

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR- JOSÉ MIGUEL CARRERA

MONITOREO REMOTO Y CONTROL DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO RIEGEL

Trabajo de Título para optar al Título Profesional de
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN
CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Alumno: Gustavo Contreras Rojas
Profesora guía: Ing. Loreto Marín Carcey.

2020

RESUMEN

KEYWORDS: MODBUS TCP/IP, PROFICLOUD, PROFINET, IoT, GATEWAY, ILC 131 ETH, DASHBOARD, ESTACIÓN DE TRABAJO RIEGEL.

El presente trabajo de título de monitoreo remoto y control de la Estación de Trabajo Riegel, tiene como finalidad llevar la red local a internet (a la nube).

Básicamente la red Profinet es una red diseñada para trabajar en área local, la cual dispone de un sistema estándar totalmente abierto que depende de la asociación Profibus/Profinet internacional utilizando como medio de transmisión la tecnología Ethernet TCP/IP. Hay distintas posibilidades en donde se puede trabajar en tiempo real más conocido como Profinet real time, como también se puede trabajar en tiempo real isócrono o Profinet IRT.

Sin embargo, una dificultad del sistema Profinet es que no soporta el enrutado. En una red Profinet no se puede acceder a internet, ya que cualquier router cortaría los telegramas de Profinet, porque está pensado para trabajar en redes de área local (LAN). El acceso al internet de las cosas en este proyecto se logra a través del dispositivo llamado acoplador de Proficloud (Gateway IoT Cloud), el cual tiene dos interfaces físicas: una para conectar el ILC 131 ETH a la red Ethernet local de Profinet a través del protocolo Modbus TCP/IP y la otra para conectarse a la nube mediante salida a internet.

Se diseñó e implementó un control ON- OFF con histéresis para controlar el subsistema de nivel del estanque B102. Una vez determinado el controlador ON- OFF se procedió a diseñar el dashboard a través de Proficloud para así observar por medio de gráficos el comportamiento de las variables de nivel y presión en función del tiempo.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 2

1.1. LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA 3

1.2. ESTACIÓN DE TRABAJO RIEGEL 4

1.2.1 Diagrama P&ID de la estación de trabajo Riegel 5

1.2.2. Subsistemas de la estación de trabajo RIEGEL 6

1.2.2.1 Subsistema de nivel 6

1.2.2.2 Subsistema de presión 7

1.2.3. Instrumentación de la estación de trabajo RIEGEL 7

1.2.3.1 PLC ILC 131 ETH 8

1.2.3.2 Módulo Inline – IB IL AI 4/I/4.20-ECO 8

1.2.3.3 Módulo Inline – IB IL 24 DO 4/EF-ECO 9

1.2.3.4 Transmisor de presión de alta precisión Serie PD-33X. 10

1.2.3.5 Transmisor piezoresistivo de nivel Keller, serie 26Y 11

1.2.3.6 Bomba SPX, CM30 12

1.2.3.7 IoT: Pasarela de enlace IoT – CLOUD IOT GATEWAY 13

1.3. SOFTWARE A UTILIZAR 14

1.3.1 PC-Worx 14

1.3.2 Grafana 15

1.4. ESTRATEGIA DE CONTROL 16

1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO 16

1.5.1. Objetivo general 16

1.5.2. Objetivos específicos 16

CAPÍTULO 2:	DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN	17
2.1.	CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE	18
2.1.1.	Creación de un proyecto nuevo	18
2.1.2.	Comunicación entre PLC y PC	19
2.1.3.	Agregar módulos de entradas y salidas al interbus	21
2.1.4.	Conexión de transmisores al autómatas programable ILC 131 ETH	22
2.2.	DESARROLLO DEL SOFTWARE	24
2.2.1.	Área de trabajo de PC WORX EXPRESS	24
2.2.2.	Protocolo Modbus TCP/IP	26
2.2.3.	Normalización y escalado de entradas analógicas	28
2.2.3.1	Escalamiento del transmisor de nivel	28
2.2.3.2	Escalamiento del transmisor de presión	34
2.2.4.	Acción de control	35
2.2.5.	Control on-off del subsistema de nivel	36
2.2.6.	Actuador subsistema de nivel	37
2.2.7.	Descarga del proyecto al controlador	40
2.2.8.	Acceso al internet de las cosas (IoT)	41
2.2.9.	Configuración del Gateway IoT Cloud	42
2.2.10	Configuración de la aplicación IoT (Proficloud)	45
2.2.11.	Desarrollo del monitoreo en la nube Proficloud	47
2.2.12.	Diseño del dashboard a través de la nube Proficloud	48
CAPÍTULO 3:	RESULTADOS OBTENIDOS	51
3.1.	ESCALAMIENTO SENSORES EN TIEMPO REAL	52
3.2.	VERIFICACIÓN DE LAS METRICAS EN LA NUBE DE PROFICLOUD	55
3.3.	PRUEBAS DE MONITOREO A TRAVÉS DE LA NUBE DE PROFICLOUD	55
3.4.	CONTROLADOR ON-OFF CON HISTÉRESIS DEL SUBSISTEMA DE NIVEL	57

3.5.	CONTROLADOR ON-OFF CON HISTÉRESIS DEL SUBSISTEMA DE NIVEL	59
3.6.	DASHBOARD EN LA NUBE DE PROFICLOUD	62
 CONCLUSIONES		 66
BIBLIOGRAFÍA		67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Logo de UTFSM.	4
Figura 1-2. Logo empresa RIEGEL.	5
Figura 1-3. Ubicación geográfica Empresa RIEGEL.	6
Figura 1-4. Estación de trabajo RIEGEL.	8
Figura 1-5. Controlador ILC 131 ETH.	9
Figura 1-6. Transmisor de Presión Serie PD-33X.	10
Figura 1-7. Transmisor de nivel Keller, serie 26Y.	11
Figura 1-8. Flujómetro Arkon modelo MAGX2.	11
Figura 1-9. Bomba SPX, CM30.	12
Figura 1-10. Diagrama eléctrico bomba SPX CM30.	13
Figura 1-11. Pasarela de enlace IoT.	15
Figura 1-12. Software PC-WORX.	15
Figura 2-1. Plantillas de proyecto ILC 131 ETH	19
Figura 2-2. Selección de tarjeta de red.	20
Figura 2-3. Ventana de configuración del Bus.	20
Figura 2-4. Selección de módulos de entrada y salida Inline	22
Figura 2-5. Conexión de sensores.	23
Figura 2-6. Conexión de sensores al módulo analógico IB IL AI 4/I/4-20-ECO.	23
Figura 2-7. Área de trabajo de programación IEC.	25
Figura 2-8. Configuración del Bus.	25
Figura 2-9. Asignación de datos de proceso.	26
Figura 2-10. Insertar Modbus Server a la configuración del Bus.	27
Figura 2-11. Asignación de variables a registros Modbus.	27
Figura 2-12. Creación de bloques de funciones.	28

Figura 2-13. Representación de los valores medidos.	30
Figura 2-14. Normalización y escalamiento de transmisor de nivel.	32
Figura 2-15. Bloque de funciones Escalamiento_sensor_1.	32
Figura 2-16. Compilación del programa.	33
Figura 2-17. Variable de salida del diagrama de bloques.	34
Figura 2-18. Diagrama de bloques del sistema de control.	35
Figura 2-19. Acción de control ON- OFF.	36
Figura 2-20. Bloque de función control bomba.	37
Figura 2-21. Diagrama etapa de potencia.	38
Figura 2-22. Divisor de tensión para salida digital de PLC	40
Figura 2-23. Acceso a la aplicación de control del proyecto.	41
Figura 2-24. Aplicación de control del proyecto.	41
Figura 2-25. Acoplador Proficloud (Gateway IoT Cloud).	42
Figura 2-26. Aplicación del Gateway IoT Cloud.	43
Figura 2-27. Configuración Gateway IoT Cloud.	44
Figura 2-28. Configuración métrica Gateway IoT Cloud.	45
Figura 2-29. Tecnología Proficloud.	46
Figura 2-30. Inicio de sesión a Proficloud.	46
Figura 2-31. Añadir Gateway IoT Cloud a Proficloud.	47
Figura 2-32. Arquitectura de monitoreo en la nube Proficloud.	48
Figura 2-33. Diseño dashboard Grafana.	49
Figura 2-34. Asignación de métrica en Proficloud.	50
Figura 3-1. Escalamiento sensor en tiempo real.	52
Figura 3-2. Conversión de datos reales a Word.	53
Figura 3-3. Registros Modbus en PC WORX EXPRESS.	53
Figura 3-4. Gateway gestión basada en web.	54
Figura 3-5. Métricas creadas en www.proficloud.net .	55
Figura 3-6. Pruebas en Grafana de Proficloud en tiempo real.	56
Figura 3-7. Pruebas de la variable nivel a través de Proficloud.	57

Figura 3-8. Control ON – OFF en PC WORX EXPRESS (1).	58
Figura 3-9. Control de ON – OFF en PC WORX EXPRESS (2).	59
Figura 3-10. Monitoreo planta RIEGEL por Proficloud.	60
Figura 3-11. Desarrollo de dashboard en Proficloud.	61
Figura 3-12. Valor de presión en manómetro Winters PFQ.	62
Figura 3-13. Dashboard creado en Proficloud.	63
Figura 3-14. Dashboard en Smartphone	64
Figura 3-15. Hardware y Software de la planta RIEGEL.	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Asignación de puntos terminales	22
Tabla 2-2. Datos de nivel y corriente para escalamiento.	29
Tabla 2-3. Datos para cálculo de escalamiento mínimo de nivel	30
Tabla 2-4. Datos para cálculo de escalamiento máximo de nivel.	31
Tabla 2-5. Datos para cálculo de escalamiento máximo de presión.	34

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLAS

LabVIEW: Acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench.

ILC: Controlador Inline

PLC: Controlador Lógico Programable.

P&ID: Diagrama de Tuberías e Instrumentación.

UTFSM: Universidad Técnica Federico Santa María.

WWW: World Wide Web.

IP: Internet Protocol

IEC: International Electrotechnical Commission

IoT: Internet de las cosas

TCP: Protocolo de Control de Transmisión

ID: Identificación

PC: Personal Computer

ETH: Ethereum

LAN: Local Area Network

P: Proporcional

PI: Proporcional integral

PID: Proporcional, integral, derivativo

B. SIMBOLOGÍA

°C: Grados Celsius.

W: Watt.

mA : Mili Amperios.

S: segundos.

Hz: Hertz.

V: Volts.

Dec: Decimal

A: Ampere

mbar: Milibar

M: Mega

psi: Libra por pulgada cuadrada

k Ω : Kiloohmios

bar: Bar

kB: Kilobyte

%: Porcentaje

L: litros

INTRODUCCIÓN

El continuo desarrollo del mercado a nivel industrial da lugar a la búsqueda constante de la optimización de los procesos de producción. Por ello la industria actual requiere cada vez con mayor importancia profesionales capacitados que puedan realizar adecuadamente el control de los diversos procesos de producción.

Por este motivo, la enseñanza de temas relacionados a la instrumentación y al control de procesos requiere necesariamente de un trabajo tipo práctico que le permita al alumno adquirir conocimientos en el manejo y funcionamiento de los equipos que forman parte de un determinado proceso, brindándole una mejor visión de lo que se enseña en clases teóricas. En este proyecto se desarrolla un sistema didáctico de tanques acoplados para el monitoreo de las variables de presión y nivel, además del control de nivel de líquido de uno de los estanques. Para ello se lleva a cabo la medición de variables físicas, haciendo posible la implementación de diversos lazos de control que analicen las señales obtenidas de manera lógica para generar posibles soluciones a problemas en la industria.

Para que los usuarios tengan mayor interacción con el proceso, se desarrollará una interfaz a través de internet que muestre las variables sensadas y su variación en tiempo real, permitiendo una supervisión completa del sistema e interviniendo en el proceso cuando sea necesario.

El presente trabajo se desarrolla en el Laboratorio de Control de Procesos de la Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña Del Mar, mediante la aplicación de los conceptos adquiridos en la carrera de Ingeniería en ejecución en Control e Instrumentación Industrial.

El trabajo se encuentra estructurado en 3 capítulos, donde el primero da a conocer la estación de trabajo RIEGEL. Por otro lado, en el segundo capítulo se desarrolla la lógica de control y se configura el hardware. Por último, en el tercer capítulo se exponen los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

El presente capítulo tiene como objetivo dar a conocer la estación de Trabajo Riegel, su instrumentación y la estrategia de control que será implementada en la planta.

1.1. LA UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

La Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM) se funda en Valparaíso, en 1926, a partir de la voluntad testamentaria del filántropo, visionario y emprendedor Federico Santa María Carrera, quien deseaba una institución que liderase en el campo de la Ingeniería, Ciencia y Tecnología, con el fin de contribuir al desarrollo y mejoramiento humano.

En 1928 se emprende la construcción de la Escuela de Artes y Oficios, y el Colegio de Ingenieros José Miguel Carrera.

En 1929 se proyecta la idea de una ciudadela universitaria compuesta por pabellones, talleres, laboratorios, pensionados, biblioteca, instalaciones deportivas, patios y jardines. El entorno elegido para establecerla específicamente fue en un sector ubicado entre los barrios obreros del Cerro Barón y Viña del Mar, en los faldeos del Cerro Los Placeres, el cual aún conserva una ubicación privilegiada.

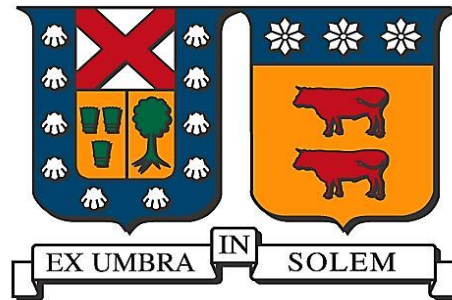
Las dependencias se inauguraron el 20 de diciembre de 1931, junto con el depósito de las cenizas de su fundador Federico Santa María Carrera en una urna de mármol que custodia su legado en el frontis del Plantel.

En la década del 60, la Universidad comienza su expansión a nivel nacional como también internacional. Es en el año 1966 cuando se coloca la primera piedra en el sector del Olivar, donde años más tarde se fundaría la Escuela Técnica Profesional, hoy en día conocida como la Sede de Viña del Mar José Miguel Carrera.

Actualmente en esta Sede se imparten diversas carreras tanto diurnas como vespertinas, como por ejemplo, Ingeniería en Construcción, Técnico Universitario en Electricidad, Ingeniería de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial, entre otras.

A pesar del tiempo transcurrido, el objetivo de la Casa de Estudios ha sido el mismo: formar excelentes profesionales, los cuales puedan destacarse y desenvolverse en las nuevas áreas tecnológicas de hoy en día.

En la siguiente figura 1-1 se puede observar el logo de la Universidad Técnica Federico Santa María con su lema “EX UMBRA IN SOLEM”, que traducido al español significa “Desde la sombra a la luz”.



Fuente: www.usm.cl

Figura 1-1. Logo de UTFSM.

1.2. ESTACIÓN DE TRABAJO RIEGEL

Actualmente, el departamento de Electrotécnica e Informática de la Sede José Miguel Carrera de la Universidad Técnica Federico Santa María, cuenta con un Laboratorio de Control de Procesos, el cual ha sido equipado con estaciones de trabajo Riegel para el aprendizaje de automatización y control, permitiendo de tal forma simular procesos industriales para el control de variables como nivel, flujo o presión.

La estación de trabajo Riegel se puede observar en la figura 1-2.

