

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno para mitigar la incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico

Elaborado por

José Alfredo Junior Gonzales Mera

 [0009-0000-5435-2261](https://orcid.org/0009-0000-5435-2261)

Asesor

MSc. Ricardo Raúl Rodríguez Bustinza

 [0000-0001-8672-1234](https://orcid.org/0000-0001-8672-1234)

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	(Gonzales, 2025)
Referencia/Reference	Gonzales, Mera. (2025). <i>Sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno para mitigar la incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural.</i>
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	[Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.

Dedicatoria

Con mucho amor a mis padres por su apoyo incondicional, quienes me impulsan a ser mejor cada día. A mi hermana menor por enseñarme que la vida es más divertida cuando hay compañía.

In Memoriam

En honor a mi abuela Felicitas, aunque ya no estes físicamente conmigo, desde el cielo sigues guiándome con sabiduría y amor.

Agradecimientos

A Dios, por darme la vida, la fe y la fortaleza para alcanzar mis metas

A la Facultad de Ingeniería Mecánica a la que debo mi formación profesional.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Mecánica por todos los conocimientos impartidos durante mi formación profesional,

El más sincero y profundo agradecimiento a mis profesores el Ing. Ricardo Raúl Rodríguez Bustinza y el Ing. Daniel Leonardo Barrera Esparta por su generoso desprendimiento y cooperación desinteresada en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Resumen

El crecimiento sostenido del consumo de gas natural en el Perú exige tuberías confiables a fin de evitar consecuencias como accidentes de explosión o grandes pérdidas monetarias significativas. La puesta en marcha de las redes de distribución requiere una prueba de hermeticidad previa que asegure que las tuberías operen correctamente bajo las condiciones de consumo, ambientales y de diseño que proporcionen un alto nivel de seguridad.

El propósito de esta investigación es diseñar un sistema de adquisición de datos en una red de distribución de gas natural en pruebas de hermeticidad en tuberías de polietileno. Este sistema debe validar la operatividad de las tuberías considerando el tiempo de muestreo, la duración de la prueba, la presión, la temperatura y la longitud de la tubería, con el fin de reducir las fugas.

Inicialmente, se recopila la información del área de la red de distribución de gas natural, los equipos, las condiciones en las que funciona el sistema de adquisición de datos. A continuación, se seleccionan los equipos, instrumentos de medición y controlador. Luego, se implementa el sistema de adquisición de datos y se configura la plataforma IOT (alarmas, gráficos de tendencias) que se integra al sistema de adquisición de datos local.

Finalmente, se realiza la puesta en marcha y validación del sistema de adquisición de datos con la finalidad de analizar y comparar los resultados de la prueba de hermeticidad respecto a valores referenciales establecidos por el órgano regulador que validara un correcto funcionamiento de la red de distribución de gas natural.

Palabras claves: prueba de hermeticidad, red de distribución, tuberías de polietileno, plataforma IOT.

Abstract

The sustained growth of natural gas consumption in Peru requires reliable pipelines to avoid consequences such as explosion accidents or significant monetary losses. The start-up of distribution networks requires a prior tightness test to ensure that the pipelines operate correctly under consumption, environmental and design conditions that provide a high level of safety.

The purpose of this research is to design a data acquisition system in a natural gas distribution network for leak testing of polyethylene pipes. This system must validate the operability of the pipes considering the sampling time, test duration, pressure, temperature and pipe length, to reduce leaks.

Initially, information is collected from the area of the natural gas distribution network, the equipment, and the conditions under which the data acquisition system operates. Next, the equipment, measuring instruments and controller are selected. Then, the data acquisition system is implemented and the IOT platform (alarms, trend graphs) is configured and integrated into the local data acquisition system.

Finally, the start-up and validation of the data acquisition system is carried out with the purpose of analyzing and comparing the results of the airtightness test with respect to reference values established by the regulatory body that will validate the correct functioning of the distribution network of natural gas.

Keywords: tightness test, distribution network, polyethylene pipes, IOT platform.

Tabla de Contenidos

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiv
Capítulo I. Generalidades	1
1.1 Antecedentes de la investigación	2
1.2 Descripción del problema de investigación.....	15
1.3 Formulación del problema	16
1.4 Justificación e importancia.....	16
1.5 Objetivo	17
1.6 Hipótesis	17
1.7 Variables y operacionalización de variables	17
1.8 Metodología de la investigación.....	18
1.8.1 Unidad de Análisis.....	18
1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación	18
1.8.3 Diseño de la investigación.....	19
1.8.4 Fuentes de información	20
1.8.5 Población y Muestra.....	20
1.8.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
1.8.7 Análisis y procesamiento de datos	20
Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....	22
2.1 Marco teórico.....	22
2.1.1 Sistemas de tuberías.....	22
2.1.2 Fuga de Gas	27
2.1.3 Fundamentos de la automatización industrial.....	27
2.1.4 Niveles de automatización.....	28
2.1.5 Sistemas de monitoreo.....	29
2.1.6 Cloud IOT.....	30
2.2 Marco conceptual	31
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	32
3.1 Introducción.....	32
3.2 Recopilación de datos	35
3.2.1 Descripción de la red de distribución.....	35

3.2.2	Especificación técnica de las pruebas de hermeticidad	36
3.2.3	Especificación técnica de registrador de datos	39
3.2.4	Especificación técnica de sensor de temperatura	40
3.2.5	Especificación técnica de sensor de presión	41
3.3	Procesamiento de la información.....	43
3.3.1	Diseño del sistema de adquisición de datos	43
3.3.2	Sensor/transmisor de temperatura	47
3.3.3	Transmisor de presión.....	50
3.3.4	Módulo de entradas analógicas	51
3.3.5	HMI(Registrador Local) – Desarrollo de Pantallas	53
3.3.6	Especificación técnica de controlador LoRaWAN	64
3.3.7	Especificación técnica Gateway LoRaWAN UG65	70
3.3.8	Conexiones eléctricas del tablero de adquisición de datos.....	77
	Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	84
4.1	Análisis de resultados del sistema de adquisición de datos.....	84
4.1.1	Pruebas de hermeticidad con subsistema 1	85
4.1.2	Pruebas de hermeticidad con subsistema 2	89
4.2	Resultados de pruebas de hermeticidad con subsistema 1	89
4.2.2	Pruebas de hermeticidad con subsistema 2	102
4.3	Contrastación de la hipótesis planteada	105
	Conclusiones	106
	Recomendaciones	107
	Referencias bibliográficas	109
	Anexos	111

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1.1 Operacionalización de variables.....	18
Tabla 3.1 Características técnicas del termómetro bimetalico WINTERS	41
Tabla 3.2 Características técnicas del manómetro analógico NUOVA FIMA.....	43
Tabla 3.3 Características técnicas de la termorresistencia TRF EO42075TRF	49
Tabla 3.4 Características técnicas del transmisor de temperatura DAT1015	50
Tabla 3.5 Características técnicas del transmisor de presión TRAFAG EPI8287	51
Tabla 3.6 Características técnicas del módulo de entradas analógicas ADAM 4017+.....	53
Tabla 3.7 Características técnicas del HMI CM-XT04CD-DE.....	54
Tabla 3.8 Características técnicas del controlador UC300.....	66
Tabla 3.9 Características técnicas del Gateway UG65	71
Tabla 3.10 Características técnicas del tablero de poliéster BRES-43	78

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1.1 <i>Sistema de monitoreo de gas natural y monóxido de carbono.</i>	3
Figura 1.2 <i>Diagrama esquemático del sistema de monitoreo de gas natural mixto.</i>	4
Figura 1.3 <i>Arquitectura del sistema de seguridad de ductos de monitoreo remoto.</i>	5
Figura 1.4 <i>Arquitectura del sistema de sistema de monitoreo y supervisión de fugas de gas.</i>	7
Figura 1.5 <i>Esquema de implementación sistema ciber-físico.</i>	8
Figura 1.6 <i>Diseño del sistema de medición.</i>	9
Figura 1.7 <i>Diseño del sistema de medición utilizando microcontrolador Arduino UNO.</i>	10
Figura 1.8 <i>Diseño del sistema de medición de concentración de monóxido de carbono usando Arduino UNO</i>	11
Figura 1.9 <i>Diseño del sistema de monitoreo de fugas en una estación de servicio.</i>	12
Figura 1.10 <i>Diagrama esquemático de sistema para monitoreo de variables en gaseoducto de gas natural.</i>	13
Figura 1.11 <i>Diagrama de sistema para el monitoreo de fugas en transporte de hidrocarburos en ductos.</i>	14
Figura 2.1 <i>Niveles de automatización.</i>	29
Figura 3.1 <i>Flujograma de actividades para el desarrollo de la investigación</i>	34
Figura 3.2 <i>Termómetro analógico y manómetro de cabezal de pruebas</i>	39
Figura 3.3 <i>Termómetro analógico bimetálico</i>	40
Figura 3.4 <i>Manómetro analógico de diafragma</i>	42
Figura 3.5 <i>Diagrama esquemático de integración del primer subsistema del sistema de adquisición de datos</i>	45
Figura 3.6 <i>Diagrama esquemático de integración del segundo subsistema de adquisición de datos</i>	46
Figura 3.7 <i>Diagrama esquemático de integración del sistema de adquisición de datos</i>	47
Figura 3.8 <i>Sensor de temperatura Pt100</i>	48
Figura 3.9 <i>Transmisor de temperatura DAT1015</i>	49
Figura 3.10 <i>Transmisor de presión EPI8287</i>	50
Figura 3.11 <i>Módulo de entradas analógicas ADAM 4017+</i>	52

Figura 3.12	<i>Medidas en mm de HMI Cimon con pantalla Touch de 4.3 pulgadas.</i>	54
Figura 3.13	<i>Pantalla de inicio</i>	55
Figura 3.14	<i>Pantalla vinculada al botón MOSTRAR</i>	56
Figura 3.15	<i>Pantalla vinculada al botón AJUSTAR</i>	56
Figura 3.16	<i>Pantalla vinculada al botón GUARDAR</i>	57
Figura 3.17	<i>Pantalla de tendencias verticales de las variables medidas</i>	58
Figura 3.18	<i>Pantalla de tendencias de la variable temperatura</i>	59
Figura 3.19	<i>Pantalla de tendencias respecto al tiempo de la variable presión</i>	59
Figura 3.20	<i>Configuración protocolo MODBUS RTU en HMI Cimon</i>	60
Figura 3.21	<i>Declaración de variables temperatura y presión utilizando direcciones modbus en el HMI</i>	61
Figura 3.22	<i>Escalamiento de variables medidas presión y temperatura en el HMI Cimon</i>	63
Figura 3.23	<i>Código “script” para habilitar guardado de data</i>	63
Figura 3.24	<i>Configuración periodo de muestreo de 1 min para generación de datos en archivos csv</i>	64
Figura 3.25	<i>Controlador LoRaWAN UC300</i>	65
Figura 3.26	<i>Interfaz de configuración de Controlador UC300</i>	67
Figura 3.27	<i>Configuración básica de Controlador UC300 con tiempo de guardado de datos de 1 minuto</i>	68
Figura 3.28	<i>Configuración de entrada tipo Pt100 y entrada 4 a 20 mA en Controlador UC300</i>	69
Figura 3.29	<i>Gateway IOT LoRaWAN UG65</i>	70
Figura 3.30	<i>Configuración IP estática de PC para configurar Gateway UG65</i>	72
Figura 3.31	<i>Interfaz GUI web de configuración de Gateway UG65</i>	73
Figura 3.32	<i>Configuración de red WIFI a la que se conectará el Gateway UG65</i>	73
Figura 3.33	<i>Habilitación de conexión entre Gateway UG65 y plataforma IOT Milesight Cloud</i>	74
Figura 3.34	<i>Registro de dispositivos de Gateway UG65 y controlador UC300 en la plataforma IOT Milesight Cloud</i>	75
Figura 3.35	<i>Escalamiento de variable presión de segundo subsistema en plataforma IOT Milesight Cloud</i>	76

Figura 3.36	<i>Configuración de umbral de alarmas de presión y temperatura en plataforma Milesight IOT Cloud</i>	77
Figura 3.37	<i>Ficha técnica armario industrial SAFYBOX modelo BRES-43</i>	79
Figura 3.38	<i>Diagrama de conexionado eléctrico de primer subsistema (parte 1)</i>	80
Figura 3.39	<i>Diagrama de conexionado eléctrico de primer subsistema (parte 2)</i>	81
Figura 3.40	<i>Distribución de equipos de primer subsistema en tablero eléctrico</i>	82
Figura 3.41	<i>Tablero eléctrico y conexiones eléctricas</i>	83
Figura 4.1	<i>Registro de tendencia de variables presión y temperatura en pruebas de hermeticidad</i>	85
Figura 4.2	<i>Archivo con data almacenada de la prueba de hermeticidad realizada con el primer subsistema de adquisición de datos</i>	86
Figura 4.3	<i>Verificación de toma de muestras cada minuto (60 segundos) con el primer subsistema de adquisición de datos</i>	87
Figura 4.4	<i>Datos almacenados de las variables presión y temperatura en formato csv por el primer subsistema de adquisición de datos</i>	88
Figura 4.5	<i>Archivo de prueba de hermeticidad para red de tuberías del tipo A</i>	89
Figura 4.6	<i>Valores obtenidos de presión y temperatura en prueba de hermeticidad en redes de tubería del tipo A</i>	91
Figura 4.7	<i>Tendencia de temperatura en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo A</i>	92
Figura 4.8	<i>Tendencia de presión en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo A.</i>	93
Figura 4.9	<i>Tendencia de las variables presión y temperatura en red de tubería del tipo A</i>	93
Figura 4.10	<i>Archivo CSV. de prueba de hermeticidad para red de tuberías del tipo B</i>	94
Figura 4.11	<i>Valores obtenidos de presión y temperatura en prueba de hermeticidad en redes de tubería del tipo B</i>	95
Figura 4.12	<i>Tendencia de temperatura en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo B</i>	96
Figura 4.13	<i>Tendencia de presión en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo B</i>	97
Figura 4.14	<i>Tendencia de las variables presión y temperatura en red de tubería del tipo B</i>	97
Figura 4.15	<i>Archivo CSV. de prueba de hermeticidad para red de tuberías del tipo C</i>	98

Figura 4.16	Valores obtenidos de presión y temperatura en prueba de hermeticidad en redes de tubería del tipo C	99
Figura 4.17	Tendencia de temperatura en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo C.....	100
Figura 4.18	Tendencia de presión en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo C.....	101
Figura 4.19	Tendencia de las variables presión y temperatura en red de tubería del tipo C.....	101
Figura 4.20	Envío de alarma de temperatura alta desde plataforma IOT Milesight Cloud	102
Figura 4.21	Envío de alarma de presión desde plataforma IOT Milesight Cloud.....	103
Figura 4.22	Gráfica en plataforma IOT Milesight Cloud de prueba simulada en segundo subsistema	104
Figura 4.23	Datos en formato .csv de prueba de segundo subsistema	105

Introducción

El aporte del trabajo de suficiencia comprende el diseño de un sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno, para mitigar la incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural.

El presente trabajo de investigación se ha estructurado en cuatro capítulos, los cuales se describen a continuación:

En el capítulo I, Generalidades, se presenta los antecedentes de investigativos, la problemática relacionada a la incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural, la justificación del trabajo de suficiencia, la hipótesis, el planteamiento según la descripción del problema de la hipótesis de la investigación para alcanzar el objetivo planteado y se establece el objetivo del trabajo de suficiencia. Además, se presenta el tipo metodología de investigación según su enfoque y alcance, el diseño de la investigación, se especifica la unidad de análisis donde se desarrolla la investigación indicando su localización.

En el capítulo II, Marco teórico y Conceptual, se presenta el marco teórico, describiendo los conceptos de los sistemas de tuberías en gaseoductos, características de las tuberías de polietileno, fugas de gas, automatización industrial, niveles de automatización, sistemas de monitoreo y cloud IOT. Adicionalmente, se desarrolla el marco conceptual donde se describe y aclaran los significados de los términos ambiguos para el presente trabajo de suficiencia.

En el capítulo III, Desarrollo del trabajo de investigación, se presenta la recopilación de datos de la unidad de análisis y especificaciones técnicas de los dispositivos presentes en una prueba de hermeticidad, seguidamente se realiza el desarrollo del diseño del sistema de adquisición de datos.

En el capítulo IV, Análisis y discusión de resultados, se presenta el análisis y la discusión de los resultados obtenidos contrastando la hipótesis planteada.

Finalmente, se presentan las conclusiones, las recomendaciones del trabajo de suficiencia, las referencias bibliográficas y los anexos utilizados.

Capítulo I. Generalidades

Considine, Douglas (1987) en su libro “Tecnología del Gas Natural define el gas natural (GN) como una composición de hidrocarburos y cantidades pequeñas de otros componentes, existentes de forma gaseosa o asociadas con petróleo en depósitos naturales subterráneos y condiciones propias de estos. Los principales hidrocarburos que componen el gas natural son el metano, etano, propano, butano y pentano.

Según Cáceres G., Luis (2002) en su libro “El gas natural” el gas natural es la fuente de energía más provechosa porque, además de ser un combustible limpio y de bajo costo, compite con otras fuentes de energía. En la generación eléctrica el gas compite con el diesel, el carbón, el petróleo residual y las centrales hidroeléctricas; en la utilización industrial compite con el Diesel y la electricidad; en el área doméstica compite con el kerosene, la electricidad, el gas licuado y otros combustibles y finalmente en el sector transportes compite con la gasolina y el Diesel.

La utilización del gas natural está aumentando en todo el mundo. El gas natural se transporta de diferentes maneras: a través de ductos en forma gaseosa; como gas natural licuado (GNL) o gas natural comprimido (GNC). El GNL es el método habitual para transportar el gas a distancias muy largas.

El mantenimiento periódico de los sistemas o redes de distribución de gas es esencial. Identificar, localizar y rectificar las fugas de gas es también parte integral de cualquier programa de mantenimiento. Sin embargo, se generan dificultades para su instalación en entornos urbanos, debido a que las tuberías de gas se encuentran ubicadas bajo tierra, según el artículo publicado por Crowcon Detection Instruments (2017) titulado “Identificación de fugas en las tuberías de gas natural a una distancia segura”.

Fragoso S., Lucio et all (2012) en el informe “Metodología para la detección de fugas en tuberías de gas natural” mencionan que el gas natural es uno de los energéticos más

importantes con el cual se recomienda tener cuidado en el manejo de este combustible. La carencia de atención o un mal procedimiento en el trato de las redes de distribución provocan fugas que provoquen accidentes que generen pérdidas humanas como materiales. Debido a que el gas natural es un material altamente explosivo, es necesario tener cuidado en su distribución, es por ello de suma importancia realizar pruebas de hermeticidad a las tuberías antes de que estas se encuentren en operación.

