grupo	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (18 palabras)
3	 dspace.upse.edu.ec Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana... https://dspace.upse.edu.ec/Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana...	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
4	 dspace.upse.edu.ec Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana... https://dspace.upse.edu.ec/Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana...	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
5	 Documento de otro usuario #3e7b0 El documento proviene de otro grupo	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

-  <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109741799/downloads-for>
-  <https://win32diskimager.org/>
-  <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109741799/downloads-for-simatic-iot2bx03dti-0&lc=en-WW>
-  <https://netcloudengineering.com/historia-comunicacion>
-  http://books.google.com/books?id=mw_8nQEACAAJ&pgis=1

105