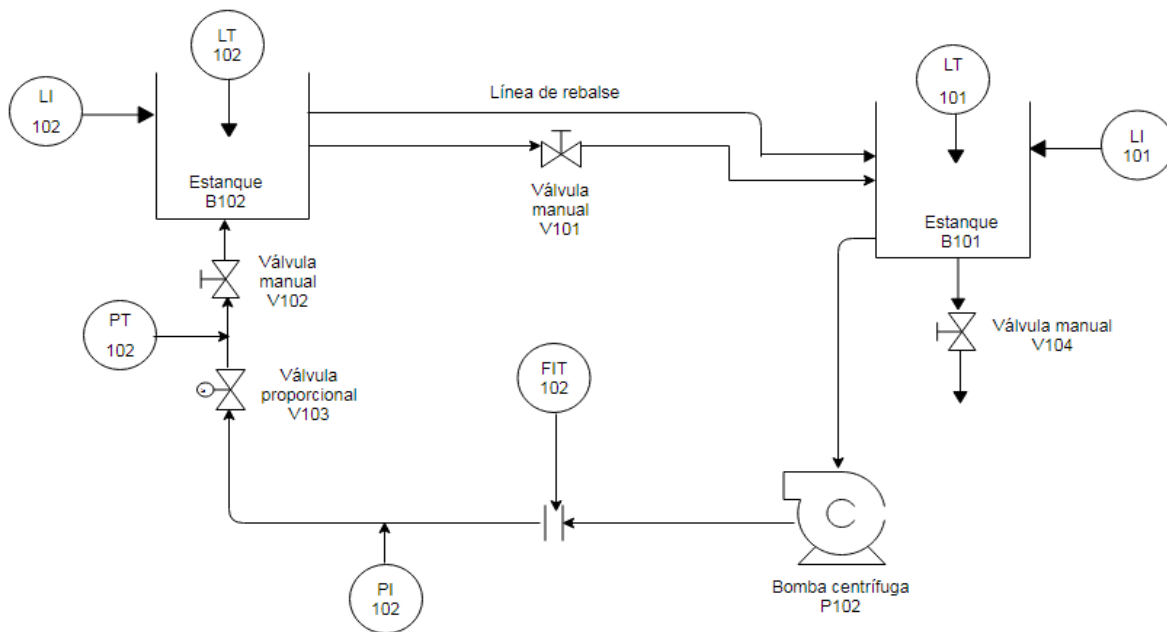


Fuente: Fotografía tomada en dependencias de la Sede.

Figura 1-2 estación de trabajo RIEGEL.

1.2.1 Diagrama P&ID de la estación de trabajo RIEGEL

En la figura 1-3 se puede apreciar el diagrama P&ID de la Estación de Trabajo Riegel, en donde se puede observar los componentes que conforman la planta.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-3 Diagrama P&ID de la estación de trabajo Riegel.

1.2.2. Subsistemas de la estación de trabajo RIEGEL

La estación de trabajo Riegel es un sistema didáctico que está compuesto por tres subsistemas, los cuales pueden ser controlados y monitorizados: Subsistema de nivel, subsistema de presión y subsistema de flujo.

En este proyecto se ha escogido el monitoreo remoto de las variables de nivel y presión, además del control al subsistema de nivel mediante la estrategia de control ON – OFF con histéresis.

1.2.2.1 Subsistema de nivel

Este subsistema consta del monitoreo y control de nivel de líquido en el estanque B102. El sistema está compuesto por dos estanques acrílicos denominados B101 Y B102. El

estanque B101 almacena líquido de suministro mientras que el estanque B102 se alimenta del líquido extraído desde el estanque B101 cuando este requiere aumentar su nivel.

El líquido extraído desde el estanque B101 se extrae por medio de una bomba de circulación accionada con corriente directa, marca SPX modelo CM30.

El control de nivel se realiza mediante el accionamiento de la bomba SPX CM30, la cual regula el flujo de líquido que alimentará el estanque B102. El monitoreo se obtiene directamente por el transmisor de nivel del tipo piezoresistivo marca KELLER 26Y, ubicado en el estanque B102. Este sensor realiza la conversión de magnitud de presión del líquido a una magnitud eléctrica de 4 a 20 mA siendo ingresada a una entrada analógica del PLC ILC 131 ETH para ser procesada y lograr así el monitoreo de la variable nivel.

1.2.2.2 Subsistema de presión

El monitoreo de presión se logra mediante la medición entregada por el sensor piezo resistivo Keller PR-33X acoplado a la tubería que interconecta a los estanques b101 Y b102. La señal generada por este transmisor será enviada al PLC ILC 131 ETH para procesarla.

1.2.3 Instrumentación de la Estación de Trabajo RIEGEL

La instrumentación de la Estación de Trabajo RIEGEL está compuesta por los siguientes componentes:

- Bomba de circulación accionada con corriente directa marca SPX modelo CM30.
- Transmisor de nivel del tipo piezoeléctrico marca KELLER serie 26 Y.
- Trasmisor de presión de alta precisión marca KELLER serie 33 X.

Para lograr el monitoreo y control de los subsistemas de la planta se utilizará un PLC ILC 131 ETH de Phoenix Contact con módulos de entrada y salida análoga y digital, una pasarela IoT Cloud, además de la herramienta de ingeniería PC WORX EXPRESS. Todos los componentes nombrados anteriormente se describen a continuación.

1.2.3.1. PLC ILC 131 ETH

El controlador lógico programable (PLC) ILC 131 ETH (Figura 1-4), es un dispositivo electrónico potente de alto rendimiento, el cual procesará los datos recopilados por los sensores para posteriormente, de acuerdo al programa, realizar las acciones de control en el proceso. Este autómatas programable ofrece la posibilidad de comunicar mediante PROFINET y Modbus/TCP. La programación se realiza con PC Worx Express o PC Worx (IEC 61131-3).



Fuente: www.google.cl.

Figura 1-4 Controlador ILC131 ETH.

1.2.3.2. Módulo Inline – IB IL AI 4/I/4.20-ECO

El módulo Inline – IB IL AI 4/I/4.20-ECO (Figura 1-5), es un dispositivo electrónico que está previsto para la utilización dentro de una estación Inline. Se utilizará para registrar las señales de corrientes analógicas generadas por los sensores de la estación de trabajo Riegel.

Algunas de sus características técnicas:

- 4 canales de entrada analógicos.
- Conexión de los sensores en técnica de 2 conductores.
- Márgenes de corriente: 4mA a 20mA.



Fuente: www.google.cl.

Figura 1-5 Módulo de entradas analógicas Inline.

1.2.3.3. Módulo Inline – IB IL 24 DO 4/EF-ECO

El módulo Inline – IB IL 24 DO 4/EF-ECO (Figura 1-6), está diseñado para ser usado dentro de una estación Inline. Se utiliza para la salida de señales digitales.

Algunas de sus características técnicas:

- 4 canales de salidas digitales transistorizadas.
- Conexión de los actuadores en técnica de 2 y 3 conductores.
- Corriente total del borne: 2 A.



Fuente: www.google.cl.

Figura 1-6 Módulo de salidas digitales Inline.

1.2.3.4. Transmisor de presión de alta precisión Serie PD-33X.

Este transmisor observado en la figura 1-7, posee una salida digital que cuenta con una precisión del 0,01% FE, bajo demanda (la Serie 33X standard tiene una precisión de 0,05% FE). Se basa en un transductor piezoresistivo estable flotante y en un microprocesador electrónico de última generación XE-MICS con un convertidor A/D de 16 bits integrado. El microprocesador XEMICS integra un convertidor D/A de 16 bits para salidas analógicas de 4...20mA o de 0...10V. El rango de salida es de 400Hz.



Fuente: Manual Transmisor de presión Serie PD-33X.

Figura 1-7 Transmisor de Presión Serie PD-33X.

1.2.3.5. Transmisor piezoresistivo de nivel Keller, serie 26Y

El transmisor de nivel Keller serie 26Y, observado en la figura 1-8, es utilizado para medir niveles de agua donde se requiera gran precisión. Este elemento es del tipo piezoresistivo en donde está en contacto con un fluido hidráulico de protección, y separado del medio por una membrana de acero inoxidable. Por medio de la presión que se ejerce sobre la membrana se produce un cambio en la presión del fluido hidráulico que rodea al sensor.

Este transmisor emite una señal de corriente proporcional que fluctúa entre los 100mbar hasta 10 bar que se convierten en una señal de salida de 4-20 mA que irán a la entrada analógica del PLC ILC 130 ET.



Fuente: Manual de transmisor de nivel Keller.

Figura 1-8 Transmisor de nivel Keller, serie 26Y.

1.2.3.6. Bomba SPX, CM30

La bomba SPX modelo CM30 (ver figura 1-9) es de corriente continua del tipo centrífuga de aspiración normal y han de montarse de forma que reciban agua o que se ceben antes de la puesta en marcha. El motor es de funcionamiento continuo y permite una variación de $\pm 20\%$. El sobre voltaje reduce la vida de la bomba y no debe utilizarse en aguas que contengan partículas sólidas.



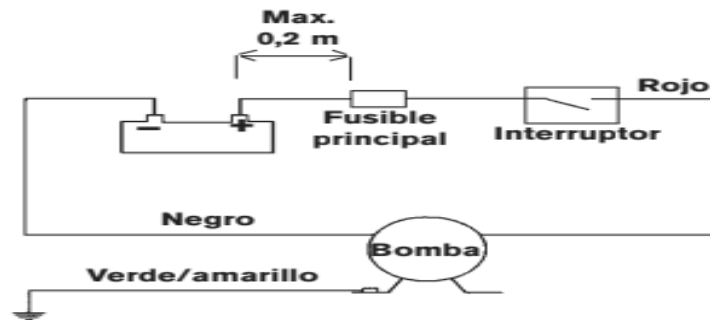
Fuente: Manual de bomba SPX,CM30.

Figura 1-9 Bomba SPX, CM30.

Entre los datos técnicos más importantes se pueden encontrar:

- Motor: De imán permanente, cojinetes de bolas, 12/24 V.
- Impulsor: Cuerpo: Plástico reforzado con fibra de vidrio (PPS, GF 40%), imán: Ferrita, Casquillo: Carbono resina.
- Presión máxima: 2,5 Bar.
- Gamas de temperatura: Líquido: -40°C a 100°C , Ambiente: -40°C a 70°C .

En la figura 1-10 se puede observar el diagrama eléctrico de la bomba SPX CM30.



Fuente: Manual de bomba SPX, CM30.

Figura 1-10 Diagrama eléctrico bomba SPX CM30.

1.2.3.7 IOT: Pasarela de enlace IoT - CLOUD IOT GATEWAY (200 Variables)

La puerta de enlace conecta sistemas nuevos y existentes a Internet de las cosas sin interferir con la lógica de automatización. Mediante la integración sencilla de procesos con protocolo como Modbus/TCP, los datos de sensores y de procesos se recopilan, procesan y supervisan en Proficloud. Estos datos pueden usarse, por ejemplo, para monitoreo de máquinas o análisis de datos.

Algunas de sus ventajas principales son:

- Hardware robusto para el uso en el entorno industrial.
- Conexión directa con Proficloud, la plataforma IoT abierta.
- Soporte de diferentes protocolos, por ejemplo Modbus/TCP.



Fuente: www.google.cl

Figura 1-11 Pasarela de enlace IoT.

1.3. SOFTWARE A UTILIZAR

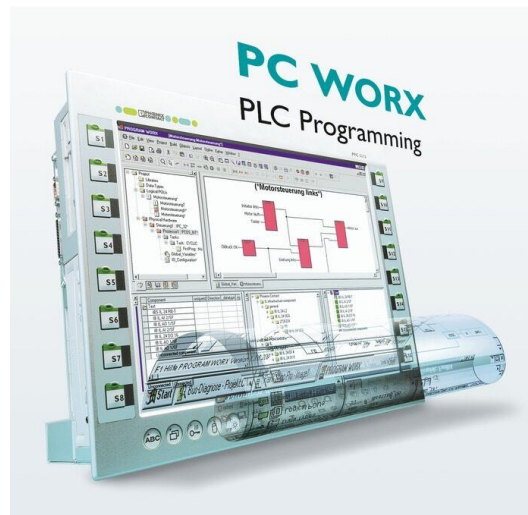
En la siguiente sección se darán a conocer los softwares utilizados para desarrollar el presente trabajo de título.

1.3.1. PC-Worx

PC-WORX (ver figura 1-12) es un software de ingeniería de fácil manejo, el cual se utiliza para desarrollar programas, desde tareas claras con microistemas de control modulares hasta la compleja automatización de instalaciones con PLC de alta tecnología.

Sus ventajas son:

- Programación para autómatas modulares de la clase 100 y AXC 1050.
- Planificación de un sistema de automatización.
- Datos de entrada/salida de 128 kBytes (Mix).
- Cómodo manejo de los equipos gracias a una configuración y direccionamiento PROFINET, PROFIBUS, INTERBUS y Modbus/TCP integrados.



Fuente: www.google.cl

Figura 1-12 Software PC-WORX

1.3.2. Grafana

Grafana de la figura 1-13, es un software de ingeniería libre que permite la visualización y el formato de datos métricos creando aplicaciones que requieran pruebas, medidas y control con acceso rápido a información de datos y hardware.

Brinda un enfoque de programación gráfica que ayuda a visualizar cada aspecto de su aplicación, datos de medida de cualquier proveedor, representar una lógica compleja en el diagrama, desarrollar algoritmos de análisis de datos y diseñar interfaces de usuarios personalizados.



Fuente: www.google.cl

Figura 1-13 Software PC-WORX

1.4. ESTRATEGIAS DE CONTROL

Existen tres estrategias de control comúnmente usados, las cuales son:

- Control ON- OFF.
- Control ON – OFF con histéresis.
- Control PID.

Para este trabajo de título se utilizará el control ON-OFF con histéresis, para controlar el nivel de líquido del estanque B102.

1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Lograr un monitoreo de las variables físicas de la estación de trabajo Riegel a través del internet de las cosas (IoT), además de controlar el subsistema de nivel del estanque B102 mediante la estrategia de control ON – OFF con histéresis. A continuación, en esta sección se presenta el Objetivo general y Objetivos específicos del proyecto.

1.5.1. Objetivo general

Monitorear en forma remota las variables nivel y presión, además de controlar el subsistema de nivel mediante la estrategia de control ON - OFF.

1.5.2. Objetivos específicos

- 1) Describir la situación actual de la planta Riegel.
- 2) Desarrollar el monitoreo remoto de variables de presión y nivel.
- 3) Implementar plataforma de comunicación.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN

2. DESARROLLO TÉCNICO DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se dará a conocer en detalle la solución propuesta que será implementada en la Estación de Trabajo Riegel. La finalidad de esta implementación es realizar un sistema de monitoreo remoto sobre dos de los tres subsistemas que conforman la planta Riegel (nivel y presión), además de diseñar el control al subsistema de nivel mediante la estrategia de control ON-OFF con histéresis.

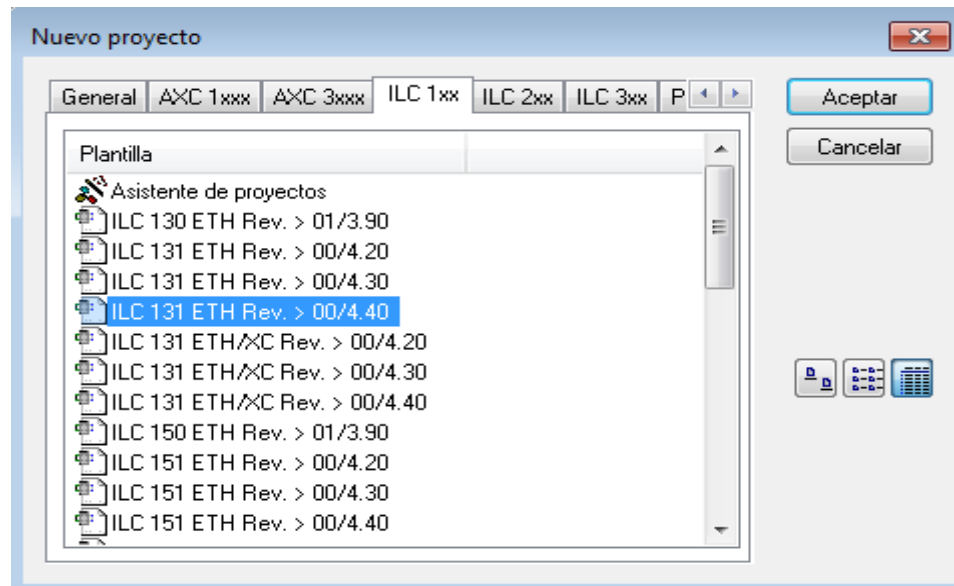
2.1. CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE

Una red local está compuesta siempre por un PLC con funcionalidad de maestro PROFINET (en este proyecto el ILC 131 ETH de Phoenix Contact), dispositivos de entradas y salidas de PROFINET (módulos de entradas y salidas digitales y analógicas), además de la herramienta de ingeniería (PC WORX EXPRESS) instalada en el PC para generar el código de programación.

2.1.1. Creación de un proyecto nuevo

El primer paso que se ha de dar para poder comenzar la creación del proyecto es el hacer uso de una de las plantillas que se puede observar en la figura 2-1 que ofrece el programa PC WORX EXPRESS. Para ello se han de seguir los siguientes pasos:

- Elegir en el menú “Archivo” el comando “Nuevo proyecto”.
- Seleccionar el controlador que se va a utilizar (en este caso el ILC 131 ETH Rev. > 00/4.40)
- Confirmar la selección con el botón “Aceptar”.