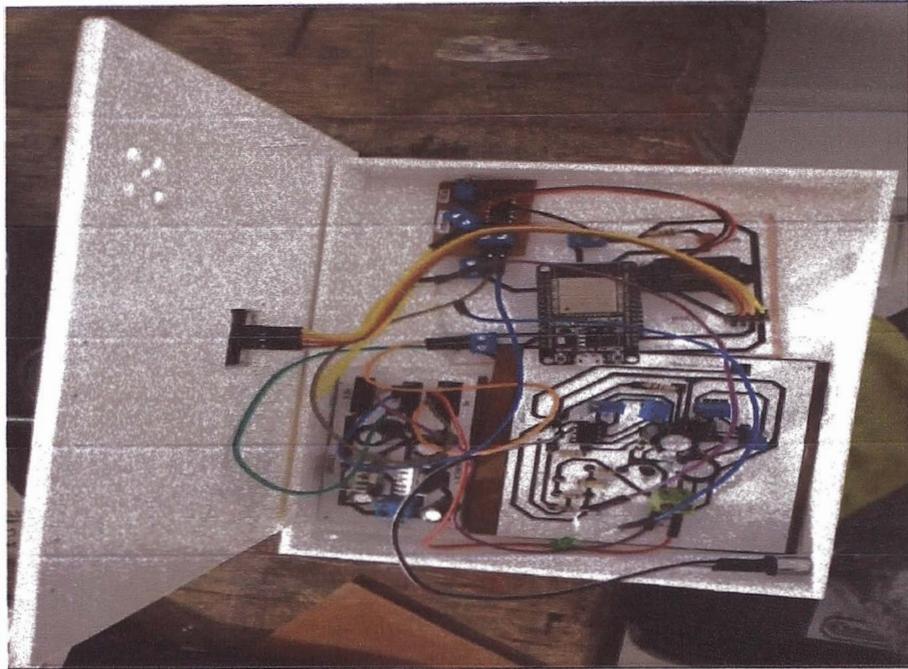
1.1 Antecedentes de la investigación

A continuación, se cita algunos antecedentes relacionados al tema de investigación:

En el trabajo de investigación de Silva C., Yicedt et all (2022) titulado “Desarrollo de un sistema de monitoreo y alertas tempranas para gas natural y monóxido de carbono en el hogar” se implementó un sistema de monitoreo de gas metano (CH₄) y monóxido de carbono (CO) en hogares como se visualiza en la Figura 1.1. El diseño realiza el monitoreo de concentraciones de monóxido de carbono (CO) y gas metano (CH₄) en ambientes controlados. El sensor escogido para la medición de ambos componentes es el TGS3870 debido a su funcionalidad y bajo costo en comparación a otros sensores , este sensor realiza mediciones de concentraciones de gas metano y monóxido de carbono y estas son leídas por el microcontrolador ESP32 que empleando el lenguaje de programación micropython realiza rutinas que permiten al usuario visualizar los valores medidos en un display LCD y escuchar alarmas mediante un buzzer cuando las concentraciones de los gases fuera de los rangos previamente configurados. Como resultado, el funcionamiento del sistema logró realizar pruebas en intervalos de 4 minutos logrando emitir alarmas que permiten al usuario evitar estos gases en altas concentraciones que son perjudiciales para la salud.

Figura 1.1

Sistema de monitoreo de gas natural y monóxido de carbono.

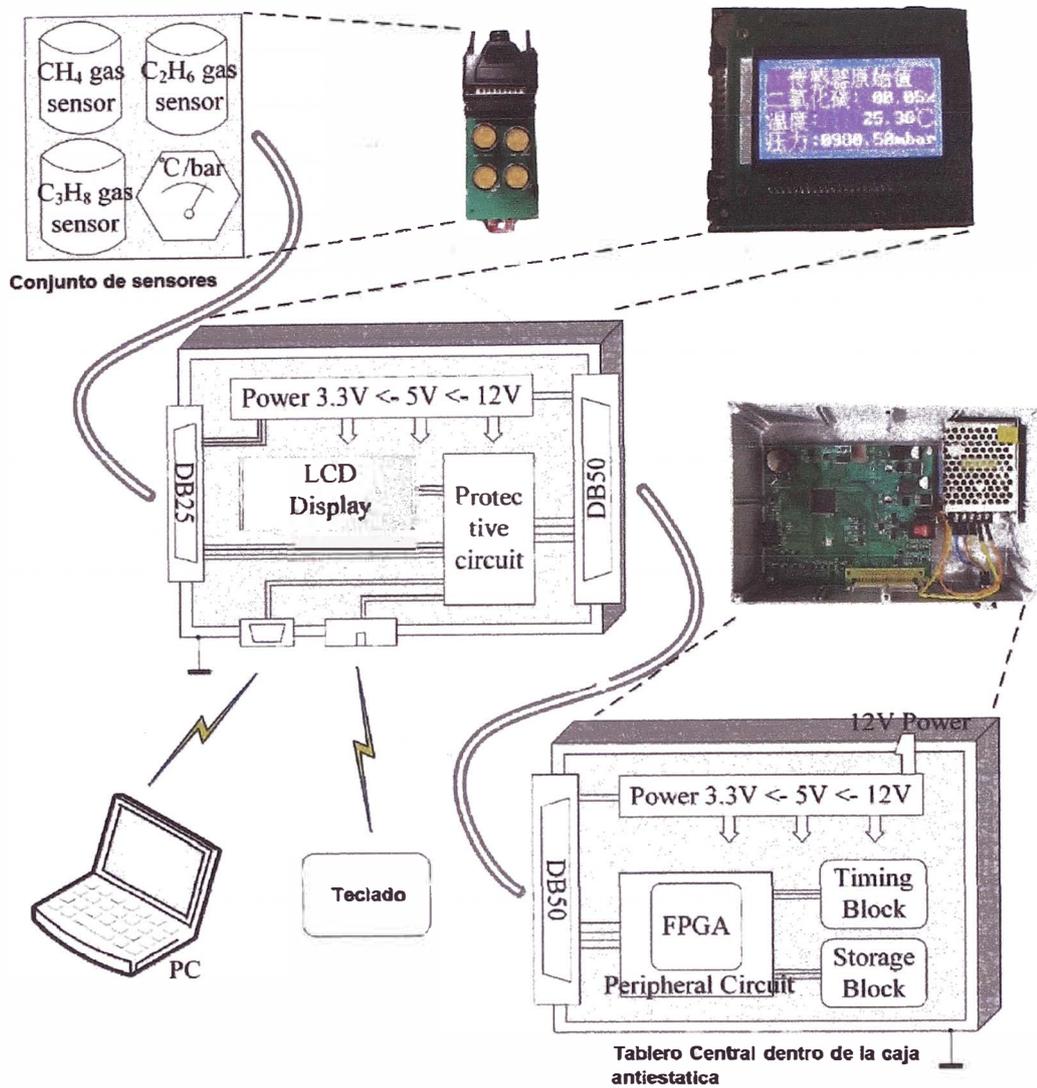


Fuente: Silva C., Yicedt et al (2022) "Desarrollo de un sistema de monitoreo y alertas tempranas para gas natural y monóxido de carbono en el hogar"

En el artículo de investigación de Jinlei, B. et al (2021) titulado "Design and Application of Mixed Natural Gas Monitoring System Using Artificial Neural Networks" se propuso el diseño de un sistema de monitoreo de gas natural mixto, como se visualiza en la Figura 1.2. El diseño realiza un encapsulado del circuito central (placa central) incluido una tarjeta electrónica del tipo arreglo de compuertas programables en campo (FPGA), debido a que el sistema de monitoreo de gas natural funciona en escenarios de alta temperatura y baja humedad. Asimismo, el potencial electrostático generado por el cuerpo humano es superior a 10 kV en el caso de baja humedad, siendo la protección electrostática del equipo, especialmente de componentes cruciales como FPGA necesaria, obteniendo un sistema que realiza la medición en línea y automática de gas natural. Como resultado, el funcionamiento del sistema logró resultados satisfactorios en el campo de gas de Xinjiang en China durante varios meses con un rendimiento estable y confiable.

Figura 1.2

Diagrama esquemático del sistema de monitoreo de gas natural mixto.



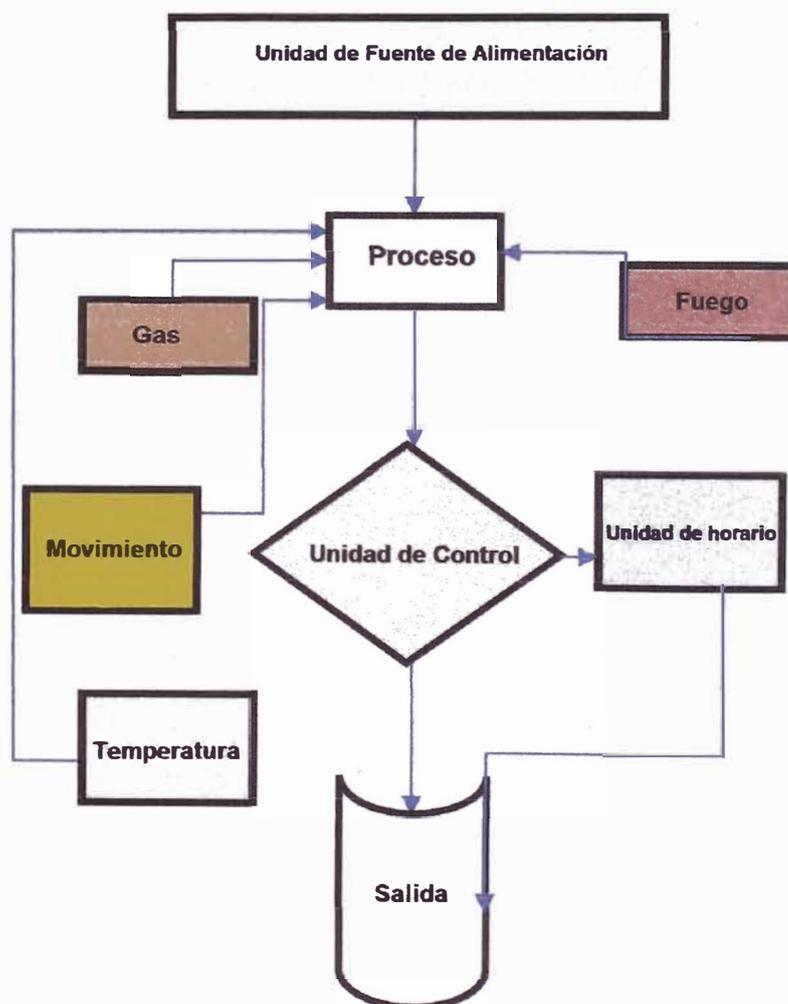
Fuente. Jinlei, B et al (2021) "Design and Application of Mixed Natural Gas Monitoring System Using Artificial Neural Networks"

En el artículo de investigación del Instituto de Capacitación Petrolera Effurun (2021) titulado "Remote Pipeline Monitoring Security System" se propuso un sistema de monitoreo remoto de seguridad de tuberías tal como se visualiza en la Figura 1.3. El sistema brinda un monitoreo inalámbrico remoto de tuberías al proporcionar un sistema de seguridad y vigilancia a lo largo de todo el recorrido donde se instalan las tuberías. Los parámetros monitoreados, entre otros, comprenden: fuga de gas, actividad de movimiento, temperatura

alrededor de las tuberías, humedad relativa de las tuberías circundantes, punto de rocío del entorno de la tubería, cantidad de monóxido de carbono presente, presencia de fuego nivel de concentración de humo. Esto se logra integrando, por ejemplo, sensores de llama, sensores de movimiento para monitorear los diferentes parámetros, entre otros. Como resultado, se logró implementar un sistema con un alto nivel de sensibilidad permitiendo a la unidad de control tomar decisiones según corresponda para corregir cualquier anomalía detectada.

Figura 1.3

Arquitectura del sistema de seguridad de ductos de monitoreo remoto.

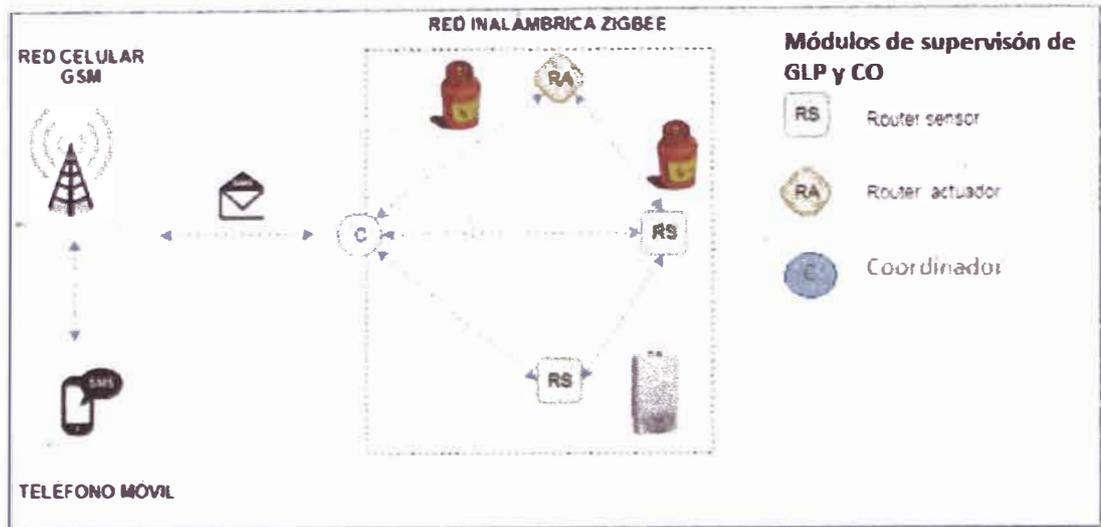


Fuente. Instituto de Capacitación Petrolera Effurun (2021) "Remote Pipeline Monitoring Security System"

En el trabajo de investigación de Cruz, P. (2017) titulado "Implementación de redes de sensores inalámbricas, en un sistema telemétrico para detectar y controlar fugas de gas GLP y monóxido de carbono en usos domésticos" se diseñó un sistema que integre una cantidad de sensores con la finalidad de detectar y controlar fugas de gas GLP y monóxido de carbono en usos domésticos como se observa en la Figura 1.4. El sistema consiste en integrar 3 estaciones o nodos: dos estaciones denominadas "Router sensor" utiliza sensores analógicos MQ6 y MQ7 que detectan la presencia de gas LP y gas CO monóxido de carbono utilizando un microcontrolador Arduino UNO; y la tercera estación o nodo denominada "Router Actuator" utiliza de la misma manera sensores analógicos MQ6 y MQ7 que detecta la presencia de gas LP y gas CO monóxido de carbono utilizando un microcontrolador Arduino UNO, y que a su vez activa una electroválvula que impide la transmisión de gas en la red de distribución de estudio. Las tres estaciones se comunican con el nodo denominado "Coordinador" que recopila toda la información de los nodos y las transmite a través de una red celular hacia un teléfono móvil que facilita al usuario el resumen de las incidencias, reportes, alarmas, etc. Como resultado se llegó a implementar un sistema telemétrico capaz de medir, procesar y comunicar densidad de GLP y CO con errores absolutos de $\pm 10\%$ del valor máximo permitido.

Figura 1.4

Arquitectura del sistema de sistema de monitoreo y supervisión de fugas de gas.



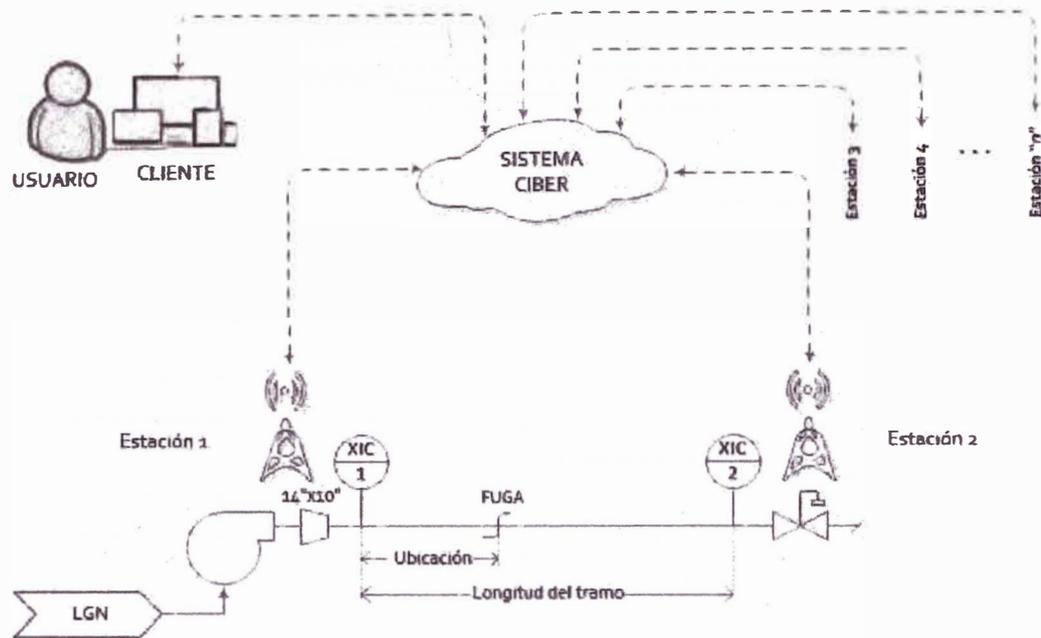
Fuente. Cruz, P. (2017) "Implementación de redes de sensores inalámbricas, en un sistema telemétrico para detectar y controlar fugas de gas GLP y monóxido de carbono en usos domésticos"

En la tesis de Jacinto, Christian (2022) titulada "Diseño de un sistema ciber-físico para monitorizar variables relacionadas con derrames de líquidos de gas natural en el sistema de transporte por ductos del proyecto Camisea" se planteó el diseño de un sistema ciber-físico que implica la interacción de un sistema físico y un sistema ciber ("Información en nube"), tal como se muestra en la Figura 1.5. El sistema físico consiste en un conjunto de estaciones de monitoreo que cumple con términos de referencia dados por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (Osinergmin), entre los que destacan sensores no intrusivos, acondicionadores de señales, y un microcontrolador. Estos dispositivos, en conjunto, realizan la adquisición y transmisión de los datos relacionados con derrames de GNL hacia el sistema ciber(nube). El sistema ciber consiste en una arquitectura de Cloud Computing, diseñada en base a los principales casos de uso identificados, escenarios de atributos de calidad, restricciones y preocupaciones arquitecturales. Las funciones del sistema ciber son recibir y procesar las tramas de datos, notificar al sistema físico en caso de un derrame y presentar el proceso de monitoreo a través de una plataforma cloud. Como resultado, el trabajo logró integrar un sistema que

genera las condiciones para detectar derrames y establecer alertas a tres niveles: in situ, a través de SMS y a través de la plataforma cloud.

Figura 1.5

Esquema de implementación sistema ciber-físico.