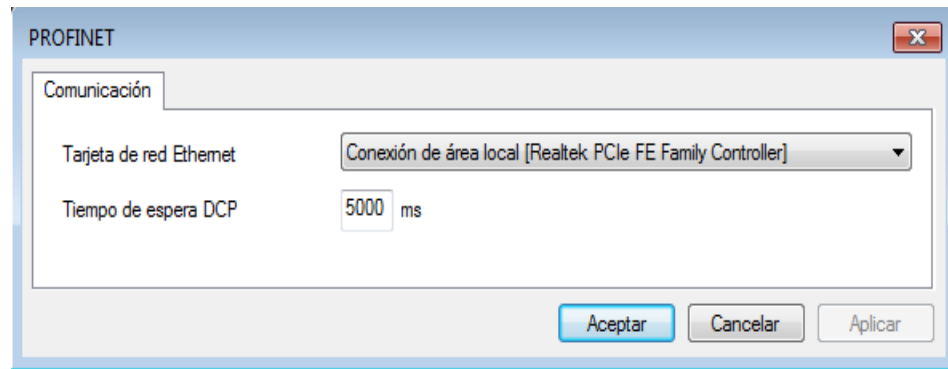
Elaboración propia.

Figura 2-1 Plantillas de proyecto ILC 131 ETH

2.1.2. Comunicación entre PLC y PC

Para poder intercambiar información entre el PC y el controlador ILC 131 ETH para el que se está desarrollando el proyecto es necesario que los dos equipos estén correctamente configurados para que puedan comunicarse entre sí.

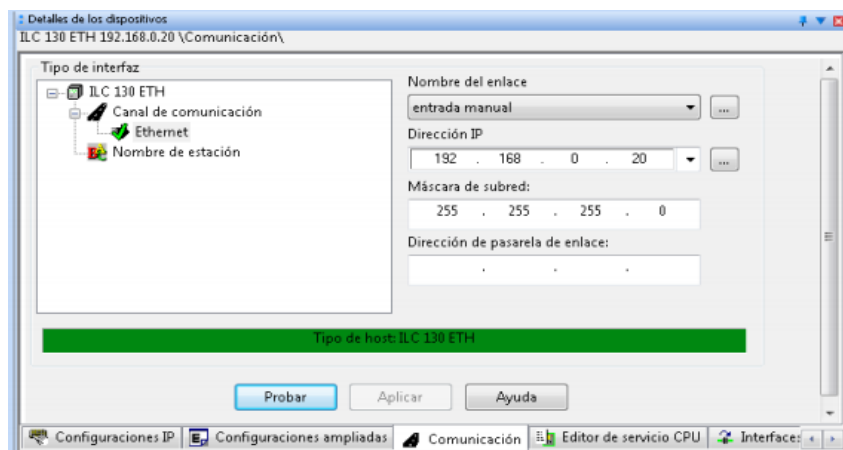
Seleccionar en PC WORX, en el menú “Extras/Configuración PROFINET...” de la figura 2-2, la tarjeta para red del PC que se desea utilizar en la comunicación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-2. Selección de tarjeta de red.

PC WORX EXPRESS asigna de forma automática tras la creación de un proyecto un mapa de direcciones IP para una red local (rango de 192.168.0.2 a 192.168.2.254), en este caso la dirección 192.168.0.2 que se observa en la figura 2-3. Si se desea utilizar otro mapa de direcciones es necesario adaptar las direcciones inicial y final del nodo del proyecto. PROFINET utiliza para su funcionamiento la red pre configurado (rango de 192.168.0.2 a 192.168.2.254), los parámetros IP para PC deben de ser 192.168.0.1 y la máscara de subred 255.255.255.0.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-3. Ventana de configuración del bus.

Si en la ventana aparece una indicación de estado verde, es que la prueba del canal de comunicación ha sido correcta. Si aparece una indicación de estado roja, se debe examinar el canal de comunicación configurado y cambiarlo, de ser necesario.

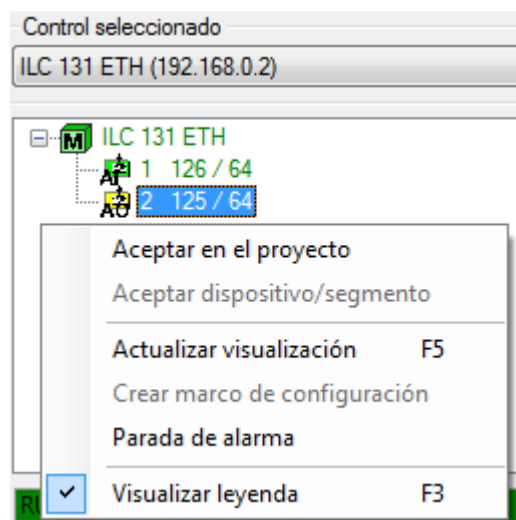
2.1.3. Agregar módulos de entradas y salidas al interbus

Todos los elementos que conforman el controlador lógico programable y que sean utilizados en la posterior programación deben de ser insertados en el Interbus de la figura 2-4 en el mismo orden en el que se encuentran físicamente conectados al controlador ILC 131 ETH.

En este proyecto solo se agregan los módulos de entrada y salida analógica Phoenix Contact, ya que, los módulos de entrada y salida digitales ya vienen incorporados internamente en el ILC, por lo cual no deben de ser agregados al interbus.

Para añadir todos los módulos que componen el controlador llamados en el programa participantes de interbus, se debe de hacer:

- Seleccionar un punto en la ventana “Configuración del bus” en el que debe aparecer el controlador elegido previamente a la hora de crear el proyecto.
- Abrir en “Catálogo de dispositivos” en Phoenix Contact, la familia de productos a la que pertenece el participante a insertar, en este caso IL para Inline.
- Abrir en la familia de productos el grupo concreto al que pertenece el módulo.
- Seleccionar el dispositivo que se desea insertar.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-4. Selección de módulos de entrada y salida Inline.

2.1.4. Conexión de transmisores al autómata programable ILC 131 ETH

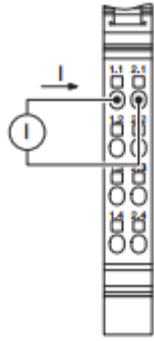
La tecnología de conexión llamada 2 conductores es la utilizada para conectar los sensores al autómata ILC 131 ETH a través del módulo IB IL AI 4/I/4-20-ECO. En la siguiente tabla 2-1 se indica la asignación de cada punto terminal distribuida en el módulo analógico.

Terminal point	Signal	Terminal point	Signal
1.1	IN01	2.1	GND01
1.2	IN02	2.2	GND02
1.3	IN03	2.3	GND03
1.4	IN04	2.4	GND04

Fuente: www.phoenixcontact.com

Tabla 2-1. Asignación de puntos terminales.

En la figura 2-5 se muestra un ejemplo de cómo conectar los transmisores de la planta Riegel al módulo analógico IB IL AI 4/I/4-20-ECO.

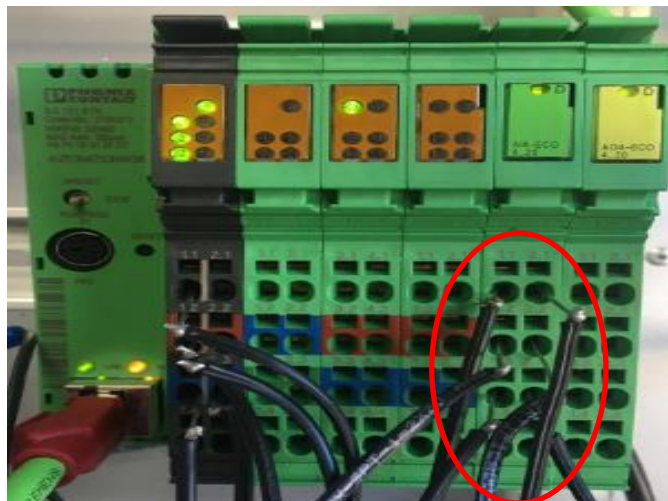


Fuente: www.phoenixcontact.com

Figura 2-5. Conexión de sensores.

Las señales $INx(x=01...04)$ corresponden a las señales de corriente generadas por los sensores que va del rango de los 4-20 mA.

En la siguiente figura 2-6 de color rojo se observa el conexiado de los sensores de nivel y presión que se realizó en el módulo analógico IB IL AI 4/I/4-20-ECO, el cual permite poder procesar las señales de corrientes generadas por estos mismos y poder así actuar sobre la variable que se desea controlar en un proceso.



Fuente: Propia

Figura 2-6 Conexión de sensores al módulo analógico IB IL AI 4/I/4-20-ECO.

2.2. DESARROLLO DEL SOFTWARE

A continuación se describe el desarrollo de los distintos softwares diseñados y utilizados en este proyecto para lograr el monitoreo y control de las variables de la planta RIEGEL a través de IoT.

2.2.1. Área de trabajo de PC WORX EXPRESS

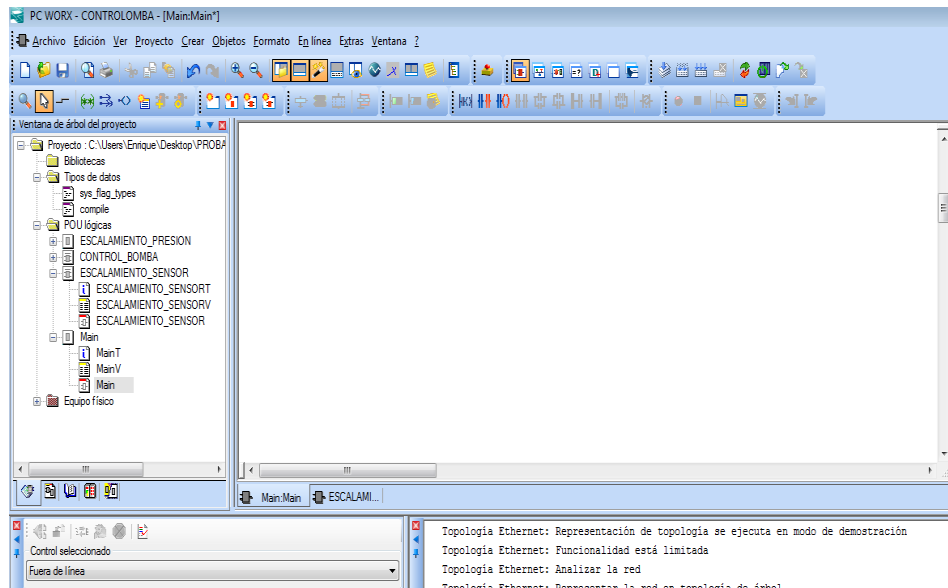
La herramienta de ingeniería PC WORX EXPRESS se divide en tres áreas de trabajo:

- Programación IEC.
- Configuración del bus.
- Asignación de datos de proceso.

Las siguientes imágenes ilustran las áreas de trabajo que aparecen de forma predeterminada, aunque el usuario puede modificar este tipo de configuración.

- Área de trabajo de programación IEC

La programación principal se realiza en la herramienta de ingeniería PC WORX EXPRESS en la hoja de trabajo principal (Main), la cual se puede visualizar en la figura 2-7.

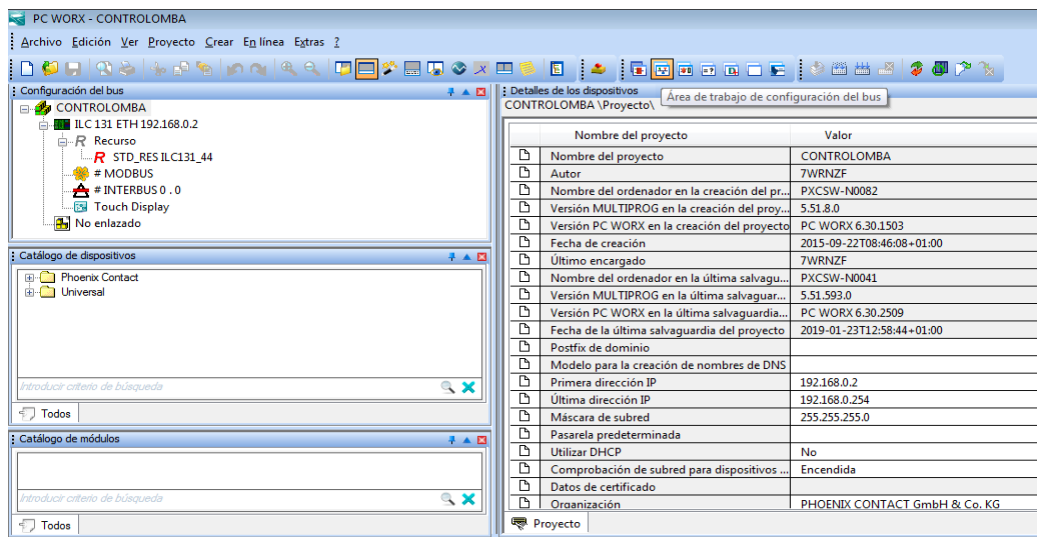


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-7 Área de trabajo de programación IEC.

- Área de trabajo de configuración del bus.

La figura 2-8 ilustra la hoja en donde se configura el bus (interbus y modbus)

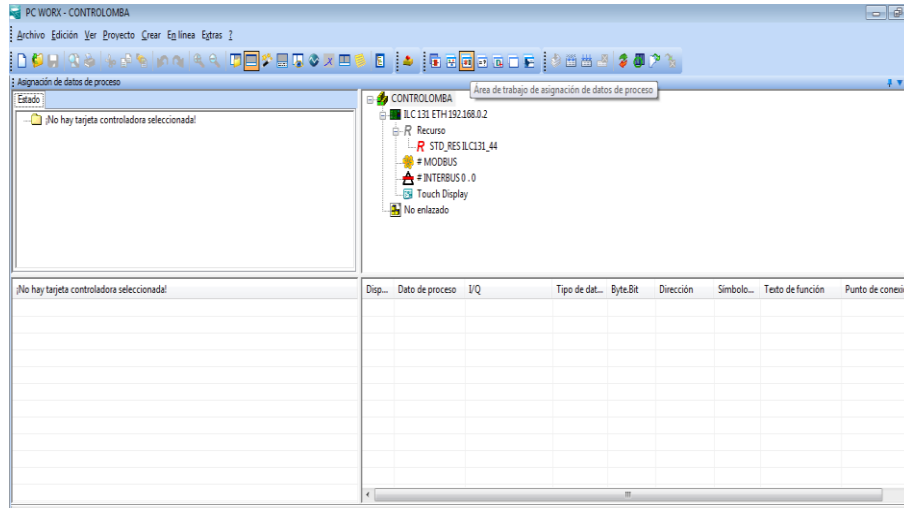


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8 Configuración del bus.

- Área de trabajo de asignación de datos de proceso.

En la figura 2-9 se observa el área de asignación de datos de proceso.

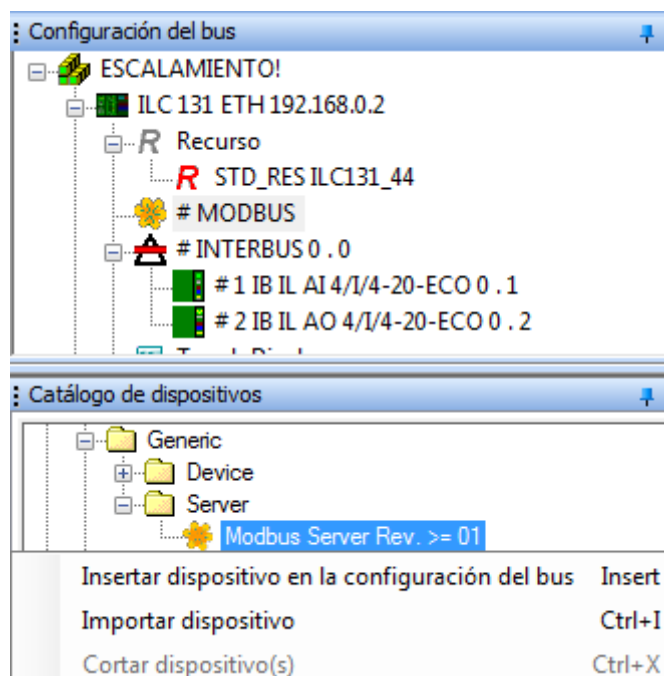


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-9 Asignación de datos de proceso.

2.2.2. Protocolo Modbus TCP/IP

Modbus es un protocolo de solicitud respuesta implementado usando una relación cliente-servidor. En este proyecto para lograr la transmisión de datos a la nube de Proficloud el dispositivo que enviará la solicitud es el Gateway IoT Cloud (cliente), el cual será el encargado de iniciar cada interacción con el servidor (en este caso el ILC 131 ETH). Para configurar el ILC 131 ETH como servidor se debe ir al área de trabajo de configuración del bus de PC WORX EXPRESS y agregar el servidor Modbus a la configuración del bus como se muestra en la figura 2-10.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-10 Insertar Modbus Server a la configuración del bus.