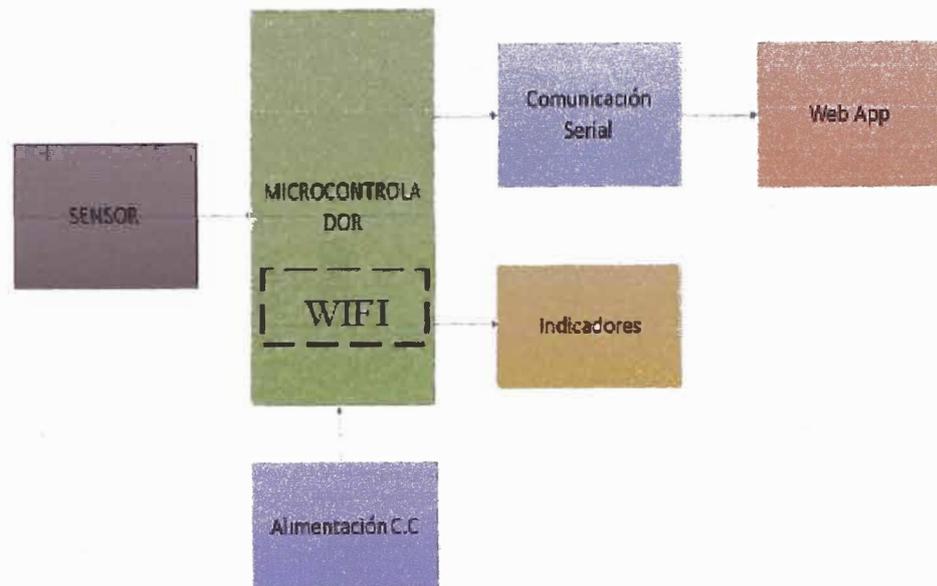
Fuente. Jacinto, Christian (2022) "Diseño de un sistema ciber-físico para monitorizar variables relacionadas con derrames de líquidos de gas natural en el sistema de transporte por ductos del proyecto Camisea",

En el trabajo de investigación de Pajares, María et al (2020) titulado "Implementación de un sistema de vigilancia de Gas Licuado de Petróleo en estaciones de servicio de combustible utilizando una plataforma Adafruit.IO" se planteó un diseño de medición que monitorea los componentes de Gas Licuado de Petróleo en estaciones de servicio de combustible tal como se visualiza en la Figura 1.6. En el trabajo se describe la implementación basada en el microcontrolador NodeMCU ESP8266 que tiene la posibilidad de conexión a una red wifi, que logra la visualización de variables en un móvil o un computador, sensores que detectan la presencia de GLP en las tuberías y un sistema de alertas. El trabajo concluye que la implementación del sistema contribuye a llevar un control

eficiente del llenado de tanque vehiculares de diferentes usuarios en tiempos promedio de 20 minutos.

Figura 1.6

Diseño del sistema de medición.



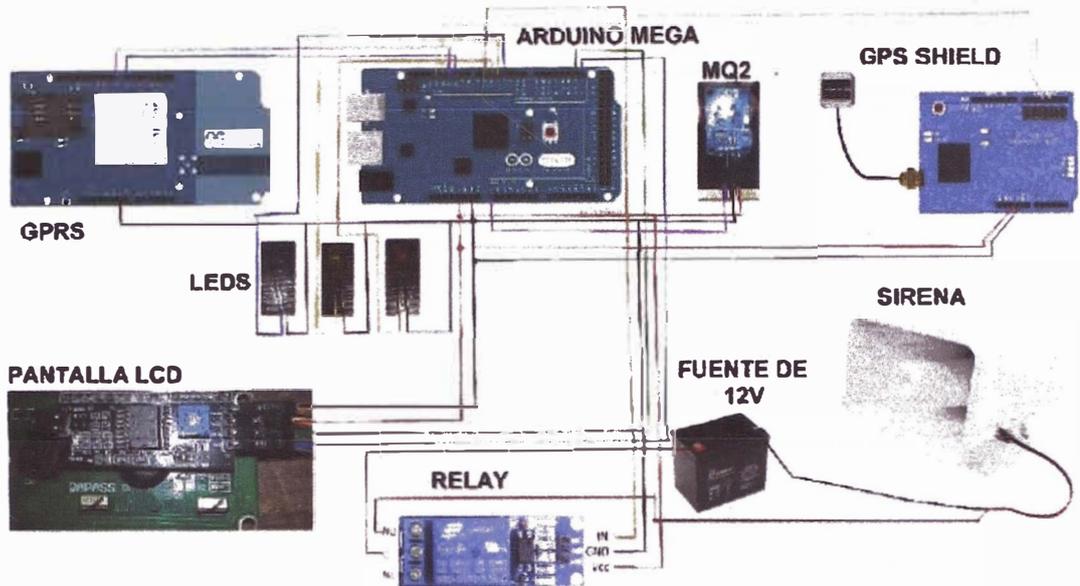
Fuente. Pajares, María et al (2020) "Implementación de un sistema de vigilancia de Gas Licuado de Petróleo en estaciones de servicio de combustible utilizando una plataforma Adafruit IO"

En la tesis de Pacaya, Jose et al (2019) titulada "Sistema de sensores y monitoreo de fuga de gas a fin de reducir riesgos domésticos de Iquitos" se planteó el diseño de un sistema de sensores que monitorean la incidencia de fugas de gas basado en una integración con las herramientas que ofrece el internet de las cosas. El sistema utiliza un sensor analógico MQ2 que detecta la presencia de gases como: LP, i-butano, propano, metano, alcohol, hidrógeno. Estos gases son detectados con una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido. El sensor MQ2 tiene un diseño compacto que detecta la presencia de gas combustible y humo en un rango de concentraciones de 300 a 10000 ppm (partes por millón). El sensor se conecta a un microcontrolador Arduino UNO y utilizando la interfaz API denominada "ThingSpeak", la cual almacena los datos recopilados y los transmite a través de internet o un área de red local tal como se muestra en la Figura

1. 7. Como resultado el trabajo logró obtener la emisión de alertas hacia los teléfonos móviles de los interesados.

Figura 1.7

Diseño del sistema de medición utilizando microcontrolador Arduino UNO.



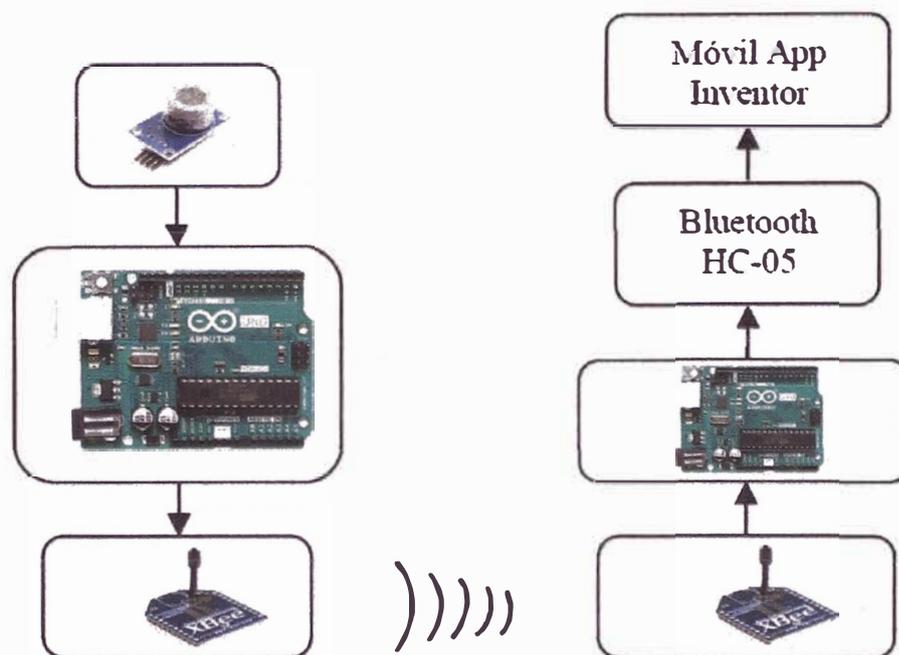
Fuente. Pacaya, Jose et all (2019) "Sistema de sensores y monitoreo de fuga de gas a fin de reducir riesgos domésticos de Iquitos".

En el trabajo de investigación de Rojas A., Carlos et all (2019) titulado "Implementation of a CO concentration measurement and alert prototype applying IoT and mobile application" se planteó la implementación de un sistema de medición de monóxido de carbono (CO) en tiempo real previamente diseñado tal como se muestra en la Figura 1.8. El sistema de medición utiliza el sensor analógico MQ7 que es ideal para medir concentraciones de monóxido de carbono (CO) presentes en el aire en un rango de 20 a 2000 ppm (partes por millón) y discernir las concentraciones que son dañinas para la salud. El sensor es conectado hacia un microcontrolador Atmega328p (Arduino UNO) y este a su vez transmite los valores medidos por el sensor MQ7 a otro microcontrolador Arduino UNO de forma inalámbrica a través de los dispositivos Xbee S2 utilizando el protocolo Zigbee. El segundo microcontrolador transmite la data recopilada a través de bluetooth en tiempo

real y a través de una aplicación android desarrollada en MIT app inventor el usuario visualiza los niveles de concentración de monóxido de carbono (CO) mediante graficas tipo semáforo (verde: baja; azul: regular; rojo: alta). El trabajo concluye que la implementación permite al usuario llevar un control eficiente de las concentraciones de monóxido de carbono (CO) de lugares diferentes debido a la autonomía del sistema.

Figura 1.8

Diseño del sistema de medición de concentración de monóxido de carbono usando Arduino UNO



Fuente. Rojas A., Carlos et all (2019) "Implementation of a CO concentration measurement and alert prototype applying IoT and mobile application".

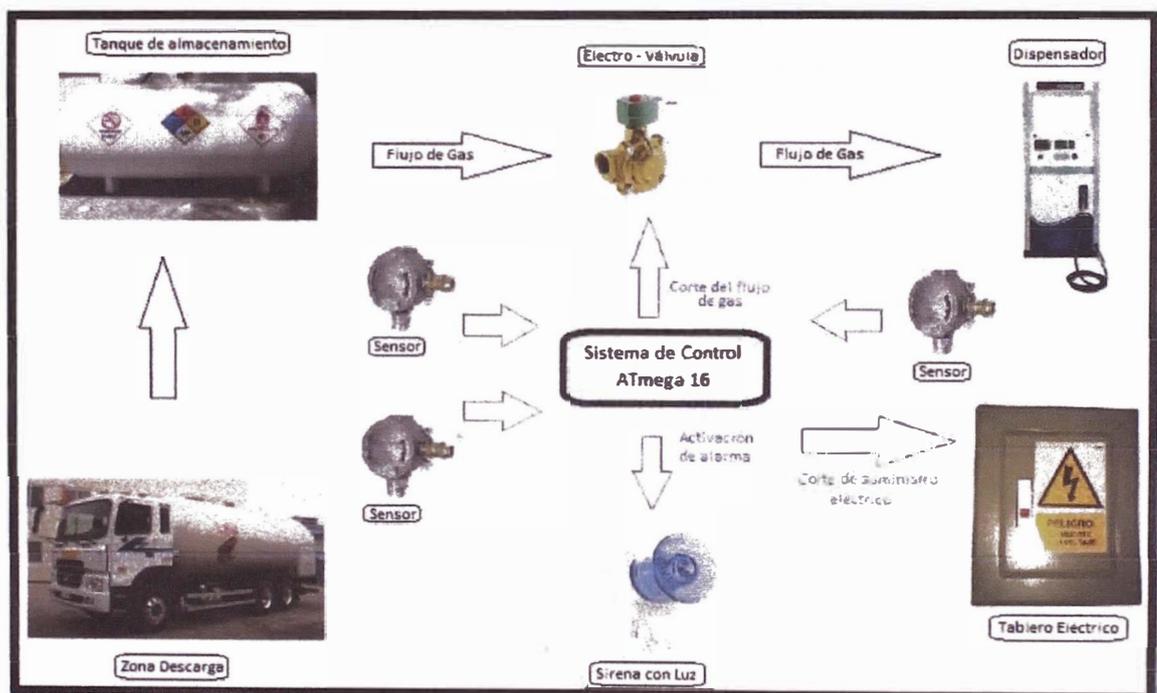
En el trabajo de investigación de Pinto C., Carmen (2015) titulado "Propuesta de un diseño para un sistema de control y monitoreo de fugas de gas a fin de reducir riesgos laborales, en una estación de servicios de GLP" se planteó el diseño de un sistema de control y monitoreo de fugas como se en la Figura 1.9. El sistema de medición consta de tres etapas, en la primera etapa se realiza la medición de nivel en la zona de descarga/llenado de tanque, tanque de almacenamiento y dispensador utilizando 3 sensores de perla catalítica modelo C/30. En la segunda etapa se detalla la funcionalidad

del microcontrolador Atmega16 que es el encargado de controlar la abertura y cierre de la electroválvula que permite el llenado del dispensador, asimismo esta etapa cuenta con una pantalla LCD y una alarma sonora que permitirá al usuario validar y recibir alertas respecto al llenado del dispensador.

El sistema es implementado en un tablero eléctrico con suministro eléctrico de 12VDC. El trabajo concluye que con la ejecución del diseño propuesto permitirá al usuario llevar un control eficiente del proceso de suministro de combustible de un gasocentro tanto en los tanques de almacenamiento y los dispensadores.

Figura 1.9

Diseño del sistema de monitoreo de fugas en una estación de servicio.



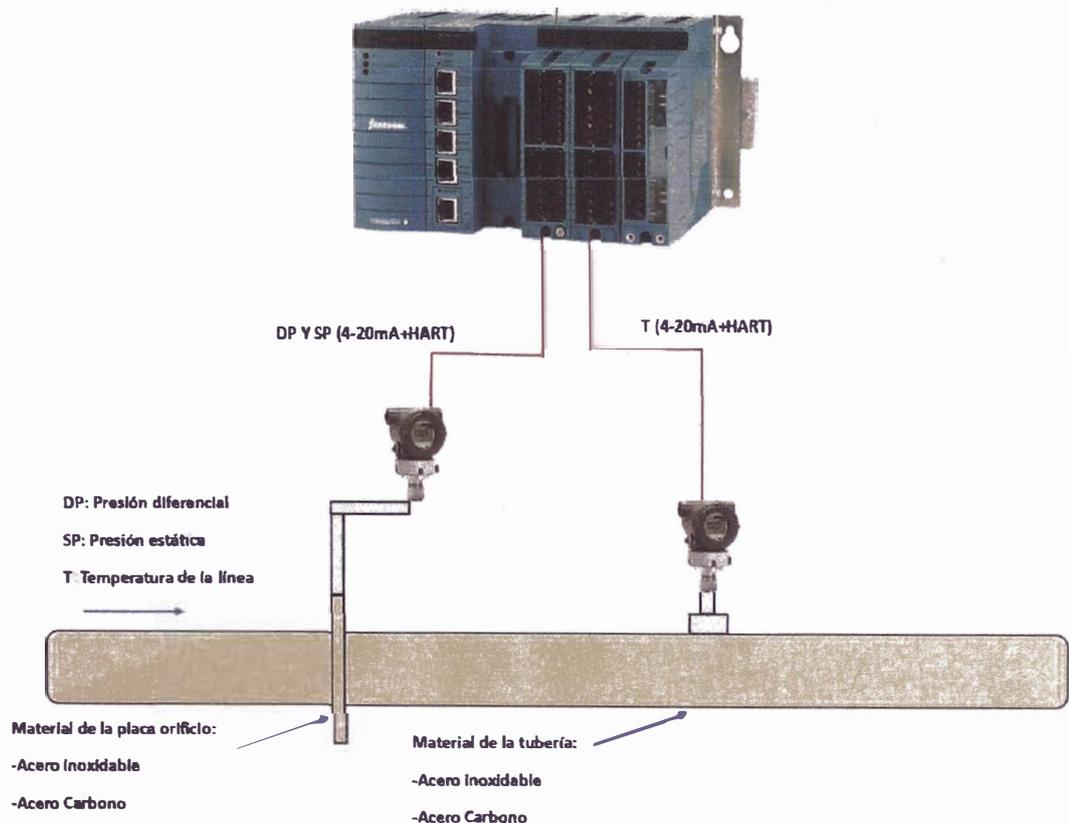
Fuente: Pinto C., Carmen (2015) "Propuesta de un diseño para un sistema de control y monitoreo de fugas de gas a fin de reducir riesgos laborales, en una estación de servicios de GLP"

En la tesis de Santos, Frank (2016) titulada "Desarrollo de un sistema SCADA para el monitoreo de las variables de proceso de un gaseoducto de gas natural" se diseñó un sistema SCADA para realizar el monitoreo de las variables de presión, temperatura y flujo volumétrico que se miden en un gaseoducto de gas natural como se observa en la Figura

1.10. El sistema se compone de un transmisor de presión diferencial, un transmisor de temperatura con elemento sensor tipo RTD, un controlador lógico programable modelo STARD OM RTU de la marca Yokogawa y un sistema de monitoreo SCADA Fast/Tools del fabricante Yokogawa. Como resultado, se obtuvo un sistema capaz de realizar el cálculo de flujo volumétrico obtenido por el controlador, el cual presenta una desviación menor del 4% respecto al obtenido de la ecuación de los gases. El trabajo precisa que esta diferencia se debe a que el cálculo en el controlador tiene mayor precisión porque considera características reales de los hidrocarburos que componen el gas natural, a diferencia del realizado mediante la ecuación de los gases que considera características simplificadas del gas natural.

Figura 1.10

Diagrama esquemático de sistema para monitoreo de variables en gaseoducto de gas natural.

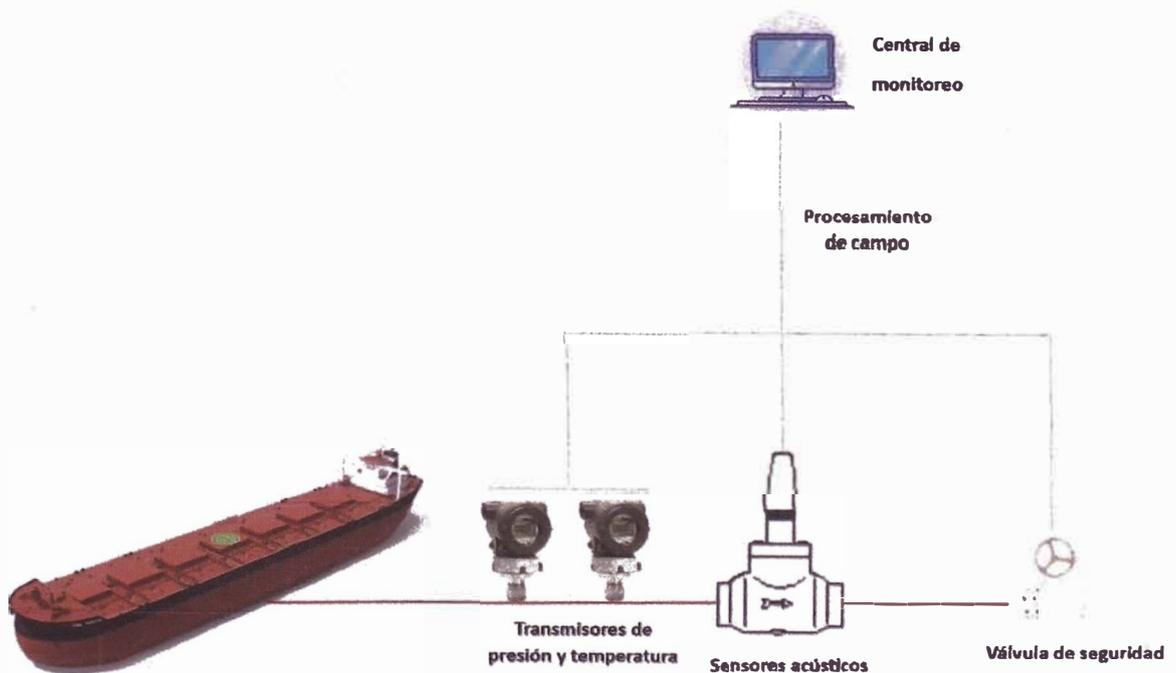


Fuente: Santos, Frank (2016) "Desarrollo de un sistema SCADA para el monitoreo de las variables de proceso de un gaseoducto de gas natural"

En la tesis de Del Carpio, Silvana (2013) titulada “Evaluación técnica para implementar un sistema de detección de fugas de ductos de transporte para hidrocarburos” se realizó la implementación de un sistema compuesto por dos subsistemas capaz de detectar fugas en el transporte de hidrocarburos, como se visualiza en la Figura 1.11. El primer subsistema identifica la fuga del hidrocarburo usando el principio de detección acústica. El segundo subsistema se compone de controlador lógico programable, que procesa las señales de los transmisores de presión, flujo y realiza el control de accionamiento de válvulas de emergencia. Como resultado, el trabajo logra validar la obtención de un sistema que consiga una respuesta rápida ante una contingencia ocasionada por una fuga de hidrocarburo, debido a que previamente a esta implementación, el monitoreo y control de fugas se realizaba de forma visual y el accionamiento de las válvulas de emergencia de forma manual.