Se deben crear variables del tipo de datos WORD y asignarlas a cada registro Modbus, en la figura 2-11 se pueden apreciar en color rosado los registros Modbus utilizados en el bus para transmitir los datos generados por los sensores de nivel de cada estanque y presión al Gateway IoT Cloud.

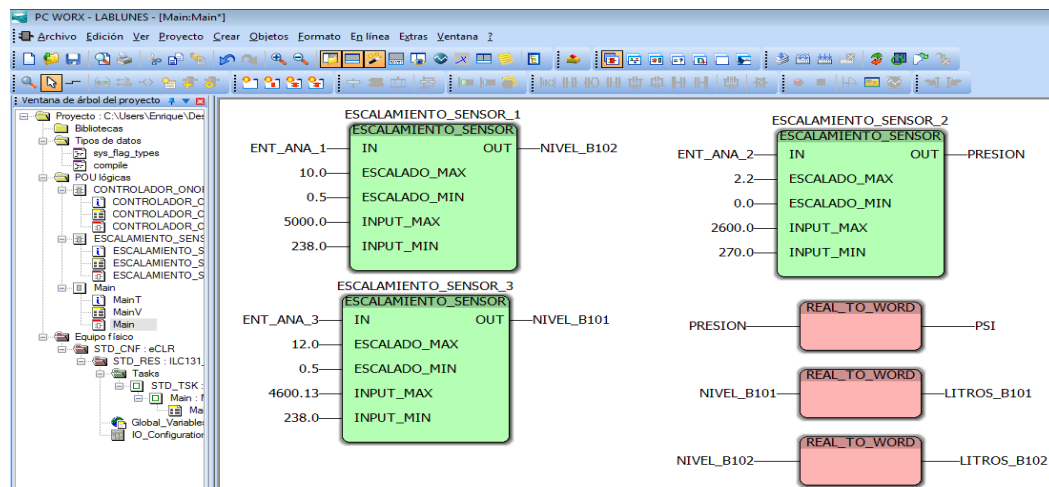
Simbolo/Variable	Tipo de dat...	Dato de proceso	Dispositivo	Dato de proceso	I/Q	Tipo de datos	Byte.Bit	Dirección	Simbolo...
Q_DATO_SALIDA	WORD		# Modbus Server	SERVER_STATUS	I	MBS_SERVER_STATUS	0		
LITROS	WORD		# Modbus Server	SERVER_CONTROL	Q	MBS_SERVER_CONTROL	0		
BAR	WORD		# Modbus Server	NODE_STATUS_255	I	MBS_NODE_STATUS	0		
PSI	WORD	# Modbus Server	# Modbus Server	REGISTRO_1	Q	WORD	0.0		STD_CN...
Q_DATO00	BOOL		# Modbus Server	REGISTRO_2	Q	WORD	0.0		STD_CN...
ENT_ANA_3	INT	# 1 IB IL AI 4/1/4-2	# Modbus Server	REGISTRO_3	Q	WORD	0.0		STD_CN...
NIVEL_B101	REAL		# Modbus Server	REGISTRO_4	Q	WORD	0.0		STD_CN...
NIVEL_B102	REAL		# Modbus Server	REGISTRO_5	Q	WORD	0.0		STD_CN...
LITROS1	WORD								
LITROS_B102	WORD	# Modbus Server							
LITROS_B101	WORD	# Modbus Server							

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-11 Asignación de variables a registros Modbus.

2.2.3. Normalización y escalado de entradas analógicas

Como se mencionó anteriormente, cuando se dispone de un valor de entrada analógico del tipo INT generado por los sensores de nivel y presión que conforman la planta Riegel, este debe normalizarse por regla general para que los valores numéricos coincidan con las magnitudes físicas. Para ello en el software PC WORX EXPRESS se proceden a diseñar bloques de funciones para escalar la señal generada por cada sensor que conforma el proceso o sistema. Estos bloques de funciones de la figura 2-12 de color verde son muy útiles para simplificar la programación en la hoja de trabajo principal (Main) del proyecto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-12 Creación de bloque de funciones.

2.2.3.1 Escalamiento del transmisor de nivel

Para realizar el escalamiento del transmisor de nivel Keller 26Y se registraron los datos de nivel del estanque B102 con sus respectivos valores de corriente, con esto se realizó la siguiente tabla.

Variable [%]	Corriente [mA]
5	4,26
8	4,31
20	4,90
30	5,45
40	5,93
50	6,41
60	6,90
70	7,40
80	7,88
90	8,36
100	8,85

Tabla 2-2 Datos de nivel y corriente para escalamiento.

Una vez obtenidos los datos generados por el transmisor de nivel con su respectivo valor de corriente, se procede a realizar el escalamiento.

Como la mayoría de los transmisores, el Keller serie 26Y, es lineal, por esta razón, la relación de las variables corresponde a la ecuación de una línea recta. Para este proyecto y considerando los datos obtenidos en la tabla anterior, el transmisor de nivel suministra una señal del tipo análoga del rango de los 4,26 [mA] a los 8,85 [mA]. Con estos datos y considerando que el módulo de entrada análoga IB IL AI 4/I/4-20-ECO 1,1 del controlador lógico programable ILC 131 ETH Phoenix Contact trabaja con una señal de entrada del rango de los 4 a 20 [mA] que en decimal para el autómata corresponde de 0 a los 16000 según la figura 2-13 obtenida del manual del dispositivo, se procede a realizar el escalamiento ingresando estos parámetros en el bloque de funciones creado en PC WORX EXPRESS.

Input data		4 mA ... 20 mA
hex	dec	mA
8001	Measuring range exceeded (overrange)	> +21.339
43BB	17339	+21.339
3E80	16000	+20.0
2710	10000	+14.0
1770	6000	+10.0
1388	5000	+9.0
03E8	1000	+5.0
0001	1	+4.001
0000	0	+4.0 ... +3.2
8002	Open circuit	< +3.2

Fuente: Manual IB IL AI 4/I/4-20-ECO

Figura 2-13 Representación de los valores medidos.

El valor mínimo del escalamiento de nivel se logra con un 5 [%] de llenado con respecto al tamaño del estanque y un valor de corriente generado por el sensor de 4.26 [mA], por lo que el valor de escalamiento mínimo en decimal corresponde a:

Datos para cálculo de escalamiento mínimo de nivel

Y2	16000 dec
Y1	0 dec
X2	20 mA
X1	4 mA

Tabla 2-3 Datos para cálculo de escalamiento mínimo de nivel.

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

$$m = 1 \text{ [M]}, \quad b = -4000$$

$$y = mx + b$$

$$y_{min} = (1 \text{ [M]} * 4.26 \text{ [mA]}) - 4000$$

$$y_{min} = 260 \text{ dec}$$

El valor máximo del escalamiento de nivel se logra con un 100 [%] de llenado con respecto al tamaño del estanque y un valor de corriente en la salida del sensor de 8.85 [mA], por lo que el valor de escalamiento máximo en decimal corresponde a:

Datos para cálculo de escalamiento máximo de nivel

Y2	16000 dec
Y1	0 dec
X2	20 mA
X1	4 mA

Tabla 2-4 Datos para cálculo de escalamiento máximo de nivel.

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

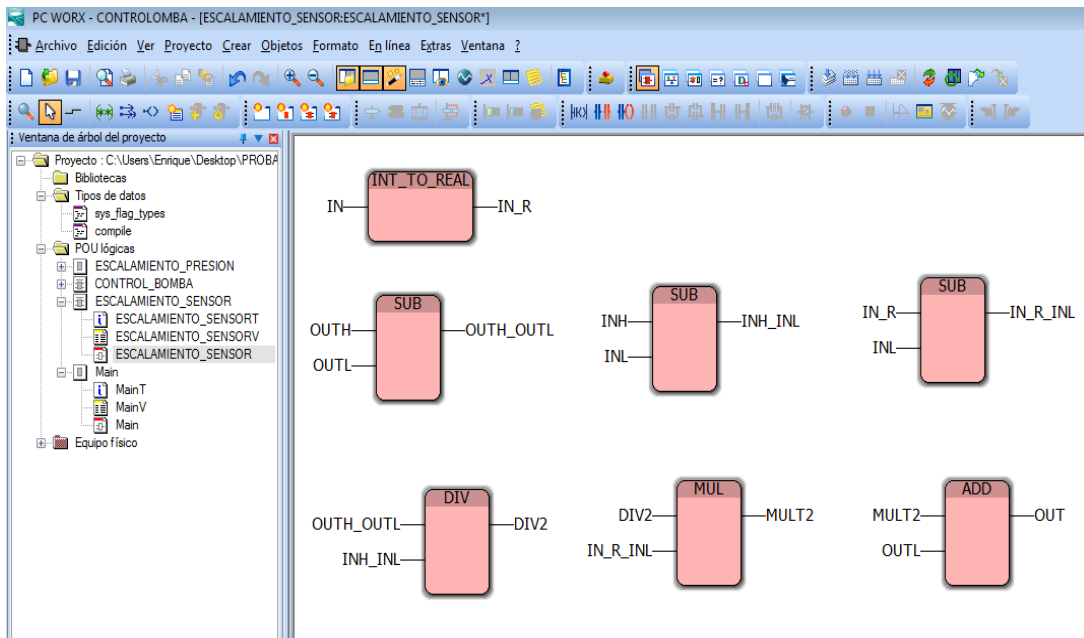
$$m = 1 \text{ [M]}, \quad b = -4000$$

$$y = mx + b$$

$$y_{min} = (1 \text{ [M]} * 8.85 \text{ [mA]}) - 4000$$

$$y_{max} = 4850 \text{ dec}$$

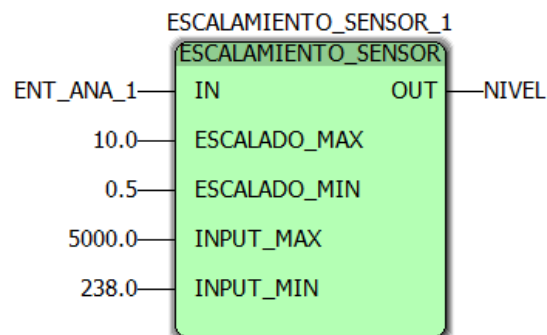
Una vez calculados y obtenidos los valores de escalamiento se procede a diseñar la normalización y escalamiento de la señal del transmisor de nivel en la herramienta de ingeniería PC WORX EXPRESS. El diseño de la normalización y posterior escalamiento se puede observar en la figura 2-14.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-14 Normalización y escalamiento de transmisor de nivel.

Los datos generados por el transmisor de nivel son ingresados al parámetro **IN** (tipo de dato **INT**) del bloque de funciones creado en PC WORX EXPRESS denominado "ESCALAMIENTO_SENSOR_1". Los parámetros mínimos y máximos (**INH**, **INL**, **OUTH** y **OUTL**) calculados anteriormente se utilizan para realizar el escalado y normalizado de la señal de entrada, almacenándola en la variable **IN** del bloque de funciones de la figura 2-15.

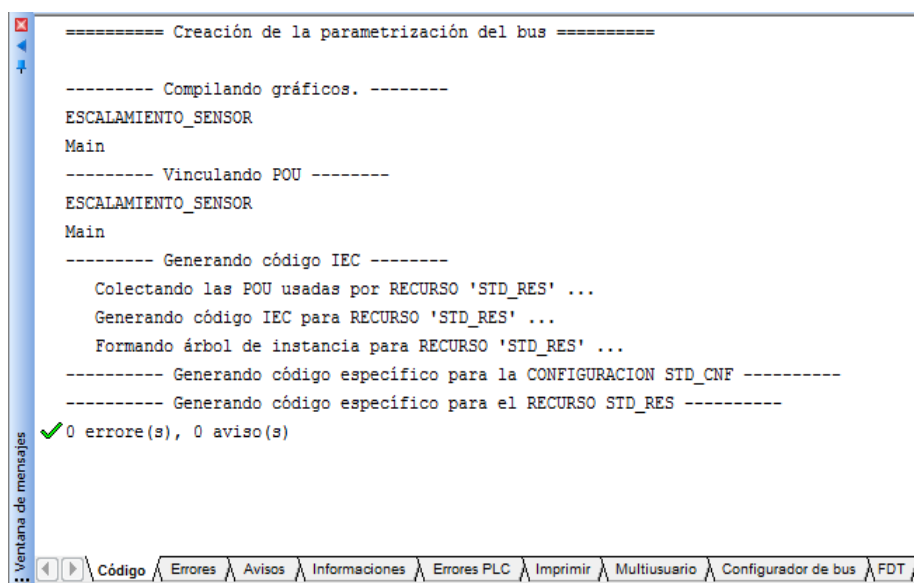


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-15 Bloque de funciones Escalamiento_sensor_1.

El valor de 10.0 se ingresa en el rango máximo del bloque (ESCALADO_MAX), el valor 0.5 se ingresa en el parámetro (ESCALADO_MIN), luego dichos datos se compilan (Figura 2-17) y se descarga en el ILC 131 ETH.

Como todo proyecto debido a que los valores teóricos a comparación de los prácticos presentan un pequeño margen de error, se debieron ajustar los rangos para que el nivel del líquido en el estanque quedara lo más exacto posible en el software, es por esto que se ingresan en “ESCALAMIENTO_SENSOR_1” los valores de 238.0 en la variable INPUT_MIN y 5000.0 en la variable INPUT_MAX.



```

===== Creación de la parametrización del bus =====

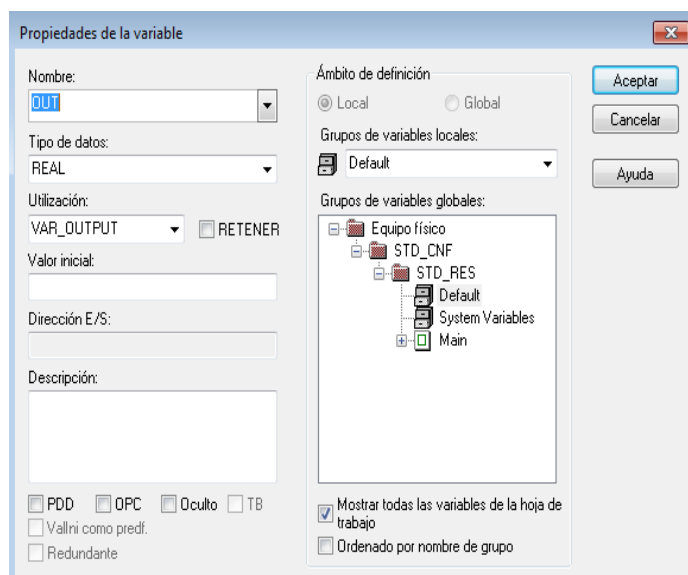
----- Compilando gráficos. -----
ESCALAMIENTO_SENSOR
Main
----- Vinculando POU -----
ESCALAMIENTO_SENSOR
Main
----- Generando código IEC -----
  Colectando las POU usadas por RECURSO 'STD_RES' ...
  Generando código IEC para RECURSO 'STD_RES' ...
  Formando árbol de instancia para RECURSO 'STD_RES' ...
----- Generando código específico para la CONFIGURACION STD_CNF -----
----- Generando código específico para el RECURSO STD_RES -----
✓ 0 errore(s), 0 aviso(s)
  
```

At the bottom of the window, there is a menu bar with the following options: Código, Errores, Avisos, Informaciones, Errores PLC, Imprimir, Multiusuario, Configurador de bus, FDT.

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-16 Compilación del programa.

La señal de salida del bloque creado en PC WORX EXPRESS se almacena en una variable denominada OUT de tipo de datos REAL la cual se observa en la figura 2-17.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-17 Variable de salida del diagrama de bloques.

2.2.3.2 Escalamiento del transmisor de presión

Para realizar el escalamiento del transmisor de presión Keller 26Y se registraron los datos de presión de la planta con sus respectivos valores de corriente, con esto se realizaron los siguiente cálculos.

Datos para cálculo de escalamiento máximo de presión

Y2	16000 dec
Y1	0 dec
X2	20 mA
X1	4 mA

Tabla 2-5 Datos para cálculo de escalamiento máximo de presión.

$$m = \frac{Y2 - Y1}{X2 - X1}$$

$$m = 1 [M], \quad b = -4000$$

$$y = mx + b$$

$$y_{max} = (1 \text{ [M]} * 6.6 \text{ [mA]}) - 4000$$

$$y_{max} = 2600 \text{ dec}$$

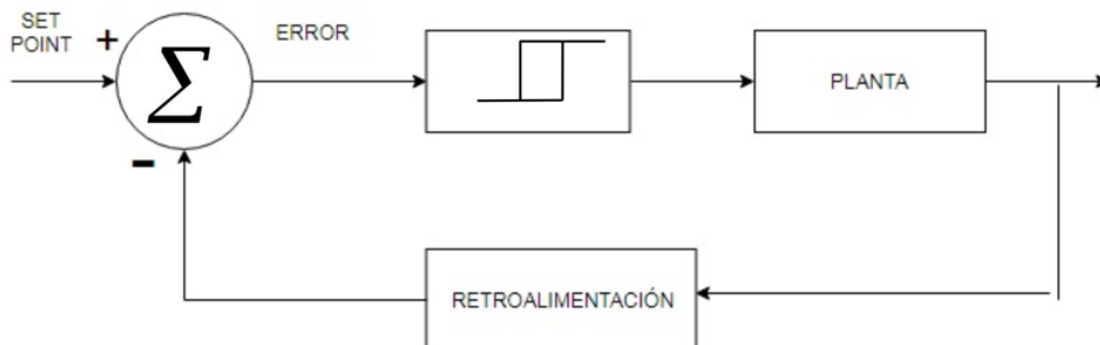
Una vez obtenidos los datos generados por el transmisor de presión con sus respectivos valores mínimos y máximos en decimal, se procede a realizar el escalamiento. Se debe hacer el mismo procedimiento de la tabla 2-1 mencionada anteriormente.

2.2.4. Acción de control

Los distintos modos para controlar el proceso pueden ser:

- ON-OFF: Actúa ante la presencia de error.
- Control Proporcional (P): Actúa sobre la cantidad de error.
- Control proporcional, integral (PI): Actúa sobre el promedio de error.
- Control proporcional, integral y derivativo PID: Actúa sobre la velocidad de cambio de error.

Como se estableció previamente, el modo de control seleccionado es el control ON-OFF con histéresis de la figura 2-18.



Fuente: Elaboración propia

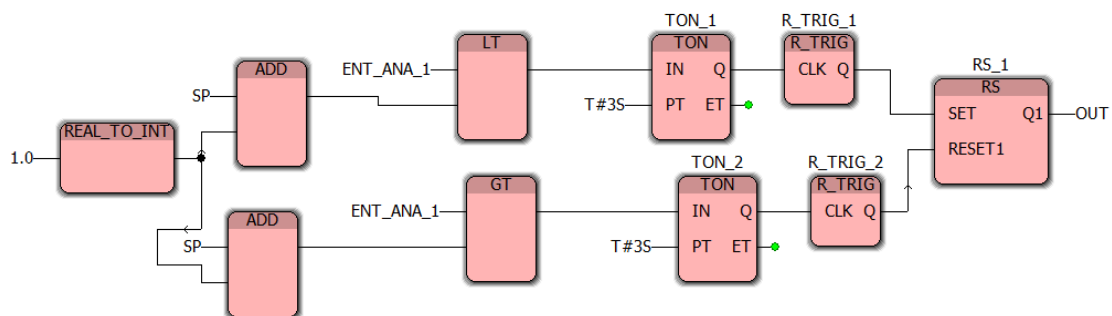
Figura 2-18 Diagrama de bloques del sistema de control.

En este sistema de control de dos posiciones, el controlador ILC 131 ETH en respuesta a la señal de error generada, solo tiene dos estados de nivel a su salida como acción de control, independientemente de que el elemento final de control (bomba SPX CM30) pueda trabajar con posiciones intermedias.

En este tipo de control es muy simple y barato, razón por el cual su uso es extendido y desarrollado en sistemas de control tanto industriales como domésticos, aparte de que muestra mucho de los compromisos fundamentales inherentes a todas las soluciones de control. En resumen y en lo que respecta a este proyecto, el controlador es el instrumento diseñado para detectar y corregir el error producido al comparar el valor de referencia, consigna o set point con el valor de las variables medidas a controlar y monitorear en el proceso. Se hizo uso de la entrada física analógica AI 1.1 del módulo IB IL AI 4/I/4-20-ECO 0.1 para leer los datos generados por el sensor de nivel del estanque B102 de la Estación de Trabajo Riegel y una salida física Q1.1 del módulo digital IB IL DO 4/I/O-24-ECO 0.1 para controlar la bomba SPX CM30.

2.2.5. Control ON-OFF del subsistema de nivel

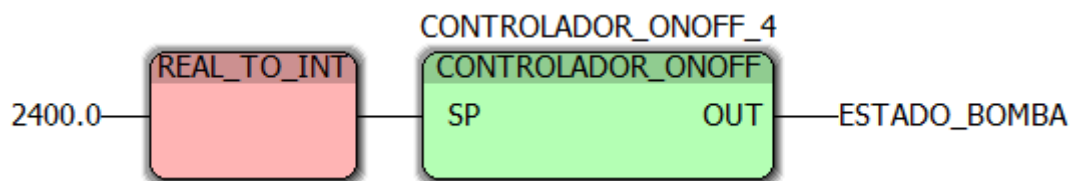
Para realizar el control ON-OFF con histéresis del subsistema de nivel se crea el bloque de función llamado CONTROLADOR_ONOFF_4 en PC WORX EXPRESS de Phoenix Contact de la figura 2-19.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-19. Acción de control ON-OFF.

En la configuración de los parámetros se utilizó un set point o valor de consigna de 5 litros que equivalen a 2400 en decimal, un direccionamiento de entrada con la señal del transmisor de nivel (keller 26Y) en la variable ENT_ANA_1 y una dirección de salida digital denominada OUT. El valor de la histéresis seleccionado es de 1.0. En la siguiente figura 2-20 se puede observar el bloque creado para el control ON-OFF del subsistema de nivel.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-20. Bloque de función control bomba.

2.2.6. Actuador subsistema de nivel

Un actuador es un elemento capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso (sistema) con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Existen varios tipos de actuadores como:

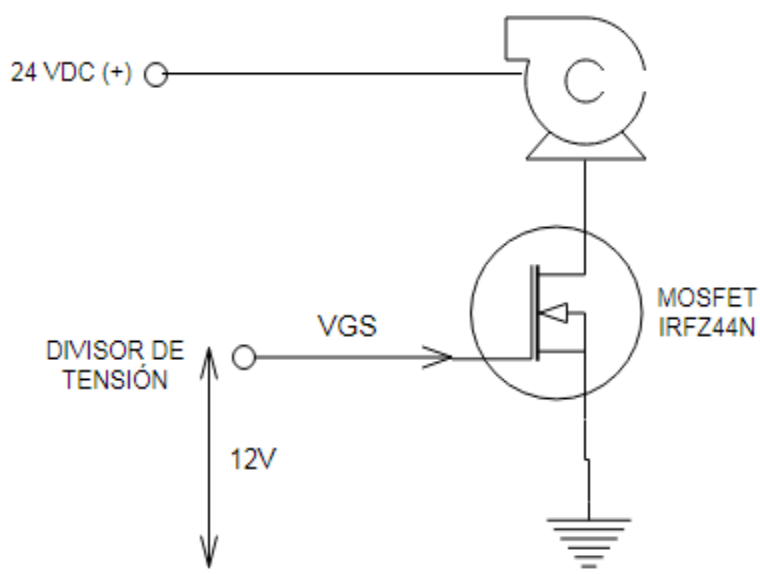
- Electrónicos.
- Hidráulicos.
- Neumáticos.
- Eléctricos.
- Motores.
- Bombas.

En este proyecto el actuador elegido para controlar el subsistema de nivel será la bomba centrífuga, la cual permite impulsar el líquido desde el estanque B101 hacia el estanque B102. Para controlar la bomba SXP CM30 se utiliza la salida Q1.1 del módulo de

salida digital IB IL DO 4/I/O-24-ECO 0.1 que generara una señal de voltaje de dos niveles (0-24V) con una intensidad de corriente de 500 mA, lo que implica tener que diseñar un circuito que logre adaptar, tanto el nivel de tensión como el de corriente.

En este circuito más conocido como etapa de potencia, además de acondicionar la señal de salida del ILC 131 ETH, también proporciona protección a la salida digital del módulo digital del PLC Inline, ya que se generan sobre picos de tensión al cortar la corriente de alimentación del actuador (ya que se trabaja con una acción de control ON-OFF), además que la bomba SPX CM30 demanda más corriente de la que el módulo digital puede generar y tolerar, pudiendo ocasionar que la salida de este se dañe. Se utilizó el transistor mosfet IRFZ44N, el cual está construido para manejar potencias altas y es ideal para aplicaciones de conmutación.

El diagrama y la conexión final del circuito pueden visualizarse en la figura 2-21.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-21. Diagrama etapa de potencia.

Se diseñó un divisor de voltaje para la salida digital Q1.1, ya que el Mosfet IRFZ44N tolera un voltaje máximo VGS (Voltaje Gate-Source) de ± 20 V según el datasheet y la

salida digital del ILC 131 ETH es de 24 Volts cuando esta está activa pudiendo estropear el Mosfet.

Para disminuir el voltaje de salida del módulo digital IB IL DO 4/I/O-24-ECO 0.1 se procede a calcular el valor de las resistencias que conforman el divisor de tensión para obtener un valor de VGS de 12 Volts, ya que con este valor se logra saturar el Mosfet, y se puede trabajar en el estado de corte y saturación. Para realizar los cálculos se da un valor de R2 de 1kΩ.

$$V_{GS} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) * V_{plc}$$

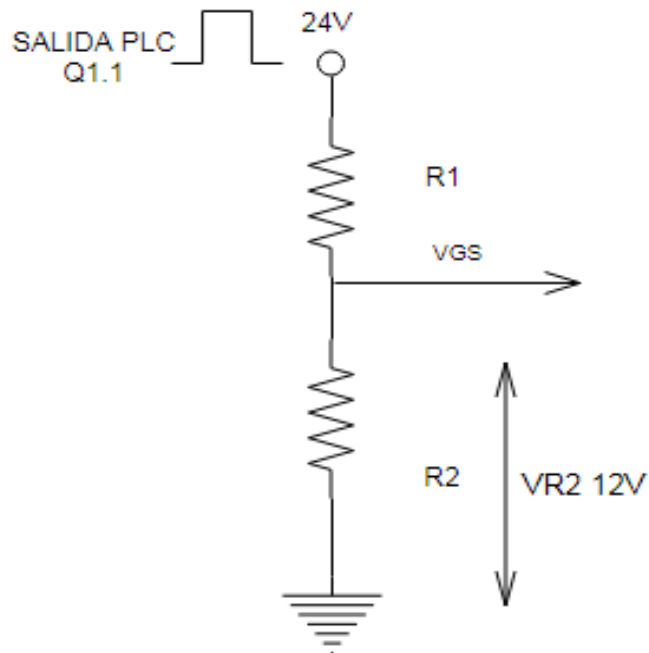
$$12v = \left(\frac{1k}{R_1 + 1k} \right) * 24$$

$$12 * (R_1 + 1k) = 1k * 24V$$

$$12R_1 = 24000 - 12000$$

$$R_1 = 1k\Omega$$

Los 12 voltios en el Gate del mosfet (VGS) para trabajar el transistor en los estados de corte y saturación se logran con un valor de 1kΩ en ambas resistencias (R1 y R2) del divisor de tensión diseñado como se muestra en la figura 2-22.

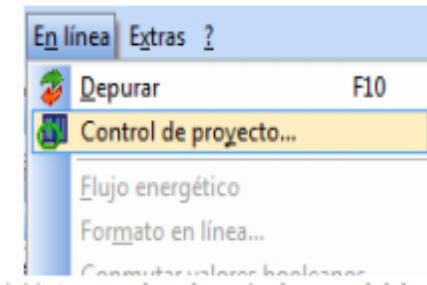


Fuente: Elaboración propia

Figura 2-22. Divisor de tensión para salida digital de PLC.

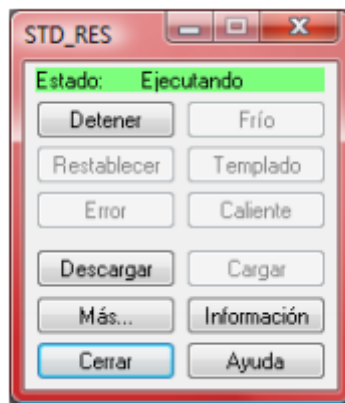
2.2.7. Descarga del proyecto al controlador

Por último después de haber compilado y ensamblado correctamente la aplicación de control, es posible llevar a cabo la descarga del proyecto realizado en PC WORX EXPRESS al autómata programable ILC 131 ETH de Phoenix Contact a través de la aplicación “Diálogo de control de proyecto”, a la que se accede desde la barra de herramientas o desde el menú en línea como se observan en las figuras 2-23 y 2-24.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-23. Acceso a la aplicación de control del proyecto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-24. Aplicación de control del proyecto.

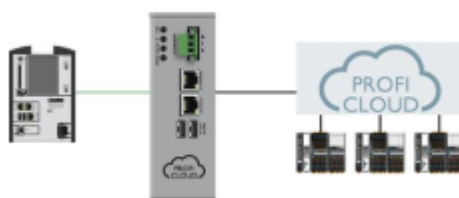
2.2.8. Acceso al internet de las cosas (IoT)

Una dificultad del sistema Profinet es que no soporta el enrutado. En una red Profinet no se puede pasar a través de un router, ya que cualquiera cortaría los telegramas de Profinet, porque está pensado para trabajar en redes a nivel local.

El acceso al internet de las cosas se logra a través del dispositivo llamado acoplador de Proficloud (Gateway IoT Cloud), el cual tiene dos interfaces físicas; una para conectar la red Ethernet local de Profinet y la otra para conectarse a la nube mediante salida a internet.

2.2.9. Configuración del Gateway IoT Cloud

El acoplador de Proficloud (Gateway IoT Cloud) de la figura 2-25 es el elemento que permite el acceso a internet de la red local Ethernet.



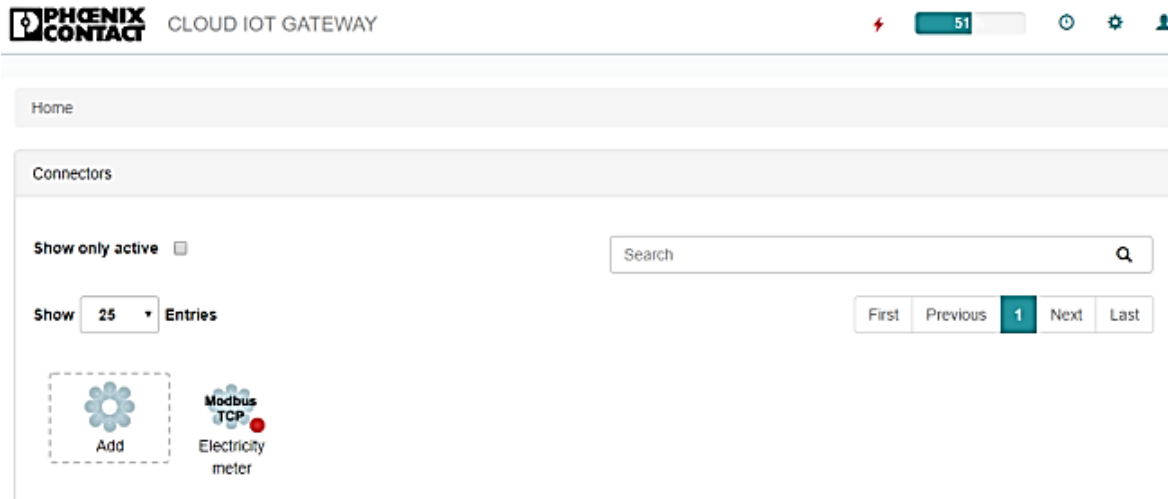
Fuente: www.proficloud.net

Figura 2-25. Acoplador Proficloud (Gateway IoT Cloud).

A través de la gestión basada en web se configura la puerta de enlace Gateway IoT Cloud, el cual permitirá crear métricas para que los datos del proceso, en este caso los datos generados por los sensores serán transmitidos a la nube IoT Cloud y a la página web Proficloud.

Para establecer la conexión entre el Gateway y los dispositivos que conforman la red local se debe conectar el PC a la toma RJ45 “ETH2 local” del Gateway mediante un cable Ethernet, abrir el navegador web en el PC y en el campo de dirección escribir la dirección IP del Gateway que por defecto es la 192.168.10.10.

Se procede a crear una conexión y seleccionar el protocolo de comunicación el cual será usado, en el caso Modbus/TCP. En la siguiente figura 2-26 se puede observar la conexión creada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-26 Aplicación del Gateway IoT Cloud.

En el área de configuración de conectores se debe introducir la dirección IP del dispositivo que trabajará como servidor Modbus TCP, en este caso el ILC 131 ETH, cuyos sensores o datos del proceso serán llamados desde la puerta de entrada IO.