Figura 1.11

Diagrama de sistema para el monitoreo de fugas en transporte de hidrocarburos en ductos.



Fuente. Del Carpio, Silvana (2013) “Evaluación técnica para implementar un sistema de detección de fugas de ductos de transporte para hidrocarburos”

1.2 Descripción del problema de investigación

En el Perú, el consumo de gas natural ha logrado un crecimiento sostenido y es el sector de generación eléctrica el mayor consumidor según lo informado en el artículo titulado “Boletín Estadístico: Procesamiento, Producción y Transporte de Gas Natural del 1er Trimestre 2023” (Osinergmin,2023), representando una problemática importante en la distribución de este recurso natural. Las redes de tuberías son un componente crucial para el transporte del gas, y debido al aumento de la demanda están sujetos a fallas estructurales o no estructurales. Dichos incidentes resultan en pérdidas catastróficas, incluidos daños a los operadores, las comunidades y el medio ambiente como se indica en el artículo “Predicting Natural Gas Pipeline Failures Caused by Natural Forces: An Artificial Intelligence Classification Approach” (Ying, H. et all,2023).

Debido a que las condiciones y la confiabilidad de la mayoría de las infraestructuras de tuberías disminuyen constantemente, las tuberías requieren un mantenimiento regular para garantizar que funcionen de manera segura y eficiente. Lo indicado representa una problemática en áreas remotas donde el acceso es limitado o en entornos hostiles donde el clima las condiciones son extremas, como se indica en el artículo “Predicting Natural Gas Pipeline Failures Caused by Natural Forces: An Artificial Intelligence Classification Approach” (Ying, H. et all,2023). El principal desafío para los propietarios de las tuberías de distribución de gas natural proviene de eventos de fuga con impacto severo en el medio ambiente. Como consecuencia, la tubería queda fuera de servicio para su reparación, como indicado en el artículo de investigación “A Wireless Sensor Network based Pipeline Monitoring System” (Anupaam, Nishad, & Santosh, 2014)

Las fugas en las uniones y obstrucciones de las tuberías en redes de distribución de polietileno son ocasionadas principalmente por agentes externos tales como sedimentos, entre otros. Si bien, las pruebas de hermeticidad que se realizan para las tuberías reducen la incidencia de fugas, estas pruebas no cuentan con el equipamiento tecnológico adecuado, realizándose manualmente y con lo que se introduce el error

humano que significa un impacto negativo en garantizar un nivel de seguridad adecuado en las tuberías. A pesar de que la prueba de hermeticidad es controlada con instrumentos de presión y temperatura, los cuales recopilan la información en los rangos apropiados para la medición durante todo el desarrollo de la prueba, no se cuenta con sistemas de adquisición de datos que realicen su estructuración para un análisis adecuado del cumplimiento de los niveles de seguridad requeridos para las pruebas según el “Procedimiento de Presión Neumática en prueba de Hermeticidad para redes de polietileno”(Cálidda,2022). Con lo mencionado, resulta una problemática importante el abordar la implementación de sistemas de adquisición de datos que incidan en la reducción de los eventos de fuga en tuberías de redes de distribución de gas natural.

1.3 Formulación del problema

En el presente trabajo de investigación, se realiza la formulación del problema con la siguiente pregunta: ¿En qué medida un evento de fuga en tuberías de polietileno impacta negativamente en la operación de redes de distribución de gas natural?

1.4 Justificación e importancia

Aunque sólo ocurre en ocasiones singulares, una fuga de gas natural es peligrosa porque aumenta los riesgos de un incendio o explosión.

Entre las causas que generan una fuga se encuentra:

- Ocasionadas por efectos del hombre, estas se originan por un descuido en el momento de la construcción de algún tipo de estructura cerca de estas tuberías.
- Ocasionadas por daños en los materiales de construcción, generalmente en la instalación de los materiales y accesorios para el tendido de las tuberías. A simple vista es difícil detectar algún daño, sin embargo, al aplicar una prueba de hermeticidad con un termomanómetro se logran localizar las fugas con una alta probabilidad.

Existen diferentes métodos para la detección de fugas en gasoductos, todos son importantes para encontrar una fuga, de tal manera que estos sistemas permitan a los

operadores de gasoductos, tomar las acciones necesarias para controlar, mitigar y detener la fuga. Todas las técnicas de detección están basadas en medir parámetros específicos, ya sea continuamente o en intervalos. Conocer la relación entre las fugas reales y las falsas alarmas, determinará la sensibilidad del sistema de detección de fugas que dependerá de muchos factores, presión de operación del gasoducto, la longitud y el diámetro del gasoducto, etc.

Por lo expuesto anteriormente, el presente trabajo se justifica con la finalidad de mitigar la incidencia de fugas de gas en redes de distribución de gas natural en tuberías de polietileno se propone el diseño de un sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad.

1.5 Objetivo

Diseñar un sistema de sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno para mitigar la incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural.

1.6 Hipótesis

El diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para las pruebas de hermeticidad en tuberías de polietileno permitirá una detección más precisa y temprana de fugas , lo que contribuirá a reducir la incidencia de fugas y mejorar la seguridad de las redes de distribución de gas natural.

1.7 Variables y operacionalización de variables

Variable independiente V.I. (X): Sistema de Adquisición de Datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno

Variable dependiente V.D. (Y): Incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural

En la tabla 1.1. se muestra la operacionalización de variables del presente trabajo.

Tabla 1.1

Operacionalización de variables.

Variables	Indicadores
Variable Independiente: Sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno.	Tiempo de muestreo (en segundos) del sistema de adquisición de datos en las pruebas de hermeticidad de las tuberías de gas natural.
Variable dependiente: Incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural	Presión (en bar) dentro de los rangos permisibles durante las pruebas de hermeticidad de las tuberías de gas natural. Temperatura (en °C) dentro de los rangos permisibles durante las pruebas de hermeticidad de las tuberías de gas natural.

Nota: Elaboración propia.

1.8 Metodología de la investigación

1.8.1 Unidad de Análisis

La investigación utilizará como unidad de análisis un banco de pruebas tipo cabezal utilizado para pruebas de hermeticidad cumpliendo con la norma EN 12327 “Gas supply systems – Pressure testing, comissioning and decommissioning procedures” en tuberías de polietileno de alta y/o media densidad utilizados en redes de distribución de baja presión (0.5 -5 bar) de gas natural de 1 ½” a 8” de diámetro. El banco de pruebas se ubica en la provincia de Lima metropolitana, departamento de Lima.

1.8.2 Tipo, enfoque y nivel de investigación

El tipo de investigación del presente trabajo de investigación con respecto al enfoque es **cuantitativo** y se definió en base al número de variables epistemológicas como sigue:

- **Percepción de la realidad:** el trabajo es **objetivo** porque el problema investigado es excluyente debido a que este no ha sido manipulado ni afectado por terceros.

- **Razonamiento:** el trabajo es **deductivo** porque se empleó los valores obtenidos de la recopilación de datos del desarrollo del sistema para la validación de la hipótesis.
- **Finalidad:** el trabajo realizó la **comprobación** de la hipótesis planteada.
- **Orientada:** el trabajo se orienta al **proceso**, porque el objetivo es mejorar un proceso de una prueba de hermeticidad.
- **Principio de verdad:** la investigación analizó los datos de un sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad en **particular**.
- **Perspectiva del investigador:** el trabajo del investigador analiza los datos **desde afuera**, porque el investigador no interfiere con la operación del sistema de adquisición de datos.
- **Causalidad:** el trabajo se basa en los **antecedentes** de operación de los equipos utilizados en una prueba de hermeticidad.

Debido a que seis de las siete variables epistemológicas son de naturaleza cuantitativa, se determinó que el tipo de investigación, según su enfoque es de tipo **cuantitativo**.

La investigación según el alcance es de tipo **explicativa**, porque se abordó la investigación analizando las variables y condiciones de operación con el diseño de un sistema de adquisición de datos.

1.8.3 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es **no experimental**, porque se desarrollará el diseño de un sistema de adquisición de datos según los datos recopilados y la hipótesis se verificará en base a los resultados obtenidos por el sistema de adquisición de datos y al cumplimiento de las normativas vigentes.

En el presente estudio, el procesamiento de datos cumple con los seis pasos de la investigación: recolección, preparación, introducción, procesamiento, salida y almacenamiento de los datos del estudio realizado.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

El objetivo de este apartado es conceptualizar todos los aspectos que forman parte global del desarrollo del proyecto, aquellas tecnologías y herramientas utilizadas que permiten comprender el problema y su solución.

2.1.1 *Sistemas de tuberías*

Según (The American Society of Mechanical Engineers (ASME),2018) en la norma B31.8 titulada "Sistemas de tubería para transporte y distribución de gas "el sistema de tuberías es un producto tubular, incluida la tubería, fabricado como artículo de producción, con la finalidad de transportar un fluido y su almacenamiento. Debe distinguirse entre el término tubería, que en general designa las conducciones de sección circular, y los conductos que tienen otras secciones y los cuales no son propiamente tuberías como lo indica la norma ASME B31.8 (ASME, 2018).

En el presente trabajo de investigación, se asociará la solución al término gasoducto. El gasoducto comprende todas las partes de las instalaciones físicas a través de las cuales se desplaza el gas para su transporte, incluyendo tuberías, válvulas, accesorios, reguladores, recipiente a presión, amortiguadores de pulsación, válvulas de desfogue o purga, y otros accesorios instalados, unidades de compresión, estaciones de medición, estaciones de regulación y conjuntos fabricados. Se incluyen en esta definición las líneas de transporte y recolección de gas, incluyendo sus complementos o accesorios que se ubican costa fuera para el transporte de gas desde las instalaciones de producción a localidades en tierra y equipos de almacenamientos de gas del tipo de tubería cerrada.

Los sistemas de tuberías se clasifican en sistemas de transporte, sistemas de distribución y sistemas de recolección.

Sistema de transporte es uno o más segmentos del gasoducto interconectados para conformar una red, que transportan gas de un sistema de recolección, desde la salida de una planta de procesamiento, o un campo de almacenamiento, hacia un sistema de distribución de alta o baja presión, un cliente que compra un gran volumen, u otro campo de almacenamiento.

Sistema de recolección es uno o más segmentos de gasoducto interconectados para conformar una red, que transporta gas desde una o más instalaciones de producción a la salida de una planta de procesamiento de gas.

Sistema de distribución es un sistema de tuberías para distribución de gas que dependiendo de la presión de gas en la línea principal y la línea de servicio se clasifican en sistemas de distribución de alta y baja presión.

Sistema de distribución de baja presión: es un sistema de tuberías para distribución de gas, en el cual la presión del gas en las líneas principales y las de servicio, es substancialmente la misma que la de entrega en los implementos del cliente.

Sistema de distribución de alta presión: es un sistema de tuberías de distribución de gas que opera a una presión mayor a la presión de servicio estándar que se entrega al cliente como indica la norma ASME B31.8 (ASME, 2018).

Los materiales de los sistemas de tuberías acorde la norma ASME B31.8 son de material acero o plástico. En la presente investigación las tuberías son de polietileno (PE) que pertenecen a la clasificación del tipo plástico según el material.

El uso del PE como material para tuberías según (Plastic Pipe Institute, 2008) "Handbook of Polyethylene Pipe", se produjo por primera vez a mediados de la década de 1950. En América del Norte, su uso original fue en aplicaciones industriales, seguidas por el agua rural y luego la producción en yacimientos de petróleo, donde se necesitaba un producto de tubería flexible, resistente y liviano para satisfacer las necesidades de una

industria de producción de petróleo y gas en rápido desarrollo. El éxito de las tuberías de PE en estas instalaciones condujo rápidamente a su uso en la distribución de gas natural, donde se fusiona en el campo un material de tubería enrollable y libre de corrosión para garantizar un método "libre de fugas" de transporte de gas natural a hogares y empresas. El éxito del PE en esta aplicación crítica no ha pasado desapercibido y hoy es el material elegido por la industria de distribución de gas natural. Las fuentes ahora estiman que casi el 95% de todas las nuevas instalaciones de tuberías de distribución de gas en América del Norte que tienen 12 pulgadas de diámetro o menos son tuberías de PE.

Los beneficios del rendimiento de las tuberías de polietileno en estas aplicaciones originales relacionadas con el petróleo y el gas han logrado su utilización en instalaciones de tuberías igualmente exigentes, como distribución de agua potable, tuberías industriales y mineras, tuberías principales y otras aplicaciones críticas donde se necesita un material resistente y dúctil para asegurar el desempeño a largo plazo.

Características y beneficios de la tubería de polietileno (PE)

Al seleccionar materiales para tuberías, los diseñadores, propietarios y contratistas especifican materiales que brinden confiabilidad, durabilidad de servicio a largo plazo y rentabilidad.

Algunos de los beneficios específicos de las tuberías de PE se analizan en los párrafos siguientes:

- **Ahorros en el costo del ciclo de vida:** el costo del ciclo de vida de las tuberías de PE es significativamente menor que el de otros materiales de tuberías. La superficie interior extremadamente suave de la tubería de PE mantiene sus excepcionales características de flujo y la unión por fusión térmica elimina las fugas. Esta ha demostrado ser una combinación exitosa para reducir los costos operativos totales del sistema.

- **Juntas totalmente restringidas y sin fugas:** las uniones por fusión térmica de polietileno (PE) forman juntas sin fugas que son tan fuertes o más fuertes que la propia tubería. Las juntas fusionadas eliminan los puntos de fuga que existen cada 3 a 6 metros cuando se utilizan juntas tipo campana y espigas asociadas con otros productos de tuberías como PVC o hierro dúctil. Todas estas juntas tipo campana y espiga emplean materiales de junta elastoméricos que envejecen con el tiempo y, por lo tanto, tienen potencial para sufrir fugas.
- **Corrosión y resistencia química:** las tuberías de PE no se oxidan, pudren, pican, corroen ni favorecen el crecimiento biológico. El polietileno (PE) tiene una excelente resistencia química y es el material elegido para muchos entornos químicos hostiles. Aunque no se ve afectada por el suelo que propiamente por su origen es químicamente agresivo, la instalación de tuberías de PE (como con cualquier material de tubería) a través de áreas donde los suelos están contaminados con solventes orgánicos (aceite, gasolina, etc.) requiere algunos métodos de instalación que protejan la tubería de PE contra el contacto con solventes orgánicos.
- **Resistencia a la fatiga y flexibilidad:** la tubería de PE tiene la capacidad de doblarse en el campo hasta un radio de aproximadamente 30 veces el diámetro nominal de la tubería (la tubería de PE de 12 pulgadas, por ejemplo, se forma en frío en el campo hasta un radio de 384 pulgadas). Esto elimina muchos de los accesorios que de otro modo serían necesarios para los cambios de dirección en los sistemas de tuberías y también facilita la instalación. La durabilidad a largo plazo de las tuberías de PE ha sido investigada exhaustivamente. El PE tiene una resistencia excepcional a la fatiga y, cuando funciona a la presión operativa máxima, soporta múltiples eventos de sobrepresión hasta un 100 % por encima de su presión operativa máxima sin ningún efecto negativo en su capacidad de rendimiento a largo plazo.

- **Resistencia sísmica:** la dureza, ductilidad y flexibilidad de la tubería de PE combinada con sus otras propiedades especiales, como sus uniones termo fundidas totalmente restringidas y sin fugas, la hacen muy adecuada para su instalación en entornos de suelo dinámicos y en áreas propensas a terremotos.
- **Ventajas de construcción:** la combinación de peso ligero, flexibilidad y juntas totalmente restringidas y sin fugas de las tuberías de PE permite métodos de instalación únicos y rentables que no son prácticos con materiales alternativos. La tubería de PE se produce en longitudes rectas estándar de hasta 600 pulgadas o más y se enrolla en diámetros de hasta 6 pulgadas. Se encuentran disponibles longitudes en espiral de más de 12000 pulgadas en ciertos diámetros. Las tuberías de PE resisten el impacto mucho mejor que las tuberías de PVC, especialmente en instalaciones en climas fríos donde otras tuberías son más propensas a sufrir grietas y roturas.
- **Durabilidad:** las instalaciones de tuberías de PE son rentables y tienen ventajas de costos a largo plazo debido a las propiedades físicas de la tubería, las juntas sin fugas y los costos de mantenimiento reducidos. La industria de las tuberías de PE estima que la vida útil de las tuberías de PE es, de manera conservadora, de 50 a 100 años, siempre que el sistema haya sido diseñado, instalado y operado adecuadamente de acuerdo con las prácticas establecidas de la industria y las recomendaciones del fabricante. Esta longevidad confiere ahorros en los costos de reemplazo para las generaciones venideras. Los sistemas de tuberías de PE correctamente diseñados e instalados requieren poco mantenimiento continuo. La tubería de PE es resistente a la mayoría de los productos químicos comunes y no es susceptible a la corrosión galvánica ni a la electrólisis.
- **Resistencia a la temperatura:** el rango de temperatura de funcionamiento típico de la tubería de PE es de -18 °C a 60 °C para servicio a presión. Sin embargo, para aplicaciones especiales y sin presión, el material soporta fácilmente temperaturas

mucho más bajas (por ejemplo, hasta -40 °C e inferiores) y existen materiales especialmente formulados que soportan temperaturas algo más altas. Pruebas exhaustivas y muchas aplicaciones a temperaturas ambiente muy bajas indican que estas condiciones no tienen un efecto adverso sobre la resistencia o las características de rendimiento de la tubería. Normalmente, los materiales de PE conservan una mayor resistencia a temperaturas elevadas en comparación con otros materiales termoplásticos como el PVC. Como resultado, las tuberías de PE se utilizan para una variedad de aplicaciones de tuberías en un rango de temperatura muy amplio.

Las características y beneficios de la PE son bastante amplios y algunas de las cualidades más notables se han delineado en los párrafos anteriores.

2.1.2 Fuga de Gas

Según Trevor A., K. (2001) en su libro titulado "Learning from Accidents" una fuga de gas o una pérdida de gas se refiere a la filtración de gas natural u otro producto gaseoso, desde una tubería u otra conducción, a cualquier área donde el gas no tendría que estar presente. Debido a que una filtración pequeña logra gradualmente convertirse en una concentración explosiva de gas produciendo una gran nube de gas, las fugas de gas son muy peligrosas debido a que las fuentes de ignición conocidas que ocasionan una explosión a gran escala nunca son eliminadas completamente.