Se debe además introducir el puerto del dispositivo (en este caso el 502) y la ID del esclavo servidor Modbus/TCP la cual corresponde a la ID número 2.

En la figura 2-27 se muestra la configuración del Gateway IoT Cloud. Además se puede apreciar el establecimiento correcto de la conexión (luz verde) entre PLC y Gateway a través del protocolo de comunicación Modbus/TCP.



ilc_131_eth

▼ Connector settings

Name

ilc_131_eth

Cycle (in ms)

1000

Active ☒

Protocol specific settings

Device Address

192.168.0.2

Device Port

502

Slave Id

2

Timeout (in ms)

2000

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-27 Configuración Gateway IoT Cloud.

El siguiente paso es crear y configurar (figura 2-28) las métricas del proyecto. Hay que crear una métrica para cada sensor o dato de proceso a transmitir.

Los datos generados por los sensores se envían a la aplicación del Gateway IoT Cloud, desde donde se transfieren o transmiten a Proficloud como una métrica. La asignación se realiza por medio de direcciones de registro Modbus.

Metric Settings	
Name	PRESION_B102
Buffer Size	4000
Update Condition ?	
Protocol Specific Settings	
Modbus Function	(0x04) Read Input Registers
Starting Register As Decimal	0
Value Type	int

Fuente: Elaboración propia

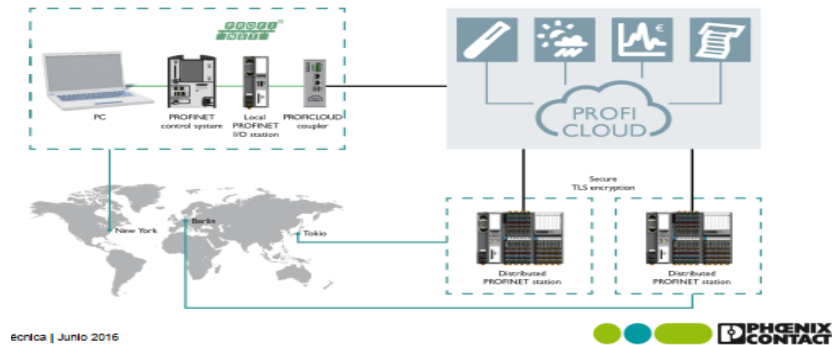
Figura 2-28. Configuración métrica Gateway IoT Cloud.

El código de función Modbus seleccionado para que la pasarela IoT utilice para leer los datos generados por los sensores de nivel y presión de la planta Riegel es el 0x04 lectura de registros de entrada. Las direcciones de inicio del registro Modbus utilizadas serán desde la 0 hasta la 4, todo esto depende de la cantidad de datos o sensores con los que se trabaja en el proyecto.

2.2.10. Configuración de la aplicación IoT (Proficloud)

Proficloud permite expandir Profinet (Estándar Ethernet Industrial Abierto) y llevarlo al internet de las cosas (IoT). Se puede conseguir el monitoreo de las variables de

una red local de Profinet a través de internet. El único requisito para Proficloud como se puede observar en la figura 2-29 es que exista acceso a internet.



Fuente: www.proficloud.net

Figura 2-29 Tecnología Proficloud.

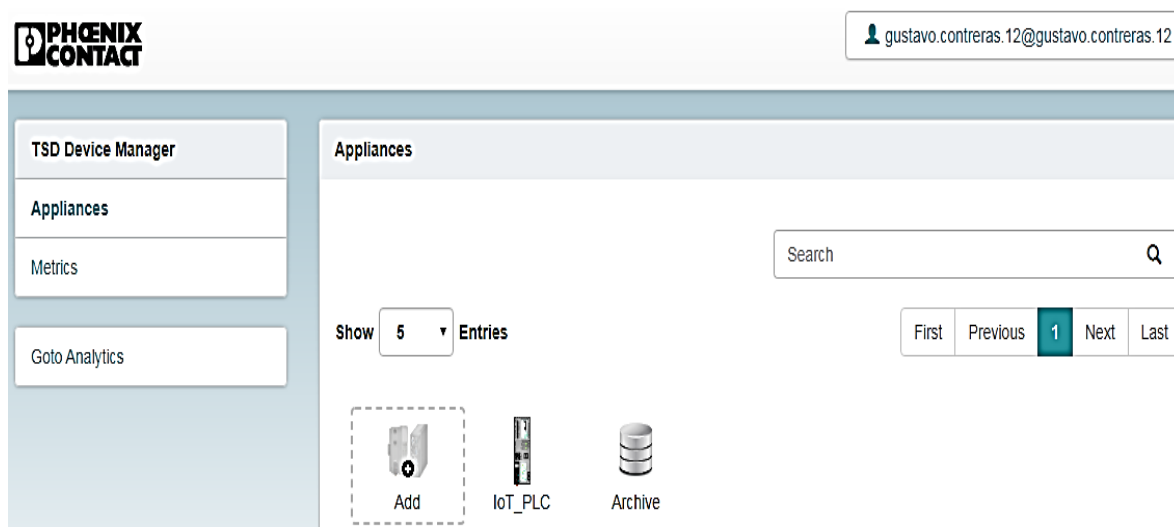
Desde el punto de vista de la ingeniería, Proficloud se basa en una página web que nos permite conectar dispositivos remotos en un sistema local de Profinet.

Se procede a abrir la página web www.proficloud.net, registrarse e iniciar sesión como en la figura 2-30.

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-30 Inicio de sesión a Proficloud.

En la siguiente figura 2-31 se puede observar ya agregado el Gateway IoT Cloud a Proficloud. Al conectar el IoT Cloud a internet se pondrá online y se registra en la nube de Proficloud.



Fuente: Elaboración propia

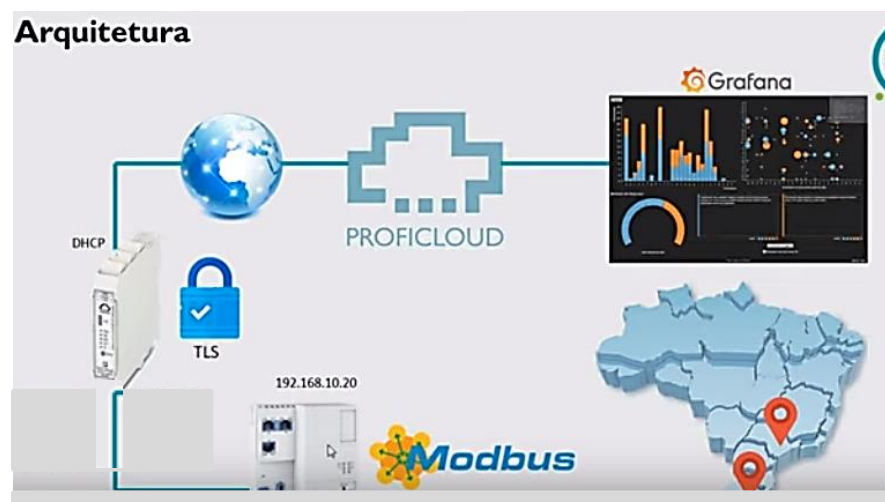
Figura 2-31 Añadir Gateway IoT Cloud a Proficloud.

La idea de Proficloud es ampliar la red Profinet para llevarlo a instalaciones que pueden estar geográficamente distintos. Los dispositivos Proficloud son elementos conectados a través de internet que aparecerán en la red local del PLC de forma que el PLC pueda manejarlos como si fueran dispositivos totalmente convencionales.

2.2.11. Desarrollo del monitoreo en la nube Proficloud

El monitoreo de las variables a través de internet se logra gracias al protocolo Modbus TCP/IP (figura 2-32), el cual trabaja con variables del tipo WORD. A través del dispositivo Gateway IoT Cloud se pueden enviar datos Modbus TCP/IP desde el puerto local del Gateway a una nube industrial por medio del puerto Internet del IoT Cloud. Se puede enviar y monitorear todas las variables de un proceso, incluso los sistemas

existentes, sin alterar necesariamente el programa actual realizado en la herramienta de ingeniería PC WORX EXPRESS.



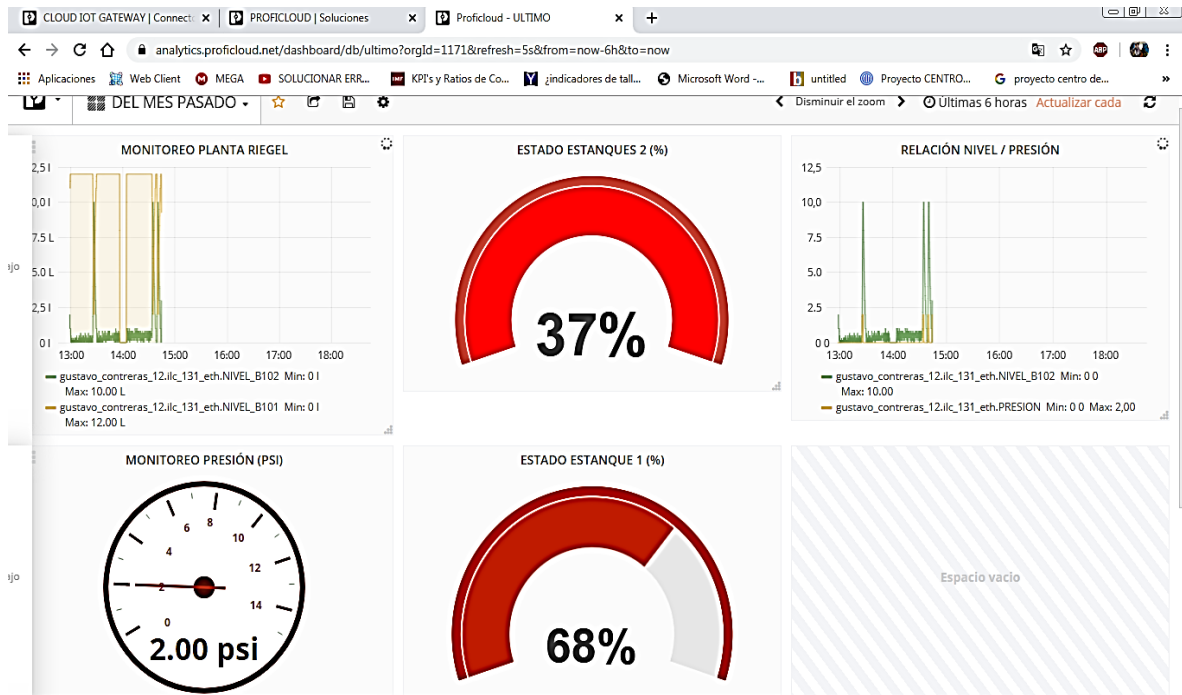
Fuente: Elaboración propia

Figura 2-32. Arquitectura de monitoreo en la nube Proficloud.

2.2.12. Diseño del dashboard a través de la nube Proficloud

El monitoreo de las variables se logra a través de Grafana, el cual es un software libre (código abierto) que permite la visualización de datos métricos, permitiendo crear cuadros de mando y gráficos a partir de múltiples fuentes, incluidas bases de datos de series de tiempo.

En la siguiente figura 2-33 se muestra el dashboard diseñado en Grafana, el cual contiene múltiples gráficos y paneles individuales organizados en forma de grilla. Los dashboards son el concepto clave detrás de Grafana, pues son el medio a través del cual se logra simplificar y agrupar métricas en una vista simple y amigable con el objetivo de mejorar la comprensión sobre los datos e información disponible en el proceso.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-33 Diseño dashboard Grafana.

El último paso es asignar las métricas creadas en el Gateway IoT Cloud a los paneles creados en Grafana de Proficloud para poder visualizar el comportamiento de las variables del proceso en tiempo real. En la siguiente figura 2-34 se asignan las métricas en los dashboard.

Grafico General **Métrica** Hachas Leyenda Monitor Intervalo de tiempo


 Fuente de datos gustavo_contreras_12 ▼

▼ UNA	Métrico	gustavo_	
	Etiquetas	gustavo_contreras_12.ilc_131_eth.NIVEL_B102	
		gustavo_contreras_12.ilc_131_eth.NIVEL_B101	
	Agrupar por	gustavo_contreras_12.ilc_131_eth.PRESION	
	Agregadores	+	
	Alias	default ▼	gustavo ⓘ

▼ si **Agregar consulta**

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-34 Asignación de métricas en Proficloud.

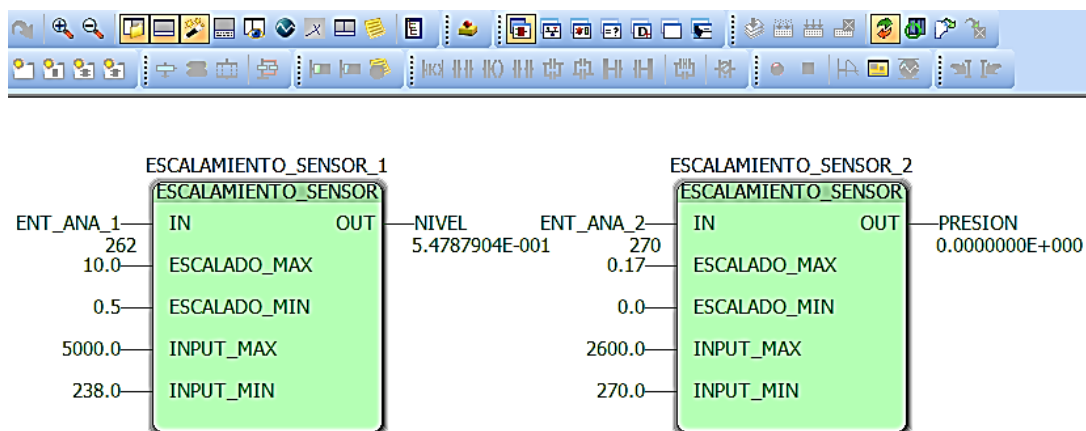
CAPÍTULO 3: RESULTADOS OBTENIDOS

3. RESULTADOS OBTENIDOS

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto como las simulaciones realizadas a través de la herramienta de ingeniería PC WORX EXPRESS, las pruebas de monitoreo realizadas a las distintas variables como nivel y presión que conforman la planta RIEGEL a través de la nube de Proficloud.

3.1. ESCALAMIENTO SENSORES EN TIEMPO REAL

Se puede observar en la figura 3-1 a través de la activación del depurador de PC WORX EXPRESS, el cual permite simular y ver los datos en tiempo real de todas nuestras entradas y salidas del proceso, que el escalamiento de los sensores de nivel y presión respectivamente es el correcto. La planta RIEGEL en su estado de reposo contiene una cantidad de 0,6 litros de agua en el estanque B102 lo que corresponde a un nivel de 6 [%] de llenado aproximadamente respecto al tamaño del estanque, mientras que el valor de la variable del subsistema de presión es de 0 psi ya que la bomba no ha sido alimentada con corriente por medio del ILC 131 ETH de Phoenix Contact.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1. Escalamiento sensor en tiempo real.

Para que el Gateway IoT Cloud pueda leer los registros Modbus creados en el Bus Modbus server del ILC 131 ETH, estos deben de ser del tipo de datos WORD.

Se debe ocupar una función de conversión de tipo, en este caso de real (REAL) a WORD, ya que las señales almacenadas en las variables de nivel y presión de los bloques de escalamiento son del tipo REAL.

En la figura 3-2 se observa la conversión de los datos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-2. Conversión de datos reales a Word.

Los datos generados por el sensor de presión y los dos sensores de nivel ubicados en los estanques B101 y B102 respectivamente de la planta RIEGEL son leídos por el Gateway IoT Cloud a través de registros Modbus que se pueden observar en la figura 3-3 por el puerto Ethernet local del ILC 131 ETH.