2.1.3 Fundamentos de la automatización industrial

En Piedrafita M., P. (2004) "Ingeniería de la automatización Industrial", la automatización se define como la integración de dispositivos, diseños y técnicas con la finalidad de controlar u organizar un sistema o conjunto de procesos industriales de manera óptima, aumentando la calidad de la producción. El término automatización también se ha utilizado para describir sistemas no destinados a la fabricación en los que dispositivos automáticos o programados funcionan de manera autónoma o semiautónoma.

La interfaz hombre-máquina es uno de los aspectos más destacados en la automatización industrial, debido a que es el medio de comunicación que involucra al hombre y el proceso, a través del monitoreo, control y emisión de señales según la configuración que tenga la interfaz. Esta interfaz otorga un nivel de control y visualización del proceso según su configuración de entradas y salidas utilizadas en el controlador, siendo esta muy intuitiva para el operador, debido a que su finalidad es el entendimiento del funcionamiento del sistema o proceso.

2.1.4 Niveles de automatización

Según Centro de Ciberseguridad Industrial (2017) en su artículo titulado "Ciberseguridad en la pirámide de automatización industrial", los niveles de automatización son representados en la pirámide de automatización donde se encuentran involucradas todas las tecnologías de un entorno industrial. En la Figura 2.1. se visualizan los niveles de automatización, siendo estos:

Nivel de campo: Este nivel comprende a todos los equipos físicos de campo como sensores y actuadores.

Nivel de control: Este nivel incluye a los controladores de campo como por ejemplo los PLC multimarca (Siemens, Omron, Delta, Allen Bradley, Schneider Electric, etc.).

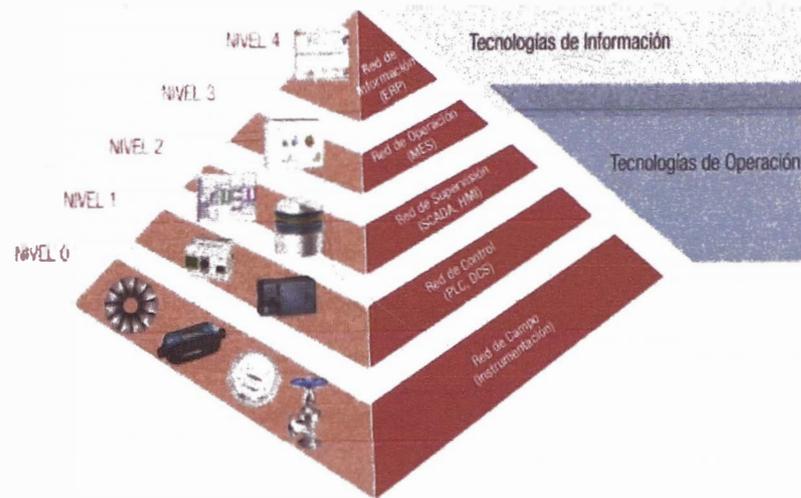
Nivel de operación y supervisión: Este nivel comprende a la supervisión del sistema en base a un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) y sistema de control distribuido (DCS).

Nivel de manufactura: En este nivel se gestiona y planifica los flujos de trabajos con el objetivo de optimizar diferentes procesos.

Nivel de administración: Este nivel se compone de los sistemas que tienen como objetivo la gestión integral de la empresa (ERP).

Figura 2.1

Niveles de automatización.



Fuente. Centro de Ciberseguridad (2017) “Ciberseguridad en la pirámide de automatización industrial”

2.1.5 Sistemas de monitoreo

En el artículo de Ellingwood, J. (2017) titulado “An Introduction to Metrics, Monitoring, and Alerting”, el monitoreo se define como el proceso de recopilación, incorporación y análisis de datos para mejorar el conocimiento de las características y el comportamiento del entorno de donde son extraídos. Los datos de un entorno se recopilan en un sistema de monitoreo que es responsable del almacenamiento, la incorporación, la visualización y el inicio de respuestas automáticas cuando los valores cumplen con los requisitos específicos.

El monitoreo toma datos, los agrega y los presenta de varias maneras que permiten a los usuarios extraer información.

Los sistemas de monitoreo cumplen muchas funciones relacionadas. Su primera responsabilidad es aceptar y almacenar datos entrantes e históricos. A pesar de que los datos que representan el valor actual en el tiempo son útiles, casi siempre es más útil ver esos números en relación con los valores pasados para proporcionar un contexto en torno a los cambios y tendencias. Esto significa que un sistema de monitoreo debe ser capaz de

administrar datos durante períodos de tiempo, lo que implica el muestreo o la agregación de datos más antiguos.

En segundo lugar, los sistemas de monitoreo típicamente proporcionan visualizaciones de datos. Los sistemas de monitoreo generalmente representan los componentes que miden con gráficos y paneles configurables. Esto logra la comprensión de la interacción de variables complejas o cambios dentro de un sistema observando una pantalla.

Finalmente, los sistemas de monitoreo se usan normalmente como una plataforma para definir y activar alertas.

2.1.6 Cloud IOT

De acuerdo con Simmons, A. (2023) en su artículo titulado “Cloud Computing for the Internet of Things (IoT)”, el Cloud IOT es una arquitectura tecnológica que permite conectar dispositivos IOT a servidores alojados en centros de datos en la nube. Esto logra el análisis de datos en tiempo real y una mejor toma de decisiones, así como la optimización y mitigación de riesgos basadas en información. Cloud IoT simplifica la gestión de dispositivos conectados a escala. Entre las principales características de una arquitectura Cloud IOT son las siguientes:

Almacenamiento de datos: La nube recopila datos de IoT generados por miles de sensores de IoT, y los datos se almacenan y procesan en una ubicación central(nube). Mientras que en otros tipos de arquitecturas de IoT, los datos se almacenan y procesan localmente.

Escalabilidad: El IoT en la nube es altamente escalable, debido a la infraestructura en la nube (recursos informáticos, de almacenamiento y de red) manejan fácilmente gran cantidad de dispositivos y procesar sus datos en sistemas de gran tamaño.

Flexibilidad: El IoT en la nube proporciona un alto nivel de flexibilidad, debido a que logra agregar o quitar dispositivos según sea necesario, sin tener que reconfigurar todo el sistema.

Mantenimiento: El mantenimiento de los servidores y los equipos de red lo realiza el proveedor de servicios en la nube (CSP). Mientras que en otro tipo de arquitecturas IoT el mantenimiento son responsabilidad del usuario final

Costo: Esta solución es rentable a largo plazo, debido a que los usuarios solo pagan por los recursos que realmente consumen y no tienen que invertir por adelantado en su propia infraestructura costosa de computación, almacenamiento y redes.

2.2 Marco conceptual

Para el desarrollo del trabajo de grado se emplean términos propios relacionados a las actividades de ingeniería, los cuales se definirán para mayor claridad:

- a) **Instrumento:** En el presente trabajo el concepto de instrumento se entiende como el dispositivo encargado de medir las magnitudes físicas presentes en el gas suministrado por el sistema de tuberías de distribución tales como la presión y la temperatura.
- b) **Tipo:** En el presente trabajo el concepto de tipo se entiende como el indicador que relaciona la longitud y el diámetro de los sistemas de tuberías que definirá los rangos de presión, temperatura y tiempo a los que se realizará la prueba de hermeticidad.
- c) **Hermeticidad:** En el presente trabajo el concepto de hermeticidad se entiende como la característica de una tubería de gas de no permitir una fuga hacia el exterior y asegurar su correcto funcionamiento sin afectar el entorno de operación.
- d) **Nube:** En el presente trabajo el concepto de nube se entiende como el acceso al uso de servidores remotos a través de internet permitiendo almacenar, administrar y procesar datos con múltiples tipos de aplicaciones.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

El objetivo de este apartado es conceptualizar todos los aspectos que forman parte global del desarrollo del proyecto, aquellas tecnologías y herramientas utilizadas que permiten comprender el problema y su solución.

3.1 Introducción

La presente investigación se realizó en tres etapas principales: la recopilación de datos, el procesamiento de la información y el análisis de los resultados.

En la primera etapa, se recopiló la información de la red de distribución de gas natural en la que será desarrollada la prueba de hermeticidad tales como el área de la red de distribución, la ubicación y el tipo de tubería.

Adicionalmente, se recopilaron los datos operacionales de las pruebas de hermeticidad tales como el tiempo de muestreo, duración de la prueba, longitud de tubería, diámetro de la tubería, rangos de temperatura y de presión.

En la segunda etapa, se desarrolló la selección de dispositivos que permitan cumplir con los requisitos de las pruebas de hermeticidad previamente recopilados.

A continuación, se procedió a realizar el diseño del sistema de adquisición de datos definiendo el esquema de operación.

Finalmente, en esta etapa, se realizó la puesta en marcha del sistema de adquisición de datos en la unidad de análisis, verificando el desempeño del sistema diseñado.

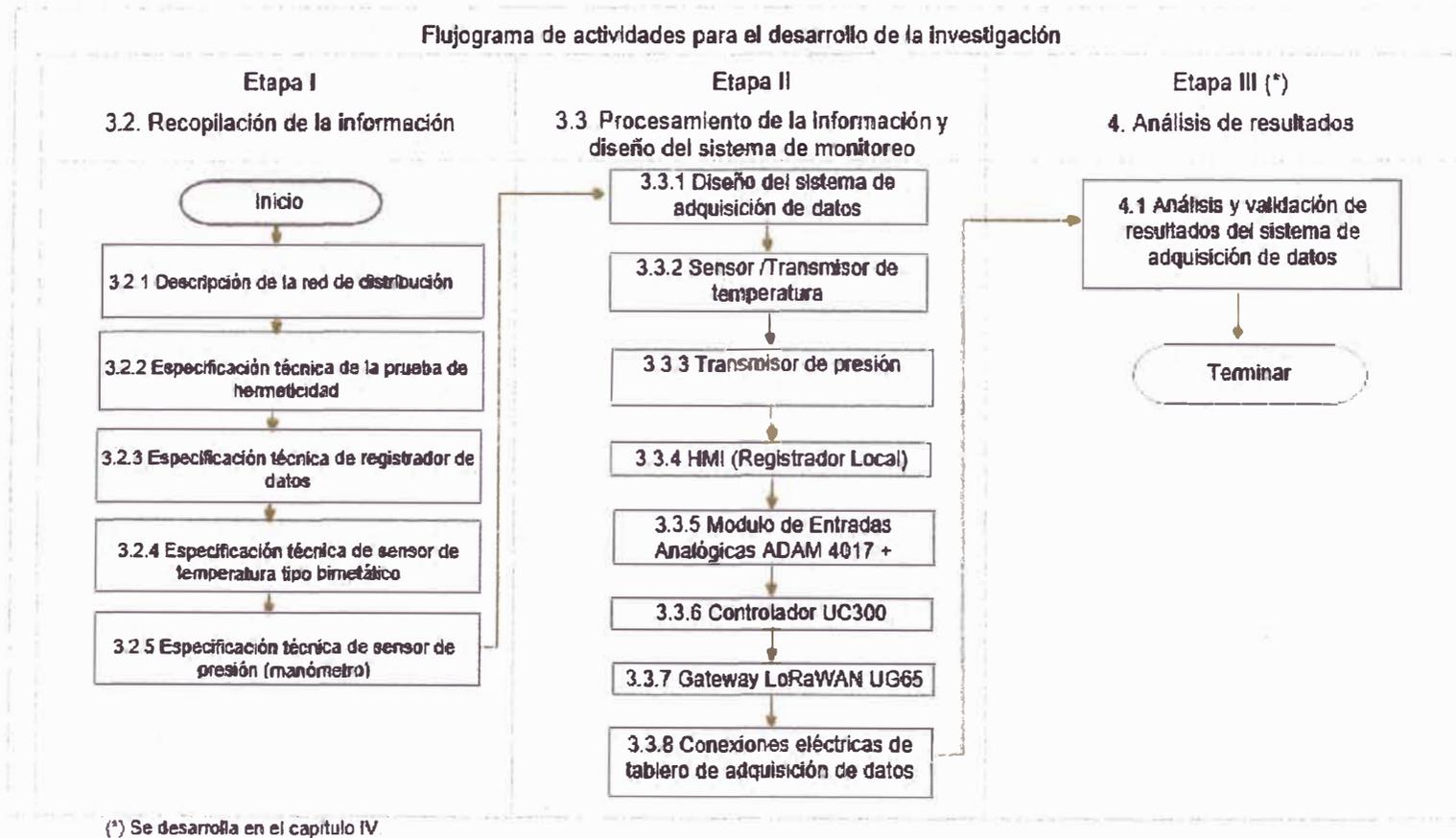
En la tercera etapa, se analizaron los resultados obtenidos de las pruebas realizadas del sistema de adquisición de datos en la unidad de análisis. Con la finalidad de

validar la confiabilidad de las tuberías se compara los valores obtenidos de las variables temperatura y presión con rangos ya establecidos por el organismo regulador Osinergmin.

Considerando lo descrito anteriormente, se planteó el flujograma de actividades para el desarrollo del presente trabajo de investigación respecto al diseño del sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad de redes de distribución de gas natural en tuberías de polietileno (ver Figura 3.1).

Figura 3.1

Flujograma de actividades para el desarrollo de la investigación .



Fuente: Elaboración propia

3.2 Recopilación de datos

3.2.1 Descripción de la red de distribución

Según las condiciones de la unidad de análisis se consideraron las precauciones necesarias para eliminar los peligros para las personas cerca de las líneas que se están probando, se colocan señales de precaución en el área de la prueba aislando la posibilidad de acceso a personal no autorizado a las pruebas. Asimismo, se mantiene una constante vigilancia de las instalaciones para la prueba y se colocan señales preventivas y se realiza el acondicionamiento del área. Consideraciones de diseño de las redes de polietileno (PE):

En el presente trabajo de investigación es importante considerar la clasificación de las redes de distribución de Gas Natural a baja presión en material de polietileno (PE) según la Máxima Presión Admisible de Operación (MAPO):

- **BAJA PRESIÓN EN INTERNA RESIDENCIAL** 0.018 bar < P < 0.023 bar
- **BAJA PRESIÓN EN INTERNA COMERCIAL** P < 0.340 bar
- **BAJA PRESIÓN EN RED** 0.500 bar < P < 5.000 bar

En el desarrollo del trabajo de investigación la unidad de análisis es la red de distribución, la cual es clasificado como **BAJA PRESIÓN EN RED** donde la presión máxima dentro del sistema de tuberías es 5 bar.

Dimensionamiento de las tuberías de polietileno (PE):

Todos los materiales que se utilizaron poseen la aprobación de utilización por parte de empresas de distribución de gas natural. Se ha adoptado que las tuberías de alta y/o media densidad sean para la construcción de sus redes de distribución, fabricados en base a la norma EN 1555 y normas relacionadas ISO 4437 (tuberías) / ISO 8085 (accesorios).

Las redes aisladas de los demás sistemas de tuberías en servicio pertenecientes al sistema de distribución de gas natural de Lima y Callao se clasifican en los siguientes tipos:

Tipo A

Extensiones de red y spools (incluido by pases) con diámetros nominales mayores o iguales a 32 mm y cuyas longitudes sean menores o iguales a 100 metros aproximadamente.

Tipo B

Para mallas, extensiones de red y tuberías con diámetros nominales mayores o iguales a 32 mm y cuyas longitudes sean mayores a 100 metros y menores a 6000 metros aproximadamente.

Tipo C

Para mallas, o sistemas equivalentes, cuyas longitudes sean mayores a 6000 metros.

3.2.2 Especificación técnica de las pruebas de hermeticidad

Todo tramo de tubería instalado será objeto de una prueba de hermeticidad, según el procedimiento correspondiente, con el fin de detectar posibles pérdidas (caídas de presión) ocasionado por el proceso de unión que se realiza en el sistema de tuberías de polietileno (PE) en la instalación de las redes de distribución de baja presión. La prueba de hermeticidad es evaluada por inspectores calificados para esta tarea.

La prueba de hermeticidad es llevada a cabo solo si cuenta con certificados vigentes de calibración de los instrumentos con una antigüedad no mayor a 1 año y equipos a emplearse para tal fin, con certificado de calibración o de operatividad correspondientes. Cuando se evidencia el mal estado del instrumento, este es calibrado nuevamente. Los instrumentos de medición, que incluyen el registrador de presión y temperatura, manómetros y termómetros analógicos, que intervienen directamente en el proceso deben contar con el certificado de calibración vigente emitido por una entidad registrada. En

cuanto al equipo que suministrará el fluido de prueba, cumplirá el mantenimiento preventivo y la ficha técnica, declarada por el fabricante.

El responsable encargado de realizar las pruebas debe suministrar todos los equipos, instrumentos, herramientas, consumibles y personal necesarios para realizar la prueba de hermeticidad. El fluido o medio empleado para la prueba de hermeticidad y limpieza interior de la red construida será un fluido gaseoso (Aire, nitrógeno u otro gas inerte). La limpieza interior de la red construida sirve para asegurar que dentro de las tuberías no queden objetos o impurezas (barro, arena, sedimentos u otro elemento) que perjudiquen a los instrumentos que se interconectan, verificándose tal condición en cada punto de purga o de salida.

Para la presión de prueba se requiere seguir los siguientes pasos:

- Garantizar el conexionado para el ingreso del fluido de prueba.
- Incrementar la presión gradualmente y realizar una inspección visual de todas las uniones visibles.
- Si la primera inspección es satisfactoria, se deberá aumentar gradualmente la presión "en etapas", hasta alcanzar la presión de prueba.
- Una vez alcanzada la presión de prueba, se deberá realizar otra inspección minuciosa con solución de agua jabonosa en todas las uniones visibles.
- De existir alguna fuga, esta deberá ser detectada y marcada sobre la unión, para luego de retirar el fluido de prueba, realizar las correcciones correspondientes.

La prueba de hermeticidad es realizada con instrumentos de presión y temperatura, con rangos apropiados para la medición, de tal manera que garanticen los valores alcanzados de los parámetros durante todo el desarrollo de la prueba.

La prueba de hermeticidad no debe superar los 8.5 bar, si esto sucede se suspende inmediatamente la prueba. Para la prueba de la red, se conforma un solo cuerpo constituido por tuberías, válvulas de corte, accesorios y válvulas de servicio.

La presión de prueba no es menor de 7.5 bar (1.5 la máxima operación – MAPO); para pruebas superiores a 96h, la temperatura del material no debe alcanzar los 38°C. Asimismo, por ningún motivo la temperatura no debe ser superior a los 60°C, en conformidad con el ASME B31.8.

Según el tipo de red aislada previamente descrito en la sección 5.2.1, las condiciones de la prueba de hermeticidad son las siguientes:

Tipo A

El tiempo de prueba es de 4 horas, aplicándose previamente un periodo mínimo de estabilización de 30 minutos. Se considera un registrador de presión y temperatura, un manómetro y un termómetro de redundancia.

Tipo B

El tiempo de prueba es de 24 horas, aplicándose previamente un periodo mínimo de estabilización de 2 horas. Se considera un registrador de presión y temperatura, un manómetro y un termómetro de redundancia.

Tipo C

El tiempo de prueba es de 36 horas, aplicándose previamente un periodo mínimo de estabilización de 3 horas. Se considera un registrador de presión y temperatura, un manómetro y un termómetro de redundancia.

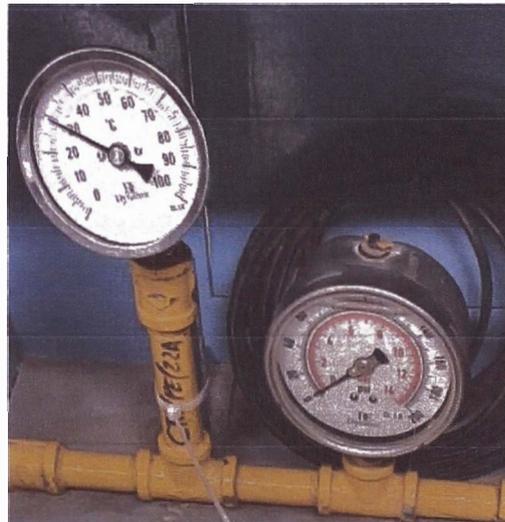
Los tiempos antes descritos se consideran como tiempos mínimos y en ningún caso, la red debe quedar por más de 60 horas con la presión de prueba. Para los 3 tipos

descritos, terminada la prueba satisfactoriamente se reducirá a 1 bar la presión de prueba, en espera de su gasificación.

El usuario encargado de las pruebas de hermeticidad posee un cabezal de pruebas disponible y debidamente probado y calibrado para todas las pruebas de hermeticidad. Este cabezal de pruebas está conformado por un termómetro analógico, un manómetro como se visualiza en la Figura 3.2. Adicionalmente el cabezal pruebas está compuesto por los sensores correspondientes al registrador de datos de pruebas de hermeticidad.

Figura 3.2

Termómetro analógico y manómetro de cabezal de pruebas.



Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Especificación técnica de registrador de datos

El registrador de presión y temperatura recolecta de forma continua los datos con un intervalo de tiempo de 60 segundos. Los datos registrados se visualizan gráficamente.

Se registra manualmente cada 15 minutos los valores de presión y temperatura y dichos valores son consignados en el registro de prueba de hermeticidad en redes de polietileno (ver anexo 4).

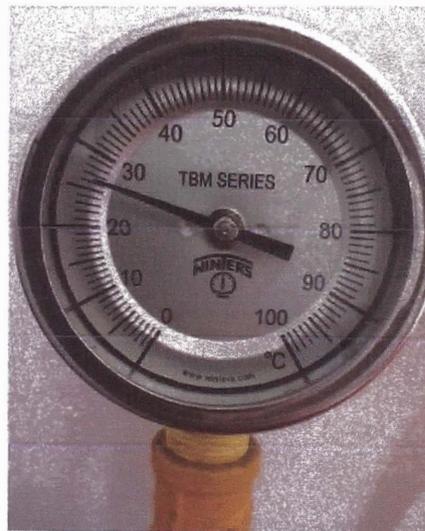
El registrador de presión y temperatura debe poseer la capacidad de operar en condiciones donde no exista alimentación eléctrica monofásica convencional de 220 VAC debido a que las instalaciones de redes de distribución en tuberías de polietileno (PE) se realizan en las calles, es decir debe tener autonomía de funcionamiento de 36 horas y así se realice las pruebas de hermeticidad para cualquier tipo de sistemas de tuberías clasificado en la sección 3.2.2.

3.2.4 Especificación técnica de sensor de temperatura

El sensor analógico instalado en el cabezal de pruebas según la especificación técnica de prueba de hermeticidad descrita en la sección 3.2.2 debe tener una resolución de lectura menor o igual a 1°C. El sensor de temperatura analógico instalado en el cabezal de prueba es un termómetro bimetálico que se visualiza en la Figura 3.3.

Figura 3.3

Termómetro analógico bimetálico.



Fuente. Elaboración propia.

El principio de funcionamiento de este sensor se basa en los principios de contracción y de expansión de dos aleaciones metálicas diferentes. Una de ellas posee un alto coeficiente de dilatación y la otra con un bajo coeficiente de dilatación. Las dos aleaciones que componen el sensor bimetálico se unen formando un espiral helicoidal la

cual es conocida como tira bimetalica. En el caso de los termómetros con vástagos de inmersión este espiral o tira bimetalica está soldada por un extremo a la zona inferior del tubo y por el otro a la aguja indicadora. En la Tabla 3.1 se resume las características técnicas indicadas por el fabricante del sensor.

Tabla 3.1

Características técnicas del termómetro bimetalico WINTERS.

Instrumento de medición	Termómetro analógico
Intervalo de indicación	0°C a 100°C
División de escala	1°C
Elemento sensor	Bimetalico
Marca	Winters
Modelo	Tbm
Serie	No indica
Diámetro de Rosca	1/2" NPT
Posición de trabajo	Vertical
Código de identificación	T-PE-78

Nota: Elaboración propia.

3.2.5 Especificación técnica de sensor de presión

El manómetro analógico instalado en el cabezal de pruebas según la especificación técnica de prueba de hermeticidad en la información recopilada de los manuales de diseño de redes de distribución de baja presión descrita en la sección 3.2.2 es un manómetro analógico de diafragma que se visualiza en la Figura 3.4. El manómetro analógico posee un dial de 100 mm, el valor de lectura de presión esta entre el 25 % y 75% del rango de medición del manómetro y la resolución de lectura igual a 0.1 bar.

Figura 3.4

Manómetro analógico de diafragma.



Fuente: Elaboración propia

El principio de funcionamiento de este sensor se basa en la deformación de un diafragma metálico que es sensible a los cambios de presión. El manómetro de diafragma utiliza la deflexión o deformación de una membrana que es delgada y flexible para medir la presión de un fluido de un sistema. Este manómetro es adecuado para líquidos o gases debido a que el diafragma tiene la capacidad de aislar los componentes internos del medio o fluido donde se realiza la medición evitando un contacto directo. En la Tabla 3.2 se resume las características técnicas indicadas por el fabricante del sensor.

Tabla 3.2

Características técnicas del manómetro analógico NUOVA FIMA.

Instrumento de medición	Termómetro analógico
Tipo de indicación	Analógico
Intervalo de indicación	0 psi a 160 psi / 0 bar a 11 bar
División de escala	2 psi/0.2 bar
Clase de exactitud	1 % F.S
Marca	Nuova Fima
Modelo	37/2011
Serie	101690
Diámetro de rosca	1/2 NPT
Diámetro de caja	100 mm
Posición de trabajo	Vertical
Procedencia	No indica
Código de identificación	MAN-PE-45

Nota. Elaboración propia

3.3 Procesamiento de la información

3.3.1 *Diseño del sistema de adquisición de datos*

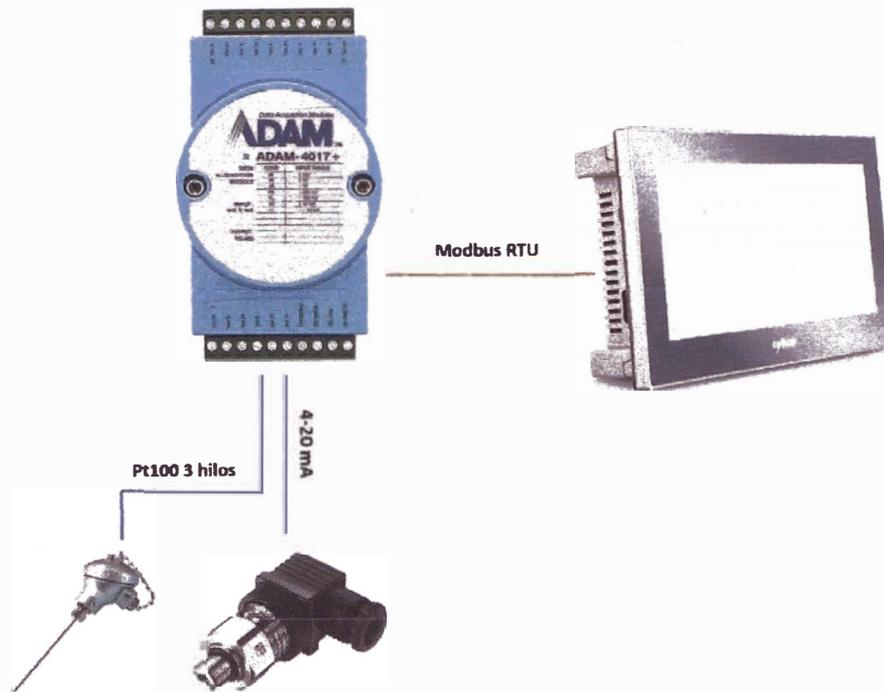
El objetivo para el desarrollo del presente trabajo de investigación es diseñar un sistema de adquisición de datos con la finalidad de mitigar la incidencia de fugas de gas en redes de distribución de polietileno (PE) cumpliendo con la información recopilada en la sección 3.2.

El sistema de adquisición de datos en la presente investigación tendrá la capacidad de monitorear las variables de presión y temperatura en una prueba de hermeticidad en tuberías de polietileno (PE) de redes de distribución de gas natural cumpliendo con las especificaciones técnicas establecidas por el órgano regulador Osinergmin que supervisa dichas pruebas. Además, el sistema de adquisición de datos permitirá al usuario encargado de supervisar la prueba de hermeticidad visualizar la tendencia de las variables durante todo el intervalo de tiempo de duración de la prueba de hermeticidad y guardar la data adquirida con tiempo de muestreo de 1 minuto. Asimismo, el sistema dispondrá de autonomía por 36 horas que permitirá realizar pruebas de hermeticidad a los tres tipos de tuberías clasificadas en la sección 3.2.1.

De acuerdo con lo explicado previamente, para lograr el objetivo de la investigación, se utiliza instrumentos industriales tales como dos sensores Pt100 con cabezal y dos transmisores de presión diferencial que permitirán medir las variables de temperatura y presión respectivamente. Debido a que la prueba más larga a realizar es de 36 horas para tuberías del tipo C descrito en el ítem 3.2.2 se plantea utilizar un monitoreo basado en servicios en nube que permitan tener un respaldo de datos para el usuario para lo cual el sistema de adquisición de datos estará dividido en dos subsistemas. El primer subsistema que se visualiza en la Figura 3.5 será el encargado de realizar el registro de las variables de modo local. El dispositivo encargado de convertir la señal de los sensores de presión y temperatura en datos digitales será el módulo de entradas analógicas ADAM 4017+ que posee 8 entradas para señales analógicas en corriente en el rango de 4 a 20 mA. Para visualizar las variables digitalizadas presión y temperatura medidas en la prueba de hermeticidad en redes de tubería de polietileno (PE) que son enviadas desde el módulo de entradas analógicas ADAM 4017+ a través del protocolo de comunicación modbus RTU utilizando el puerto físico RS-485 estándar se utilizará un panel HMI (Human Machine Interface) con pantalla táctil resistiva de 4.3 pulgadas CIMON modelo CM-XT04CD-DE que permite visualizar las tendencias mediante gráficas, asimismo este panel permitirá al usuario guardar la data en un USB debido a que este HMI posee la capacidad de almacenar data en archivos con formato csv.

Figura 3.5

Diagrama esquemático de integración del primer subsistema del sistema de adquisición de datos.



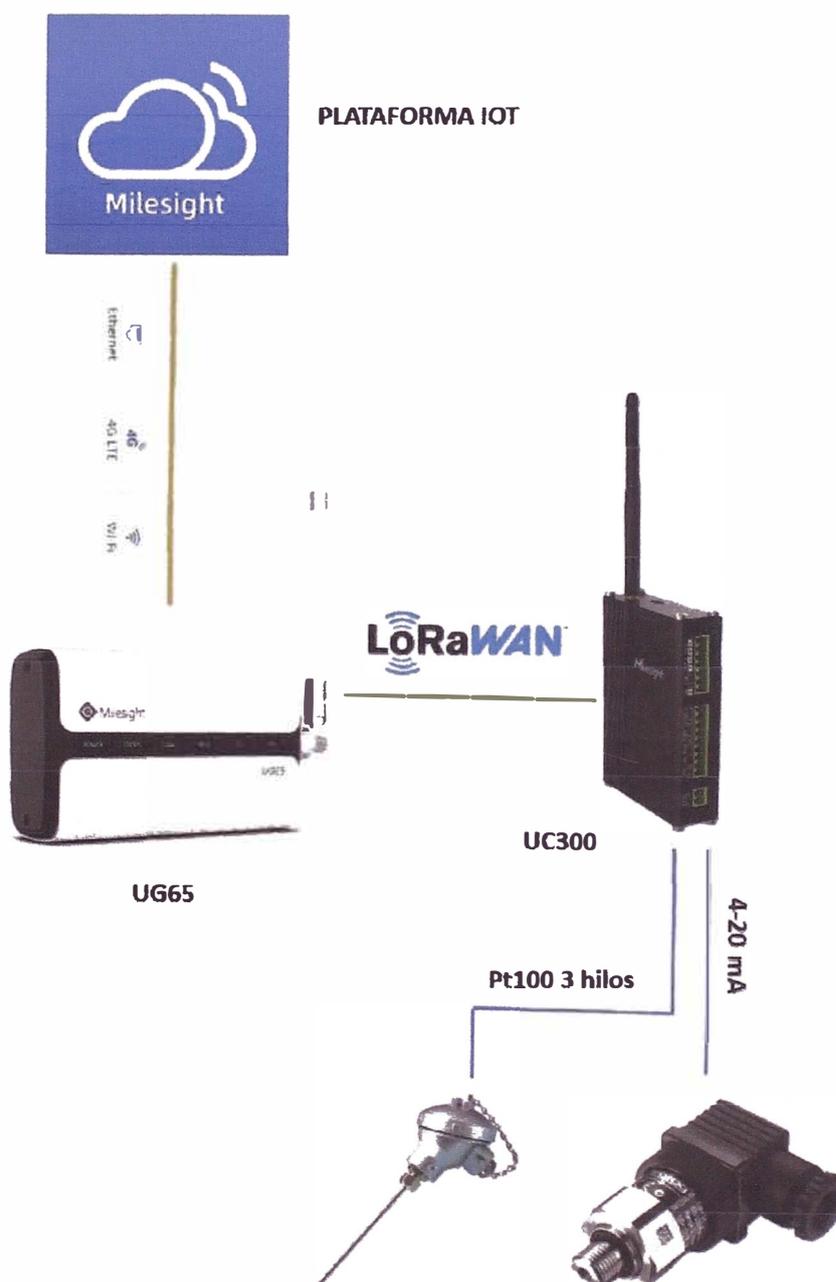
Fuente Elaboración propia.

El segundo subsistema que se visualiza en la Figura 3.6 será el encargado de realizar el registro de las variables de presión y temperatura y almacenarlos en un servidor web. El dispositivo encargado de digitalizar las variables medidas por el segundo subsistema será el controlador UC300 que posee entradas para sensores de temperatura del tipo Pt100 y entradas analógicas en corriente en el rango de 4 a 20 mA. Debido a que las pruebas de hermeticidad se realizan en periodos de tiempo relativamente largos y considerando que el usuario encargado de realizar la prueba de hermeticidad tendrá momentos de desatención se plantea que toda la data recopilada en la prueba de hermeticidad se almacene en una plataforma web que permita emitir alertas cuando los valores medidos de las variables de la prueba de hermeticidad estén fuera de los rangos permisibles previamente establecidos. Con la finalidad de almacenar en una plataforma web la data recopilada por el segundo subsistema en las pruebas de hermeticidad se

utilizará el dispositivo UG65 que tiene la capacidad de administrar la data recopilada por el controlador UC300 y almacenarlo en la plataforma web IOT "Milesight". Para lograr administrar la data previamente descrita el dispositivo UG65 utiliza el protocolo de comunicación LoRaWAN y así almacenarla en una plataforma web.

Figura 3.6

Diagrama esquemático de integración del segundo subsistema de adquisición de datos.

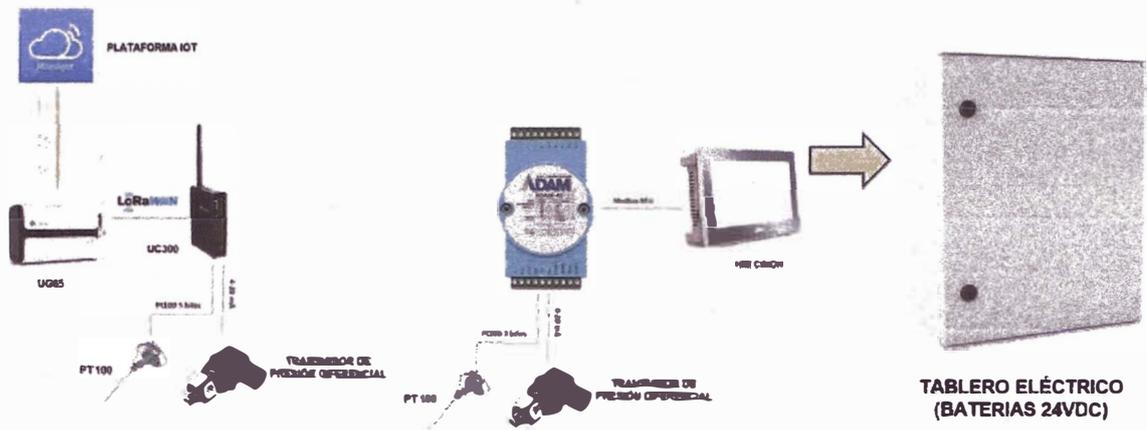


Fuente. Elaboración propia.

De conformidad con lo anteriormente planteado se presenta en la Figura 3.7 el diagrama esquemático que describe la arquitectura del sistema de adquisición de datos para pruebas de hermeticidad en tuberías de polietileno (PE) de redes de distribución de gas natural.

Figura 3.7

Diagrama esquemático de integración del sistema de adquisición de datos.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.2 Sensor/transmisor de temperatura

Los sensores de temperatura instalado encargado de medir la variable de temperatura en el cabezal de prueba y que a su vez se conectaran al controlador UC300 y al módulo ADAM 4017 + utilizando un transmisor de temperatura DAT1015 es una termorresistencia o RTD ("Resistive Temperature Detector") por sus siglas en inglés. En la figura 3.8 se visualiza el sensor de temperatura.

Figura 3.8

Sensor de temperatura Pt100.



Fuente: Elaboración propia.

Este tipo de sensores son apropiados para aplicaciones de medición de temperatura de gases, especialmente en aplicaciones que exigen alta precisión y estabilidad. El principio de esta tecnología se basa en detectar la variación de resistencia de un determinado conductor en la base a la temperatura ambiente (resistencia característica del conductor a 0°C).

El conductor escogido para este trabajo de investigación es el platino con característica de poseer una resistencia de 100 ohmios a 0°C. El platino es escogido debido a que tiene un amplio margen térmico y con respuestas lineales y característicos de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura a la cual corresponde. En la tabla 3.3. se visualiza las características técnicas indicadas por el fabricante.

Tabla 3.3

Características técnicas de la termorresistencia TRF E042075TRF.