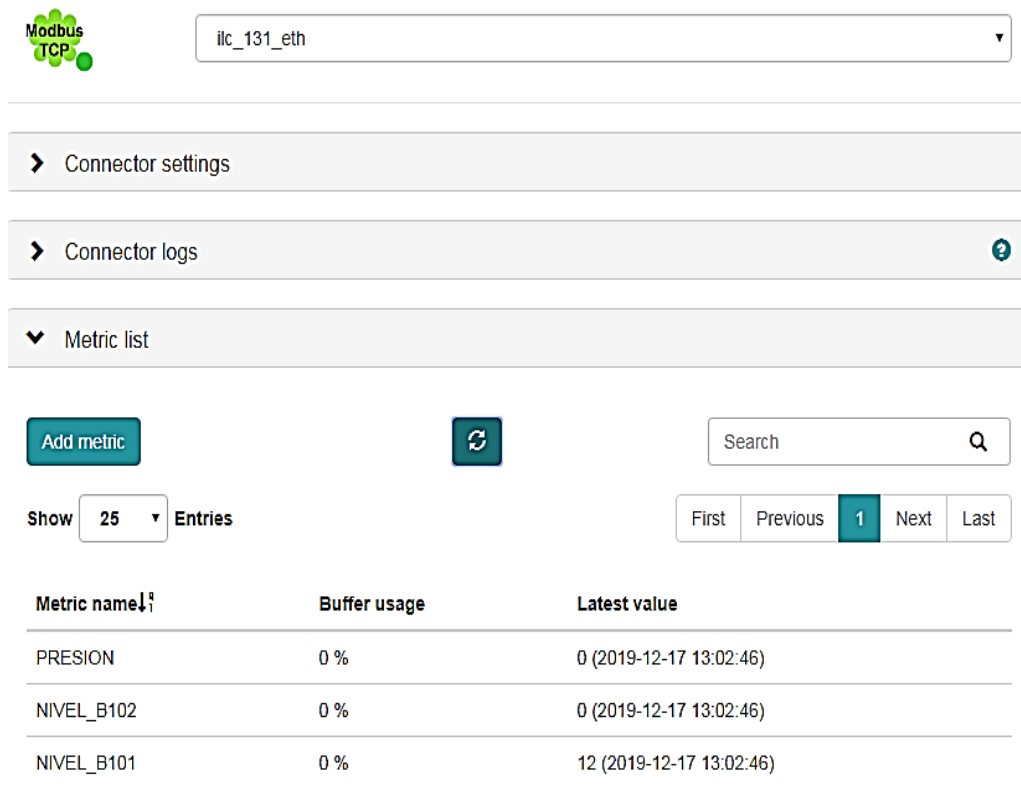
	Nombre	Tipo de datos	Cantidad	Dirección de los datos	Dirección	\$Beschreibung\$
1	REGISTRO_1	WORD	1	OUT	0	InputRegisters, ReadOnly (FC4)
2	REGISTRO_2	WORD	1	OUT	1	InputRegisters, ReadOnly (FC4)
3	REGISTRO_3	WORD	1	OUT	2	InputRegisters, ReadOnly (FC4)
4	REGISTRO_4	WORD	1	OUT	3	InputRegisters, ReadOnly (FC4)
5	REGISTRO_5	WORD	1	OUT	4	InputRegisters, ReadOnly (FC4)

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-3. Registros Modbus en PC WORX EXPRESS.

Estos datos son recibidos por el Gateway a través de su puerto Ethernet local y almacenados en él como métricas. En la figura 3-4 se puede observar la comunicación lograda (luz verde) entre el ILC 131 ETH y Gateway, además de las métricas creadas a través de la gestión basada en web que proporciona Phoenix Contact y el correcto funcionamiento de los datos leídos y recibidos desde el ILC 131 ETH por el Gateway en tiempo real.

Se puede observar un valor de 0 (psi) en la métrica llamada presión y un valor de 12 en la métrica nivel_b101 que corresponde a la cantidad de litros de agua almacenada en el estanque B101 (en este caso 12 [L]) lo que equivale a un nivel de 100 [%] de llenado respecto al tamaño de este y de 0 en la métrica nivel_b102 lo que equivale a un nivel de 0 [%], lo cual coincide con los valores reales de la planta RIEGEL en estado de reposo.



Modbus TCP

ilc_131_eth

Connector settings

Connector logs

Metric list

Add metric

Search

Show 25 Entries

First Previous 1 Next Last

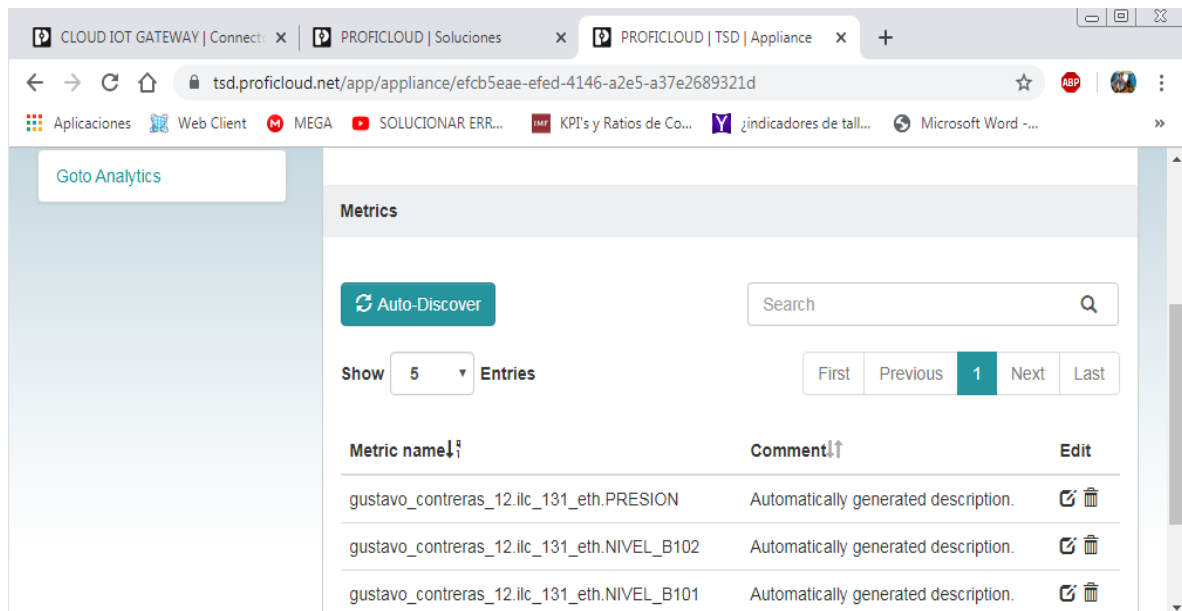
Metric name	Buffer usage	Latest value
PRESION	0 %	0 (2019-12-17 13:02:46)
NIVEL_B102	0 %	0 (2019-12-17 13:02:46)
NIVEL_B101	0 %	12 (2019-12-17 13:02:46)

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-4. Gateway gestión basada en web.

3.2. VERIFICACIÓN DE LAS MÉTRICAS EN LA NUBE DE PROFICLOUD

Las métricas creadas en el Gateway IoT Cloud deben aparecer en la página de Proficloud de la figura 3-5 para poder visualizar y monitorear el comportamiento de los subsistemas de nivel y presión en tiempo real en el dashboard de grafana.



Fuente: Elaboración propia

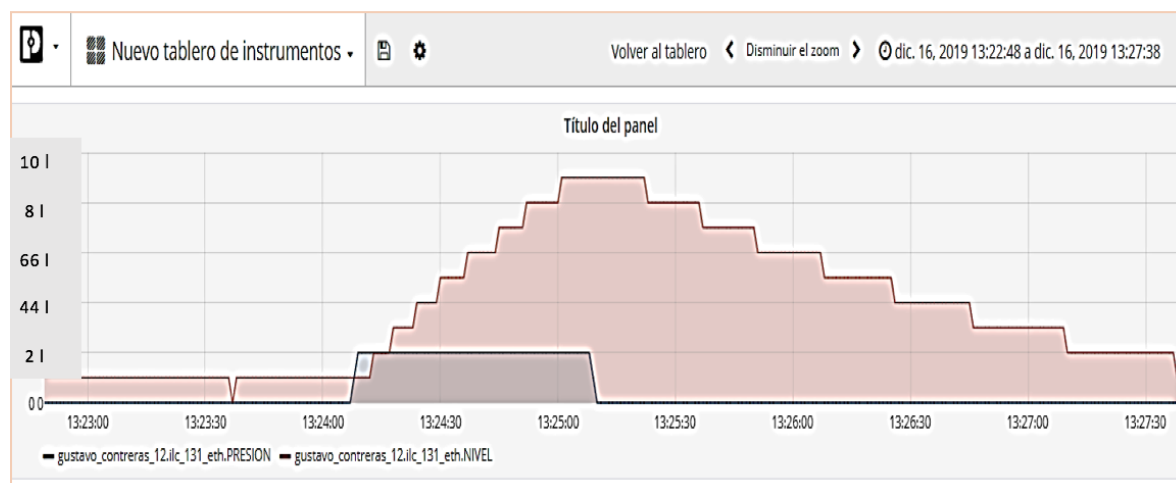
Figura 3-5 Métricas creadas en www.proficloud.net.

3.3. PRUEBAS DE MONITOREO A TRAVÉS DE LA NUBE DE PROFICLOUD

En la figura 3-6 se muestran las primeras pruebas que se realizaron para lograr el monitoreo de los subsistemas que conforman la planta RIEGEL (nivel y presión). Cabe señalar que en la figura 3-6 se muestran los valores en tiempo real de la cantidad exacta de litros de agua en el estanque. La señal roja corresponde a los datos generados por el sensor de nivel del estanque B102 en el cual se puede observar que la señal va en aumento cuando la bomba SPX CM30 está siendo activada por el ILC 131 ETH, y debido a

esto se puede interpretar que el nivel en el estanque B102 va incrementando, subiendo de un 6 [%] (límite inferior real del estanque) a aproximadamente el 100 [%] (límite superior real del estanque, que equivale a 10 [L] aproximadamente). Cuando la bomba SPX CM30 deja de impulsar líquido debido a la desconexión de la alimentación (señal azul decreciente) empieza a decaer en la gráfica la señal roja que corresponde a los datos generados por el sensor de nivel y se puede interpretar con esto que el nivel de líquido en el estanque B102 empieza a disminuir hasta llegar al 6 [%] de llenado aproximadamente con respecto al tamaño de este.

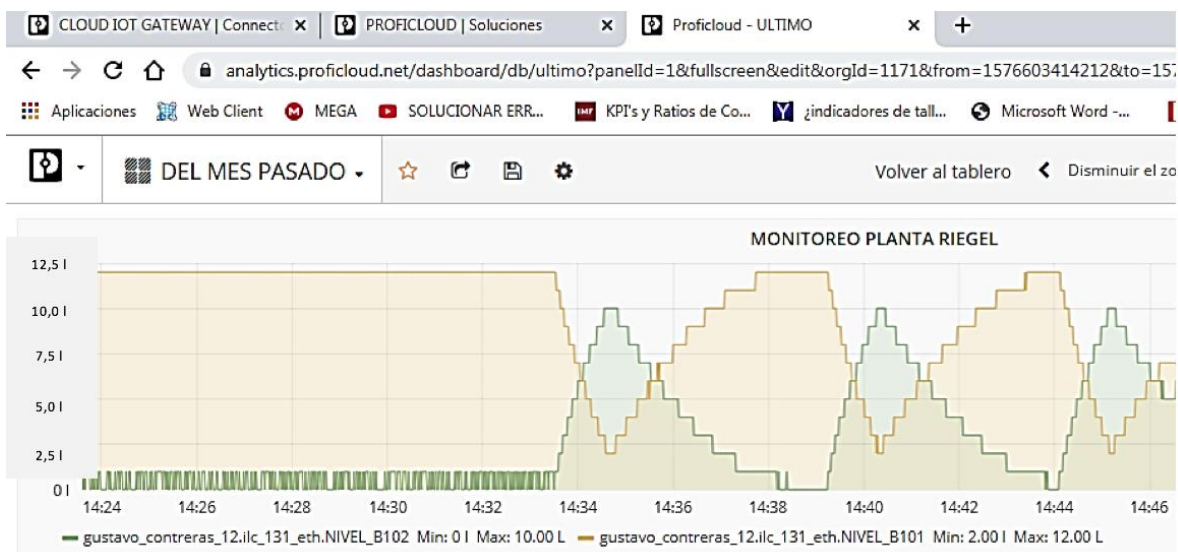
No se observa una pendiente creciente o decreciente perfecta debido a que la actualización de los datos del gráfico del dashboard presenta un delay de actualización de 5 segundos mínimo, además de haber aplicado zoom al gráfico.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-6. Pruebas en Grafana de Proficloud en tiempo real.

En la figura 3-7 se puede observar el comportamiento de la variable nivel en los estanques B101 y B102.



Fuente: Elaboración propia

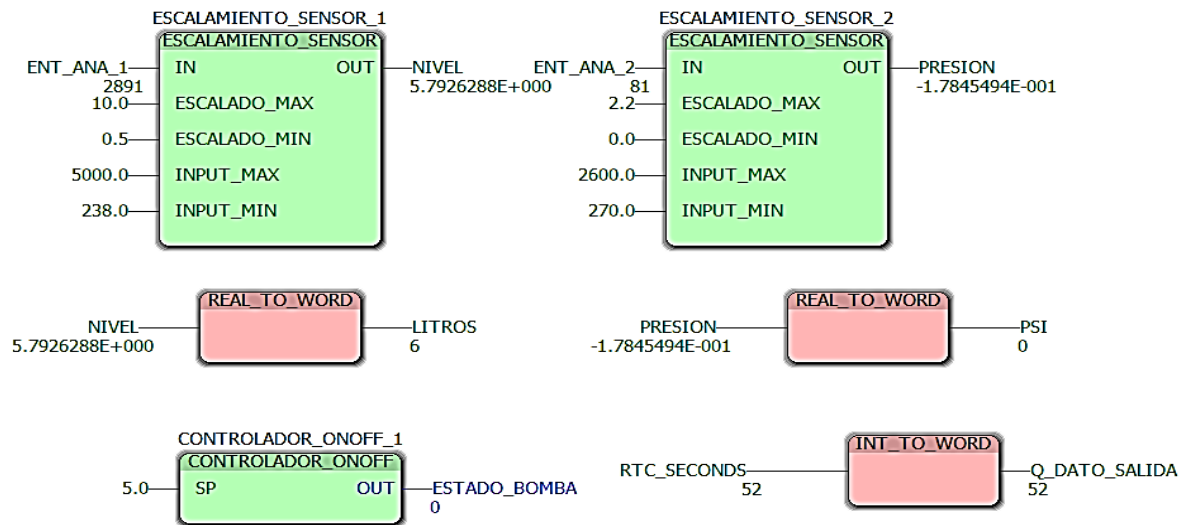
Figura 3-7 Pruebas de la variable nivel a través de Proficloud.

Como se observa el valor inicial de nivel del B101 (señal naranja) es de 100 [%], aproximadamente (12 litros), lo que corresponde al valor real en la planta RIEGEL, mientras que el valor inicial de nivel de llenado con respecto al tamaño del estanque B102 es de 6 [%] (0,6 litros). Se fuerza a activar la salida digital Q1.1 del módulo digital IB IL DO 4/I/0-24-ECO 0.1 a través de PC WORX EXPRESS para alimentar la bomba SPX CM30 y así monitorear el correcto funcionamiento de los sensores de nivel. Se observa que las señales son inversamente proporcionales. El valor máximo alcanzado por el estanque B102 es de 10 litros (100 [%] del nivel del estanque) y de 12 litros (100 [%] del nivel) del estanque B101 mientras que los valores mínimos alcanzados son de 0,6 litros (6 [%] del nivel de llenado con respecto al tamaño del estanque B102) y de 2 litros aproximadamente (20 [%] por el estanque B101).

Todos los valores máximos y mínimos alcanzados en la gráfica del dashboard corresponden a los valores reales de la planta RIEGEL.

3.4. CONTROLADOR ON-OFF CON HISTÉRESIS DEL SUBSISTEMA DE NIVEL

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 2, la acción de control utilizada es el control ON-OFF con histéresis, en el cual el valor del set point iba a ser de un 50% del nivel del estanque, lo que corresponde a un valor de 5 litros en este caso. En la siguiente figura 3-8 se puede observar el correcto funcionamiento del bloque de función de control con histéresis implementado en PC WORX EXPRESS. Como el control ON-OFF se ha diseñado con una histéresis de ± 1 se observa que cuando el nivel ha sobrepasado el 60 [%] (6 litros de consigna fijados) de llenado respecto al tamaño del estanque B102, la bomba SPX CM30 ya no recibe alimentación de parte del ILC 131 ETH y la presión de este subsistema decae a 0 psi.