Instrumento de medición	Termorresistencia
Marca	TRF
División mínima	0.1°C
Modelo	E042075TRF
Diámetro de rosca	1/2 NPT
Sensor	Platino (Pt)- 100 ohmios (3 hilos) con aislamiento interno MgO (óxido de magnesio)
Coefficiente de temperatura	0 00385(Ohm/°C)
Grado de precisión	Clase B-Norma IEC 751
Temperatura de uso	-50 °C a 250 ° C
Material de bulbo	Acero Inoxidable AISI 316
Grado de protección	IP67

Nota: Elaboración propia

El sensor de temperatura utilizado en el primer subsistema es del tipo RTD y el módulo ADAM 4017+ dispone de 8 entradas analógicas de corriente (4 a 20 mA), entonces es necesario utilizar un transmisor de temperatura que convierta la señal del sensor Pt100 en una señal eléctrica. El transmisor de temperatura instalado con el sensor de temperatura es el DAT1015 del fabricante Datexel. En la Figura 3.9 se visualiza el transmisor de temperatura.

Figura 3.9

Transmisor de temperatura DAT1015.



Fuente: Datexel (2021) DAT1015 Datasheet.

El transmisor de temperatura DAT1015 está diseñado para ser utilizado en diferentes aplicaciones industriales debido a su capacidad de suministrar mediciones precisas y confiables de temperatura. Además, el DAT1015 es capaz de linealizar la

variación de resistencia de los sensores RTD (“Resistive Temperature Detector”) convirtiéndola en una señal de corriente de 4 a 20 mA. La configuración del dispositivo se realiza utilizando el software Prosoft y el cable CVPROG, desarrollados por Datexel. En la Tabla 3.4 se resume las características técnicas indicadas por el fabricante del equipo.

Tabla 3.4

Características técnicas del transmisor de temperatura DAT1015.

Instrumento de medición	Termorresistencia
Marca	TRF
Procedencia	Italia
Modelo	DAT1015
Tipo de entrada	RTD (2, 3 y 4 hilos)
Rango de temperatura Pt100	-200 °C a 850 °C
Span mínimo	50 °C
Tipo de salida	4 a 20 mA
Fuente de alimentación	10 a 32 VDC
Temperatura de operación	-40 °C a 85 °C
Montaje	Cabeza DIN B o mayor

Nota: Elaboración propia

3.3.3 Transmisor de presión

Los transmisores de presión instalados encargados de medir la variable de presión en el cabezal de prueba y que a su vez se conectaran al controlador UC300 y al módulo ADAM 4017 + son transmisores de presión diferencial modelo EPI 8287 del fabricante TRAFAG. En la Figura 3.10 se visualiza el transmisor de presión industrial EPI8287.

Figura 3.10

Transmisor de presión EPI8287.



Fuente: Trafag (2023). EPI8287 Datasheet

El principio de funcionamiento de esta tecnología se basa en una capa fina de acero que detecta la presión y la convierte en una señal mecánica, esta señal mecánica luego es transformada por un acondicionador en una señal eléctrica proporcional a la presión aplicada. Los transmisores miden en el rango de 0 a 16 bar siendo la señal eléctrica de salida en un rango de 4 a 20 mA. Estos transmisores se conectan al controlador UC300 y al módulo ADAM 4017+ mediante un lazo de corriente. En la tabla 3.5. se visualiza las características técnicas de los transmisores de presión indicadas por el fabricante.

Tabla 3.5

Características técnicas del transmisor de presión TRAFAG EPI 8287.

Instrumento de medición	Transmisor de presión
Alcance de indicación	0 bar a 16 bar
Señal de salida	4mA a 20 mA
Marca	Trafag
Modelo	8287 78 2517
Serie	674853-033
Diámetro de rosca	1/2" NPT
Posición de trabajo	Vertical
Procedencia	Suiza
Temperatura de operación	-40 °C a 125 °C

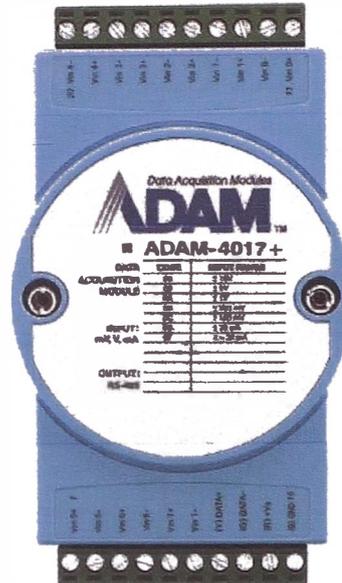
Nota Elaboración propia

3.3.4 Módulo de entradas analógicas

El módulo de entradas analógicas instalado en el primer subsistema es el ADAM 4017 + que se visualiza en la Figura 3.11. El módulo ADAM 4017+ de 8 entradas analógicas independientes (corriente o voltaje) es utilizado en aplicaciones de monitoreo y medición industrial de señales analógicas de sensores y transductores tales como temperatura, presión, flujo, nivel, velocidad entre otros.

Figura 3.11

Módulo de entradas analógicas ADAM 4017+



Fuente: Advantech (2023). Datasheet ADAM 4017+.

El módulo ADAM 4017 + utiliza un convertidor analógico-digital (A/D) de 16 bits para convertir la señal de voltaje o corriente en datos digitales, la resolución de 16 bits permite al ADAM 4017+ dividir el rango de medición en 65536 posibles valores lo que proporciona gran precisión. En la tabla 3.6. se visualiza las características técnicas del módulo ADAM 4017+ indicadas por el fabricante.

Tabla 3.6***Características técnicas del módulo de entradas analógicas ADAM 4017+.***

Marca	Advantech
Procedencia	Taiwán
Modelo	ADAM 4017+
Número de entradas analógicas	8
Entradas independientes	Si
Tipo de entrada	mV, V, mA
Rango de entradas	0 - 150 mV, 0 - 500 mV
	0 -1 V, 0 - 5 V, 0 - 10 V
	± 20 mA, 0 - 20 mA, 4 - 20 mA
Resolución	16 bit
Tasa de muestreo	10 muestras por segundo
Precisión	±0.2%
Protocolo de comunicación	Modbus RTU
Alimentación	10-30VDC
Consumo de energía	1.2 Watts, 24VDC
Temperatura de operación	-10 °C a 70 °C

Nota. Elaboración propia.

3.3.5 HMI(Registrador Local) – Desarrollo de Pantallas

Según los requerimientos de la prueba de hermeticidad que necesita visualizar gráficamente los valores medidos de presión y temperatura, asimismo la necesidad de registrar en modo local los datos obtenidos por el sistema de adquisición de datos que evidencien que la prueba de hermeticidad realizada valida que la tubería de polietileno de la red de distribución de gas natural no presenta fugas. Evaluando entre las diferentes opciones que se podría seleccionar para que el usuario monitoree la prueba de hermeticidad se elige un HMI (Interfaz Hombre- Maquina). El HMI utilizado en el desarrollo del primer subsistema de adquisición de datos es de la marca CIMON modelo CM-XT04CD-DE cuyas características se visualizan en la tabla 3.7.

Tabla 3.7*Características técnicas del HMI CM-XT04CD-DE*

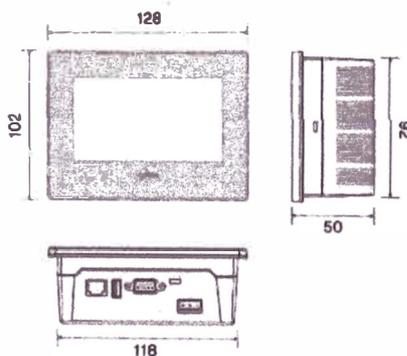
Marca	Cimon	
Procedencia	Corea del Sur	
Modelo	CM-XT04CD-DE	
Tipo de pantalla	Táctil resistivo de 4 puntos	
Resolución	WQVGA 480x272	
Luminosidad	Brillo de 840 cd/m2	
Memoria	128 MB DDR2	
Almacenamiento	Memoria flash SLC NAND de 128 MB	
Sistema operativo	Windows CE 6.0	
Software	Xpanel Designer	
Interfaz	Ethernet	10/100 BASE-T
	Serial (COM1)	RS-232C
	Serial (COM2)	RS-422/485
	Puerto USB	1 puerto
Tensión nominal	24VDC	
Consumo de energía	4W	
Humedad de funcionamiento	10–90% HR, sin condensación	
Temperatura de operación	0–65°C	
Temperatura de almacenamiento	-20°C - 65°C	
Altitud de funcionamiento	Menor a 2000 msnm	

Nota: Elaboración propia.

Asimismo, es importante considerar las dimensiones del HMI para la implementación en el tablero eléctrico que se muestra en la Figura 3.12.

Figura 3.12

Medidas en mm de HMI Cimon con pantalla Touch de 4.3 pulgadas.



Fuente: Elaboración propia.

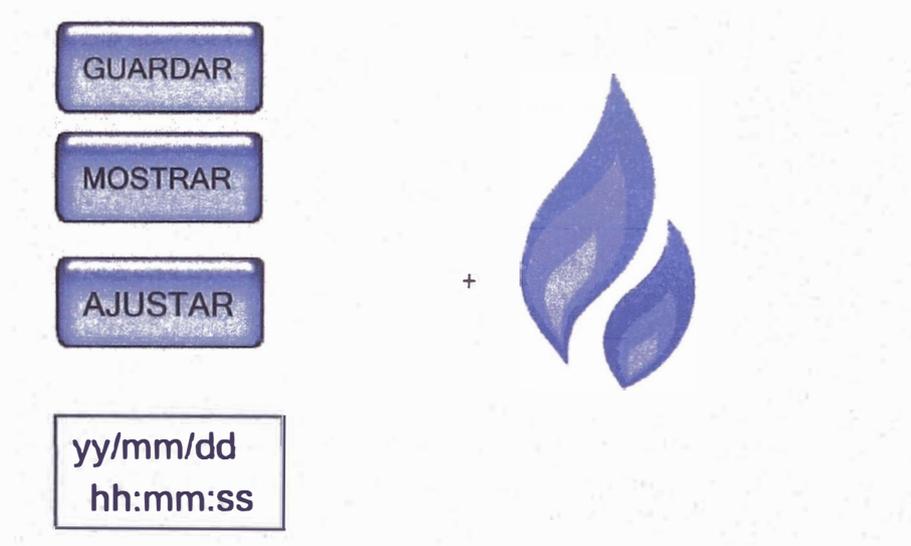
DESARROLLO DE PANTALLAS DE VISUALIZACIÓN

En este apartado se detallará el desarrollo de las pantallas de visualización que se ejecutarán en el HMI CIMON que es parte del primer subsistema.

Como primer paso se desarrolla una pantalla de inicio donde el usuario tendrá tres botones (GUARDAR, MOSTRAR Y AJUSTAR) además visualizará la hora actual, esta variable es importante y debe estar ajustada a la hora establecida por INACAL (Instituto Nacional de Calidad), esto se visualiza en la Figura 3.13.

Figura 3.13

Pantalla de inicio.

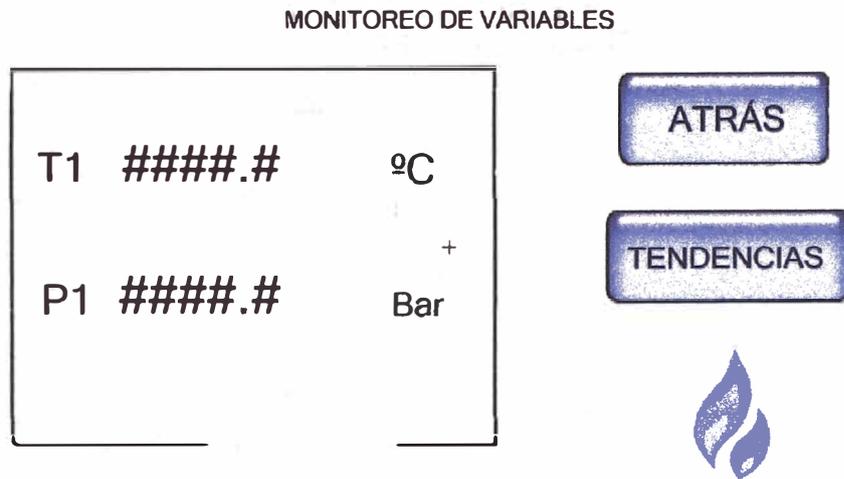


Fuente. Elaboración propia.

Una vez desarrollado la pantalla de inicio se procede a realizar las pantallas vinculadas a los tres botones (GUARDAR, MOSTRAR Y AJUSTAR) La pantalla vinculada al botón MOSTRAR permitirá al usuario visualizar las variables medidas de presión y temperatura ya digitalizadas con un decimal y con unidades de medida correspondiente. Este desarrollo se visualiza en la Figura 3.14.

Figura 3.14

Pantalla vinculada al botón MOSTRAR.

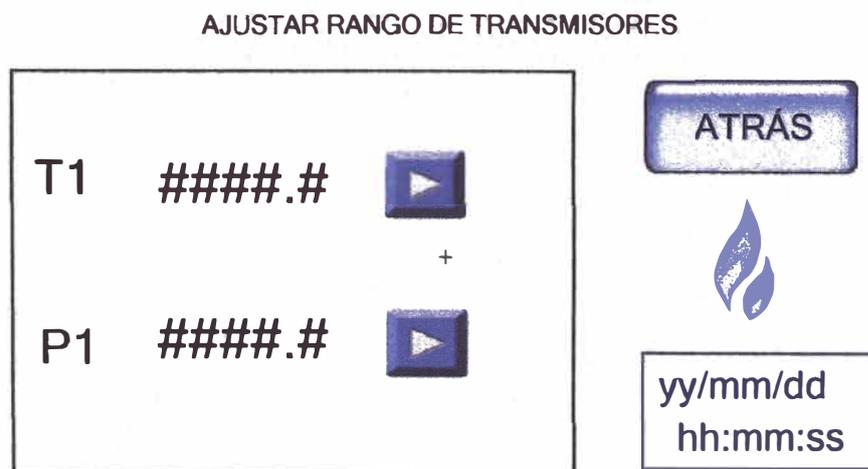


Fuente Elaboración propia.

La pantalla que se desarrolló luego corresponde a la vinculada al botón AJUSTAR la cual permitirá al usuario ajustar el rango de medición del sensor de temperatura y el transmisor de presión (ver Figura 3.15).

Figura 3.15

Pantalla vinculada al botón AJUSTAR.

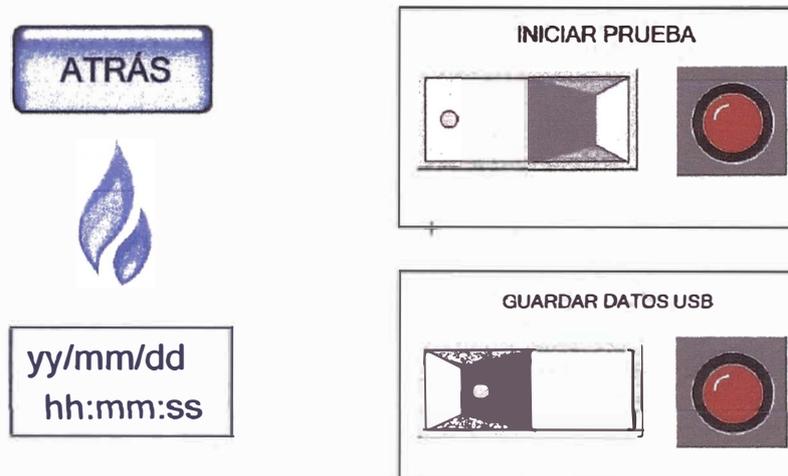


Fuente Elaboración propia.

Continuando con el desarrollo de las pantallas a fin de cumplir con las especificaciones técnicas de la prueba de hermeticidad, la siguiente pantalla en desarrollar fue la pantalla que corresponde a la vinculada al botón GUARDAR la cual permitirá al usuario guardar los datos registrados de la variable temperatura y presión en un USB. El formato en la que se guardarán los datos será el formato .csv que permitirá al usuario abrir este archivo con la herramienta Excel y administrar los datos previamente guardados. Este desarrollo se visualiza en la Figura 3.16.

Figura 3.16

Pantalla vinculada al botón GUARDAR.

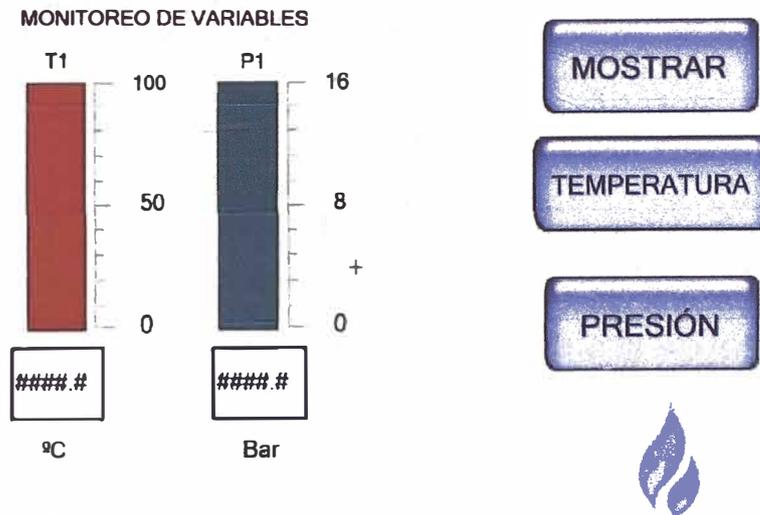


Fuente Elaboración propia

La siguiente pantalla en desarrollar es la pantalla que se le asigna el nombre de "TENDENCIAS" que se vincula al botón de tendencias que se ubica en la pantalla "MOSTRAR". En esta pantalla se utiliza gráficos verticales que permitan al usuario visualizar el comportamiento de las variables medidas en comparación al rango permisible de medición de los sensores de temperatura y presión del adquisidor de datos. Este desarrollo se visualiza en la Figura 3.17.

Figura 3.17

Pantalla de tendencias verticales de las variables medidas.

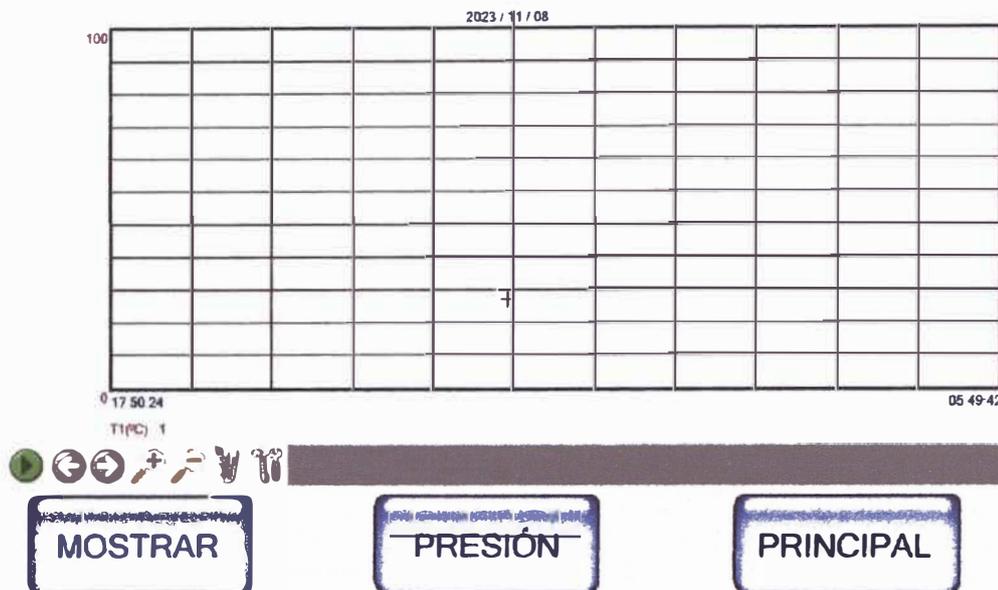


Fuente. Elaboración propia

Las siguientes pantallas en desarrollo fueron las que permiten al usuario visualizar las tendencias de las variables medidas en un rango de tiempo de 36 horas debido a que este es el tiempo máximo que dura una prueba de hermeticidad y de esta forma se abarca la especificación técnica de la prueba de hermeticidad que corresponde a la duración de la prueba de hermeticidad. Estas pantallas se vinculan con los botones "TEMPERATURA" y "PRESIÓN" de la pantalla "TENDENCIAS" y al presionarlas se visualizarán las pantallas que muestren la tendencia gráfica de la variable temperatura y presión respectivamente. El desarrollo de las tendencias de la variable temperatura se visualiza en la Figura 3.18 y el desarrollo de las tendencias de la variable presión se visualiza en la Figura 3.19.