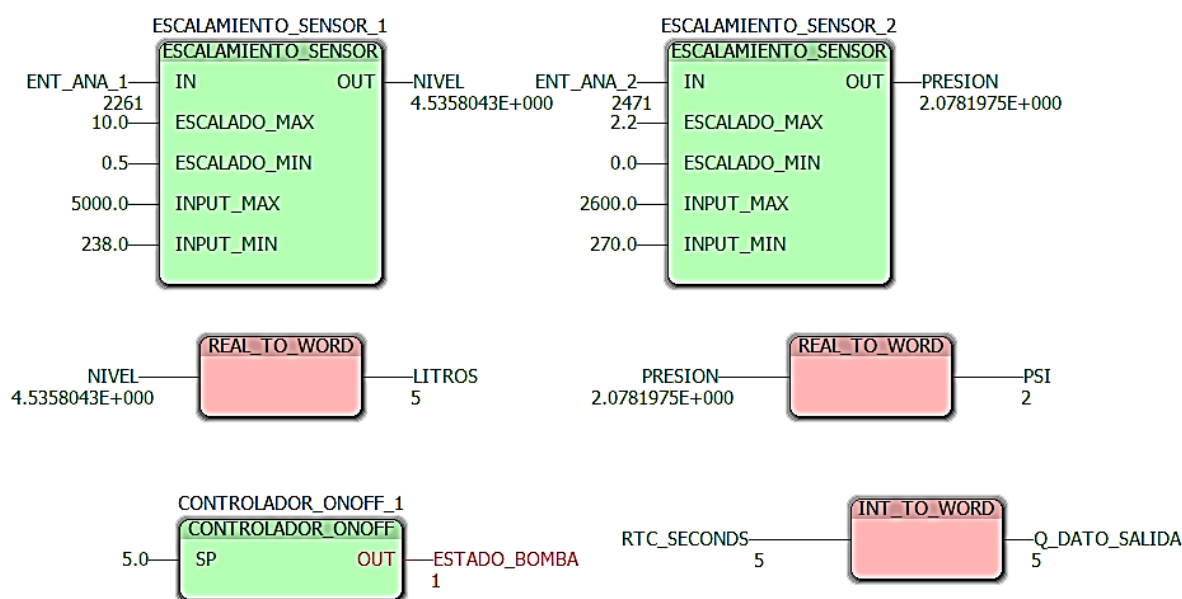


Fuente: Elaboración propia

Figura 3-8. Control ON-OFF en PC WORX EXPRESS. (1)

En cambio en la figura 3-9 se puede observar e interpretar que cuando el nivel del estanque B102 decae por debajo del valor de consigna establecido del 50 [%] , el ILC 131 ETH pone en alto la salida Q1.1 del módulo digital para alimentar la bomba y alcanzar la

consigna deseada. Se puede observar que la presión en el sistema ha subido al valor de 2 psi ya que la bomba SPX CM30 se ha puesto en marcha.

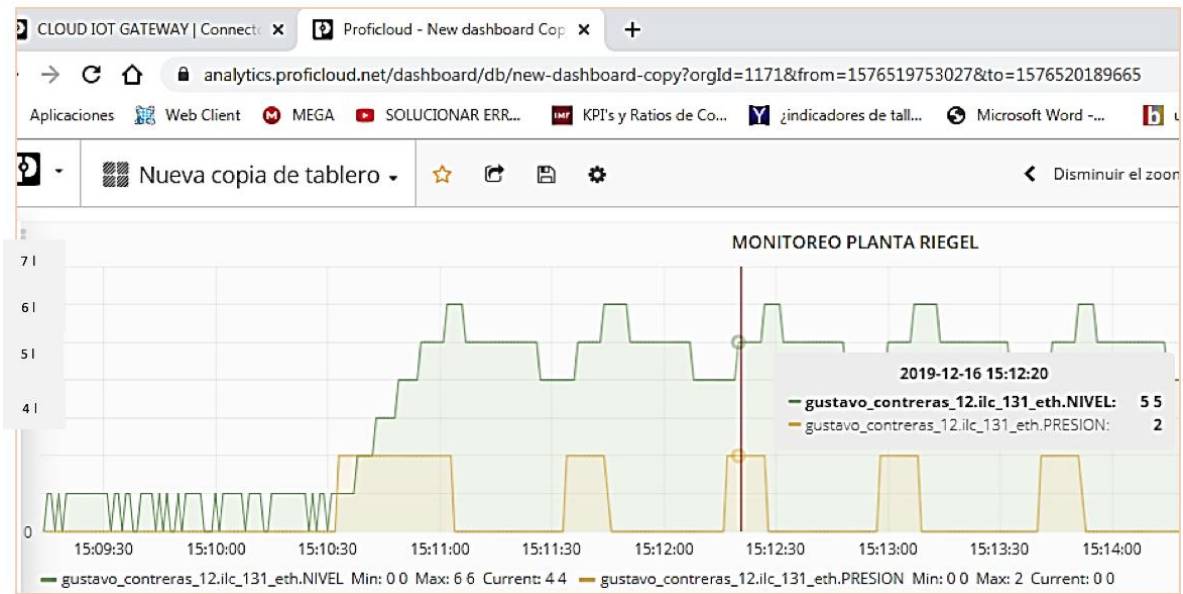


Fuente: Elaboración propia

Figura 3-9. Control ON-OFF en PC WORX EXPRESS. (2)

3.5. CONTROLADOR ON-OFF CON HISTÉRESIS DEL SUBSISTEMA DE NIVEL MEDIANTE LA NUBE DE PROFICLOUD

Con respecto al dashboard creado en Grafana a través de la nube de Proficloud, se observa en la figura 3-10 el accionamiento de la bomba SPX CM30 (señal naranja) en donde este comportamiento está relacionado directamente a un control ON-OFF. La señal del sensor de nivel del estanque B102 fluctúa entre los rangos de 4 a 6 litros, definidos por la histéresis. Además se puede apreciar debajo del gráfico los parámetros MAX y MIX en donde las señales han alcanzado su máximo y mínimo valor en el dashboard.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-10. Monitoreo planta RIEGEL por Proficloud.

En el dashboard de Proficloud también se visualiza la presión del sistema en tiempo real a través de una figura de manómetro que se puede observar en la figura 3-11. La presión se visualiza al usuario en unidad de PSI.

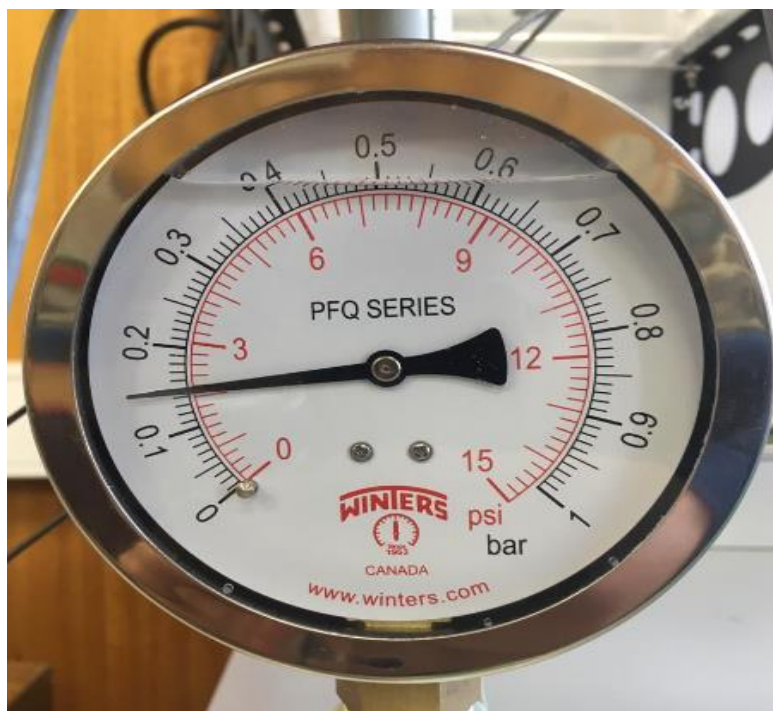


Fuente: Elaboración propia

Figura 3-11. Desarrollo de dashboard en Proficloud.

Los resultados obtenidos al comparar la presión leída real por el manómetro instalado en la planta RIEGEL y en el dashboard de Proficloud a través del protocolo Modbus TCP/IP al alimentar la bomba SPX CM30 a través de la salida digital Q1.1 del ILC 131 ETH son idénticas.

En la figura 3-12 se puede observar una medición de 2 psi al estar accionada la bomba SPX CM30.



Fuente: Elaboración propia

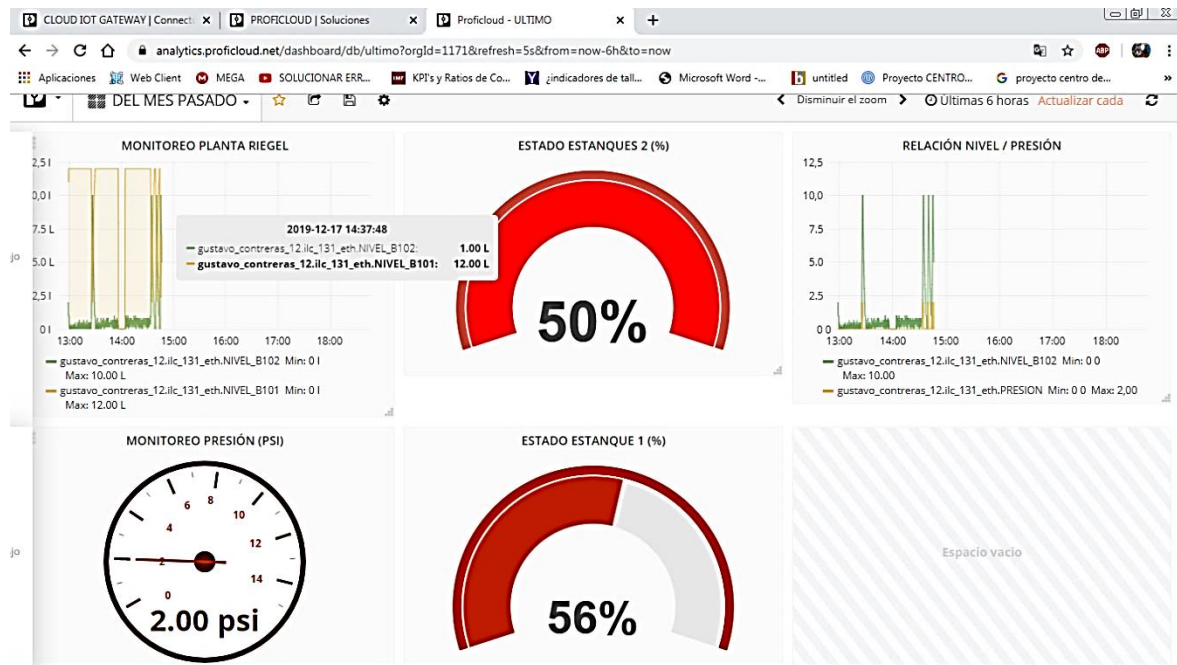
Figura 3-12. Valor de presión en manómetro Winters PFQ.

3.6. DASHBOARD EN LA NUBE DE PROFICLOUD

La función de un dashboard es mostrar información operativa en tiempo real y casi en tiempo real (en este caso existe un delay de actualización de 5 segundos en el dashboard de Grafana creado en la nube de Proficloud). Como se puede observar se proporcionaron gráficos de procesos visuales que aportan significado y contexto al proceso (planta RIEGEL) como por ejemplo el estado de los niveles de los estanques B101 y B102, además de valores de presión de la planta.

En la figura 3-13 se puede observar el dashboard diseñado en www.proficloud.net para el usuario u operador de la planta RIEGEL. Este dashboard representa gráficamente las principales variables las cuales se seleccionaron para tener el monitoreo de estas. Por un lado se puede observar el monitoreo del nivel de los dos estanques de la planta RIEGEL, con sus valores máximos y mínimos alcanzados, además del estado de

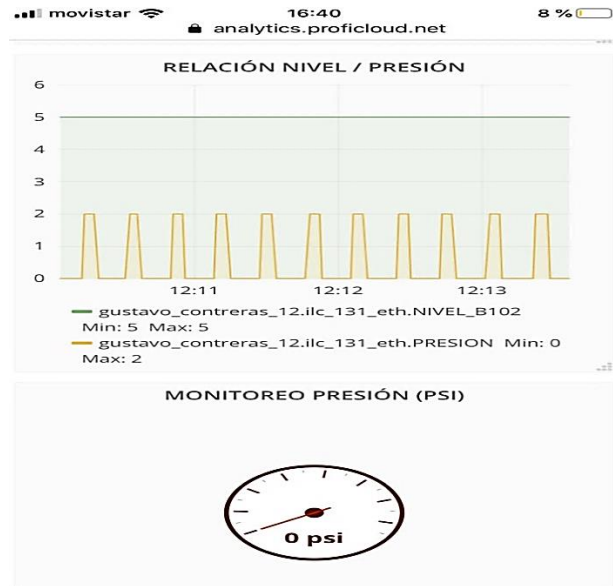
llenado de ellos a través de porcentaje. Por otro lado se observa la relación nivel/presión del estanque B102 con la activación de la bomba SPX CM30. Esta información mostrada es útil y procesable.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-13. Dashboard creado en Proficloud.

Además de poder monitorear las variables de nivel y presión de la Estación de Trabajo Riegel a través del PC, también se puede supervisar el estado en el que se encuentra la planta por medio de cualquier celular que tenga acceso a internet como se refleja en la figura 3-14, el cual es de mucha ayuda, ya que en cualquier parte del mundo se puede intercambiar y compartir datos con los dispositivos que forman parte de la red local gracias al internet de las cosas.

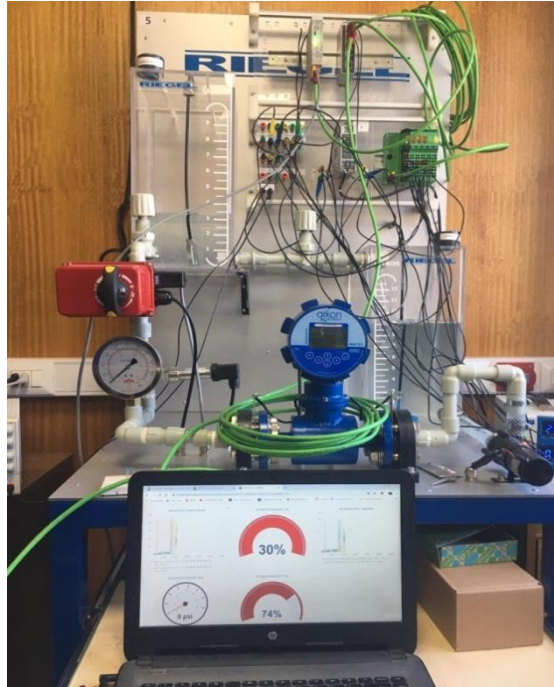


Fuente: Elaboración propia

Figura 3-14. Dashboard en Smartphone.

En la siguiente figura 3-15 se puede observar el hardware y el software que permitieron lograr el control y monitoreo en terreno de la planta RIEGEL.

El control y el monitoreo se pudo lograr gracias a los dispositivos como Gateway IoT Cloud, un switch, ILC 131 ETH Phoenix Contact y el Dashboard creado para el usuario u operador en Proficloud. El Dashboard diseñado se puede visualizar en la pantalla del PC.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-15. Hardware y Software de la planta RIEGEL.

CONCLUSIONES

El propósito de este trabajo de título fue lograr el monitoreo a través de internet de las variables físicas de presión y nivel de los subsistemas de la Estación de Trabajo Riegel. Además, otro objetivo fue implementar una acción de control utilizando la estrategia de control ON – OFF con histéresis.

Para conseguir este propósito fue necesario configurar el hardware y diseñar el software a través de distintas herramientas de ingeniería como PC WORX EXPRESS, Proficloud.net y la gestión basada en WEB del Gateway IoT Cloud. Además de crear un Dashboard permitiéndole al usuario u operador tener el monitoreo de las variables de una forma más amigable y sencilla.

El trabajar con el internet de las cosas (IoT) permite tener el monitoreo de las distintas variables físicas del sistema, independiente de la ubicación geográfica del operador con la planta (proceso en este caso la Estación de Trabajo Riegel).

El ocupar la nube que está relacionada con los procesos digitales, tiene grandes ventajas como la interacción ampliada del hombre y la máquina gracias a la comunicación vía Modbus TCP/IP, creación de servicios en la nube flexibles y seguros para su aplicación y uso en todo el mundo gracias al juego de desarrollo de software. Otra ventaja que se puede mencionar es el monitoreo del estado y control globales gracias al acceso directo a los datos del equipo de nivel de campo.

Por lo tanto, es de suma importancia conocer y trabajar con esta nueva tecnología por todos los beneficios que puede obtener de forma segura, rápida y fiable entre los productos, las personas y las empresas al estar conectados al internet de las cosas (IoT).

BIBLIOGRAFÍA

Manual de Módulo analógico Inline – IB IL AI 4/I/4.20-ECO [Consulta: Septiembre /2019].

Manual de Módulo digital Inline – IB IL 24 DO 4/EF-ECO [Consulta: Septiembre/2019].

Manual guía de usuario protocolo modbus TCP/IP. [Consulta: Octubre/2019].

<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cl?uri=pxcocitemdetail:pid=2702495&library=cles&tab=1>

<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cl?uri=pxcocitemdetail:pid=2702825&library=cles&tab=1>