Figura 3.18

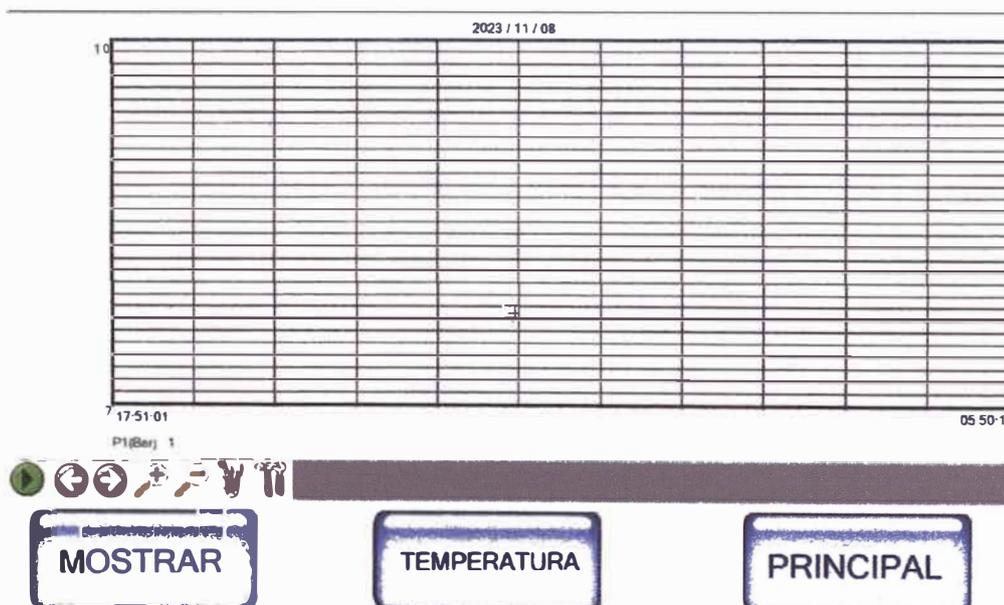
Pantalla de tendencias de la variable temperatura.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 3.19

Pantalla de tendencias respecto al tiempo de la variable presión..

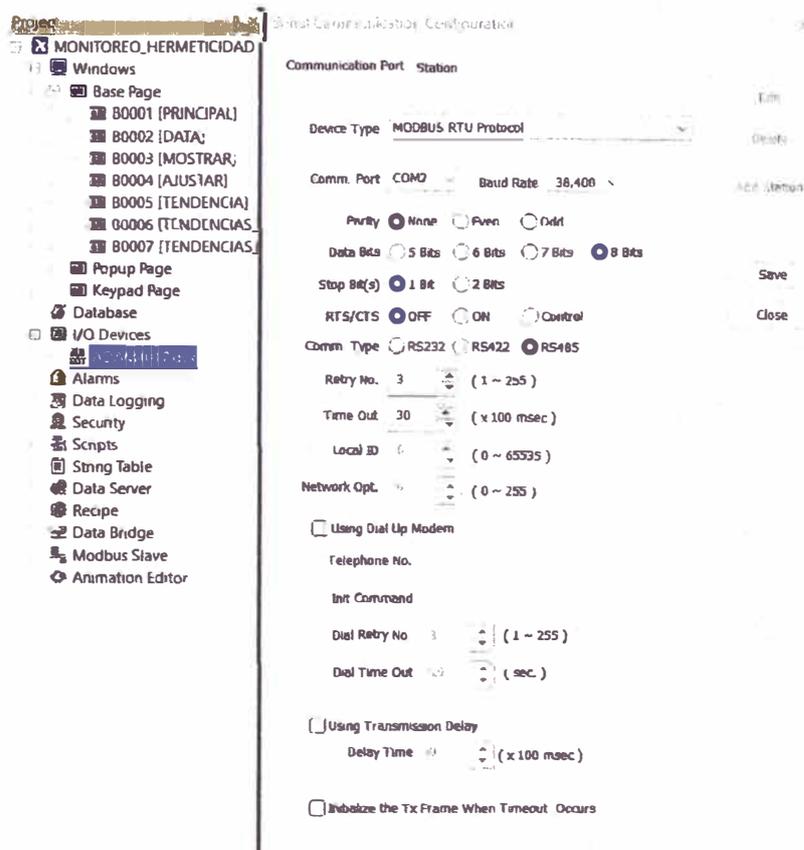


Fuente: Elaboración propia.

El HMI establecerá comunicación con el módulo de entradas analógicas ADAM 4017 + para mostrar las variables físicas medidas y digitalizarlas con la finalidad que el usuario tenga la capacidad de monitorear las variables presión y temperatura en una prueba de hermeticidad utilizando el protocolo de comunicación MODBUS RTU para lo cual es necesario configurar dicho protocolo en el HMI como se visualiza en la Figura 3.20. Las señales analógicas de temperatura y presión en corriente con rango de 4 a 20 mA serán conectadas al canal 1 y canal 2 respectivamente entonces después de establecer la comunicación MODBUS RTU se procede a declarar las variable en la base de datos del HMI utilizando sus direcciones modbus siendo estas 40001 y 40002 respectivamente. La variable temperatura será representada por T1 y la variable presión será representado por P1 como se visualiza en la figura 3.21.

Figura 3.20

Configuración protocolo MODBUS RTU en HMI Cimon.



Fuente Elaboración propia.

Figura 3.21

Declaración de variables temperatura y presión utilizando direcciones modbus en el HMI.

Name	Type	I/O Device	I/O Address	Initial V.	Additional ...	Description
TEMPERATURA	Group Tag					
PROYECTO	String Tag					
TEMPORAL	Analog Tag			0		
CONTADOR	Analog Tag			0		
TIEMPO	Analog Tag			5		
TIEMPO GUAR.	Analog Tag			0		
VISIBLE OK	Digital Tag			0		
ANIMATION	Digital Tag			0		
VISIBLE	Digital Tag			0		
CLAVE	Analog Tag			0		
DATA USB	Digital Tag			0		
GUARDAR	Digital Tag			0		
T1	Analog Tag	PLC ADAM4017	40001	0		
PRESION	Group Tag					
P1	Analog Tag	PLC ADAM4017	40002	0		
GRABACION	Analog Tag			0		
INICIO GUAR.	Digital Tag			0		
CALIBRAR	Group Tag					
VARIABLES	Group Tag					
VARIABLES	Group Tag					
T11	Analog Tag			10.1		
P11	Analog Tag			-0		

Fuente: Elaboración propia.

El módulo de entradas analógicas ADAM 4017+ tiene una resolución de 16 bits con lo cual las señales analógicas medidas por el dispositivo independientemente si estas son señal analógica en corriente o voltaje tiene $2^{16} = 65536$ niveles de representar la señal medida. Los transmisores de temperatura y de presión su señal analógica es de 4 a 20 mA que en el rango digitalizado del módulo ADAM 4017+ está representado de 0 a 65535 , sin embargo, el usuario visualizará las variables físicas con sus unidades respectivas para lo cual se utilizará la siguiente ecuación (3-1):

$$Y = \frac{(x - X_{min}) * (Y_{max} - Y_{min})}{(X_{max} - X_{min})} + Y_{min} \quad (3-1)$$

Donde:

Y: Valor escalado

x: Valor actual en el rango de entrada

X_{min} : Límite inferior de rango de entrada

X_{max} : Límite superior de rango de entrada

Y_{min} : Límite inferior de rango de salida

Y_{max} : Límite superior de rango de salida

Las variables medidas por el módulo de entradas analógicas ADAM 4017+ cuando se digitalizan están en el rango de 0 a 65535 siendo estos los límites del rango de entrada , la variable de presión utilizado en el presente trabajo es de un rango de 0 a 16 bar y la variable de temperatura es de un rango de 0 a 100 °C con lo cual reemplazando en la ecuación (3-1) se obtiene que las variables escaladas de presión y temperatura son las que se visualizan en las ecuaciones (3-2) y (3-3) respectivamente.

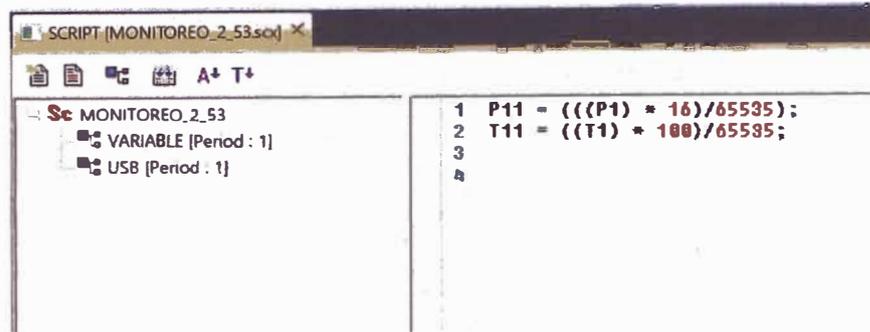
$$P = \frac{(P1) * (16)}{(65535)} \quad (3-2)$$

$$T = \frac{(T1) * (100)}{(65535)} \quad (3-3)$$

Habiendo despejado las ecuaciones con las cuales se calcula los valores escalados de presión y temperatura declaramos estas ecuaciones en el HMI para lo cual el valor escalado de presión será representado como P11 y el valor escalado de temperatura será representado como T11 como se puede visualizar en la figura 3.22.

Figura 3.22

Escalamiento de variables medidas presión y temperatura en el HMI Cimon.



Fuente: Elaboración propia

Para finalizar con el apartado del desarrollo de pantallas en el HMI es necesario desarrollar un código "script" que permita interactuar mediante graficas "luminarias" al usuario y él tenga conocimiento que su data fue guardada con éxito, esto se visualiza en la Figura 3.23. Asimismo, es importante establecer el periodo de muestreo o de toma de muestras que será guardado en el USB en formato .csv (según la especificación técnica de la prueba de hermeticidad este tiempo debe ser de 1 minuto), esta configuración se visualiza en la Figura 3.24.

Figura 3.23

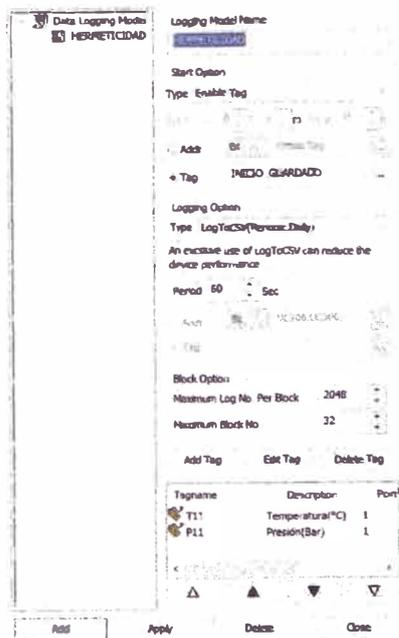
Código "script" para habilitar guardado de data.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.24

Configuración periodo de muestreo de 1 min para generación de datos en archivos csv.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.6 Especificación técnica de controlador LoRaWAN

Según los requerimientos de la prueba de hermeticidad para tuberías del tipo B y del tipo C (clasificación realizada por el órgano regulador OSINERGMIN en referencia a la longitud total de la tubería de polietileno (PE)) el tiempo mínimo de duración son de 24 horas y 36 horas respectivamente. La prueba de hermeticidad debe ser supervisado por un operario durante todo el tiempo que dure la prueba (se adiciona el tiempo de presurización y estabilización del fluido de prueba), considerando esta cantidad de tiempo muy extensa para que un operario supervise y anote los valores indicados por los sensores analógicos cada 15 minutos existiendo la posibilidad de no anotar alguno de estos valores por diferentes factores (cansancio, distracción, etc.). Además, es importante mencionar que, si el operario olvida realizar el proceso de finalización de guardado de data desde el HMI del primer subsistema en el USB y luego apaga el HMI, estos datos se pierden sin posibilidad de recuperarlos.

Considerando lo descrito en el párrafo anterior se planteó utilizar un segundo subsistema que recolecte datos en paralelo que el primer subsistema de forma autónoma sin la necesidad que alguien inicie o finalice el guardado de los datos. Estos datos solo deberían servir como respaldo o backup de los datos de las variables presión y temperatura de la prueba de hermeticidad debido a que el primer subsistema satisface los requerimientos mínimos y necesarios de una prueba de hermeticidad.

En referencia a las condiciones del entorno donde se realizará las pruebas de hermeticidad se opta por escoger una solución de monitoreo en áreas industriales. El segundo subsistema está compuesto por un controlador UC300 LoRaWAN (nodo LoRaWAN) que se visualiza en la figura 3.25 que almacena los datos de presión y temperatura con un periodo de muestreo que se configura según corresponda y un Gateway LoRaWAN que envía estos datos almacenados hacia una plataforma Cloud cuyo nombre es Milesight IOT Cloud.

Figura 3.25

Controlador LoRaWAN UC300.



Fuente. Elaboración propia.

El dispositivo UC300 es un controlador diseñado para funcionar en ambientes industriales, especialmente en el monitoreo remoto de procesos o actividades mediante la tecnología LoRaWAN. Las características técnicas proporcionadas por el fabricante se visualizan en la tabla 3.8.

Tabla 3.8

Características técnicas del controlador UC300

Modelo	A	
Tecnología	LoRaWAN	
Interfaz	Digital Input	4
	Digital Outputs	2
	Puertos Seriales	1xRS232 + 1xRS2485
	Entrada Analógica	2×4~20mA+2×0~10V
	Entrada Analógica (RTD)	2×PT100RTD (2/3 hilos)
Fuente de alimentación	5-24VDC	
Temperatura de operación	-30°C - 60°C	
Humedad relativa	0% -95% (sin condensación)	
Grado de Protección	IP30	
Dimensiones	93×70×22mm	

Nota: Elaboración propia.

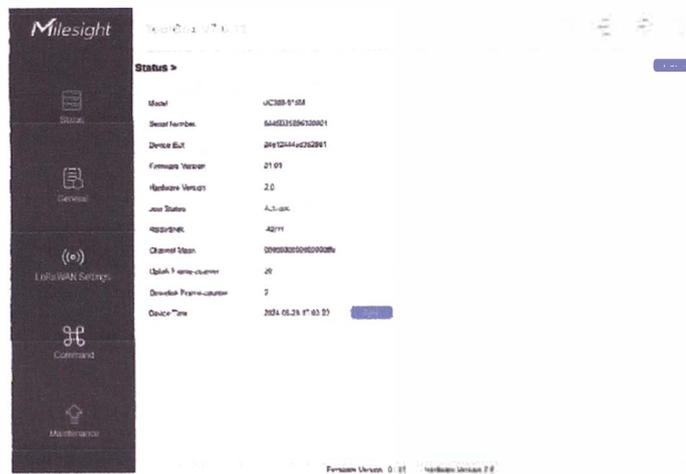
CONFIGURACIÓN DE CONTROLADOR UC300

En este apartado se detallará la configuración del controlador IOT UC300 para que realice mediciones y guardado de los datos cada 60 segundos utilizando la herramienta ToolBox V7.0.12. Es importante indicar que el controlador UC300 tiene la capacidad de almacenar los datos en modo local (en este trabajo de suficiencia no se utilizara dicha funcionalidad debido a que el primer subsistema realiza lo mismo) como respaldo.

Inicialmente conectamos el dispositivo con un cable tipo C con el utilitario ToolBox V7.0.12 como se visualiza en la Figura 3.26.

Figura 3.26

Interfaz de configuración de Controlador UC300.

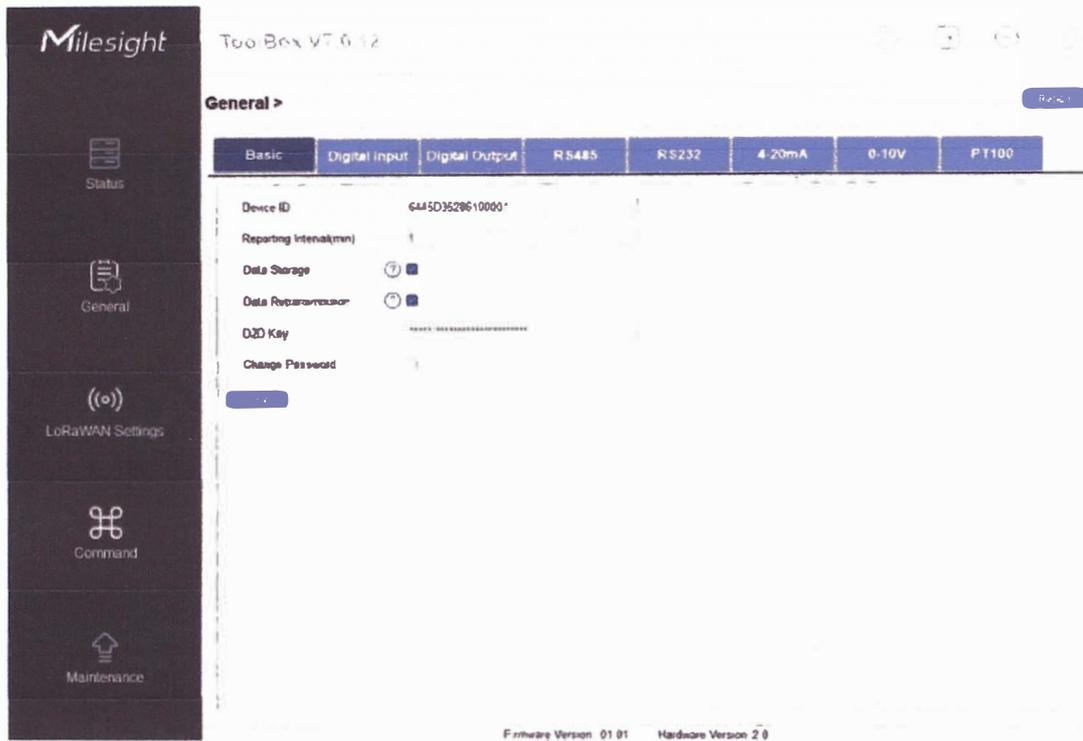


Fuente: Elaboración propia.

Para registrar el dispositivo en la plataforma Cloud es necesario conocer el ID del dispositivo, el periodo de muestro o intervalo de grabación de los datos será de 1 min, esta configuración se visualiza en la figura 3.27.

Figura 3.27

Configuración básica de Controlador UC300 con tiempo de guardado de datos de 1 minuto.

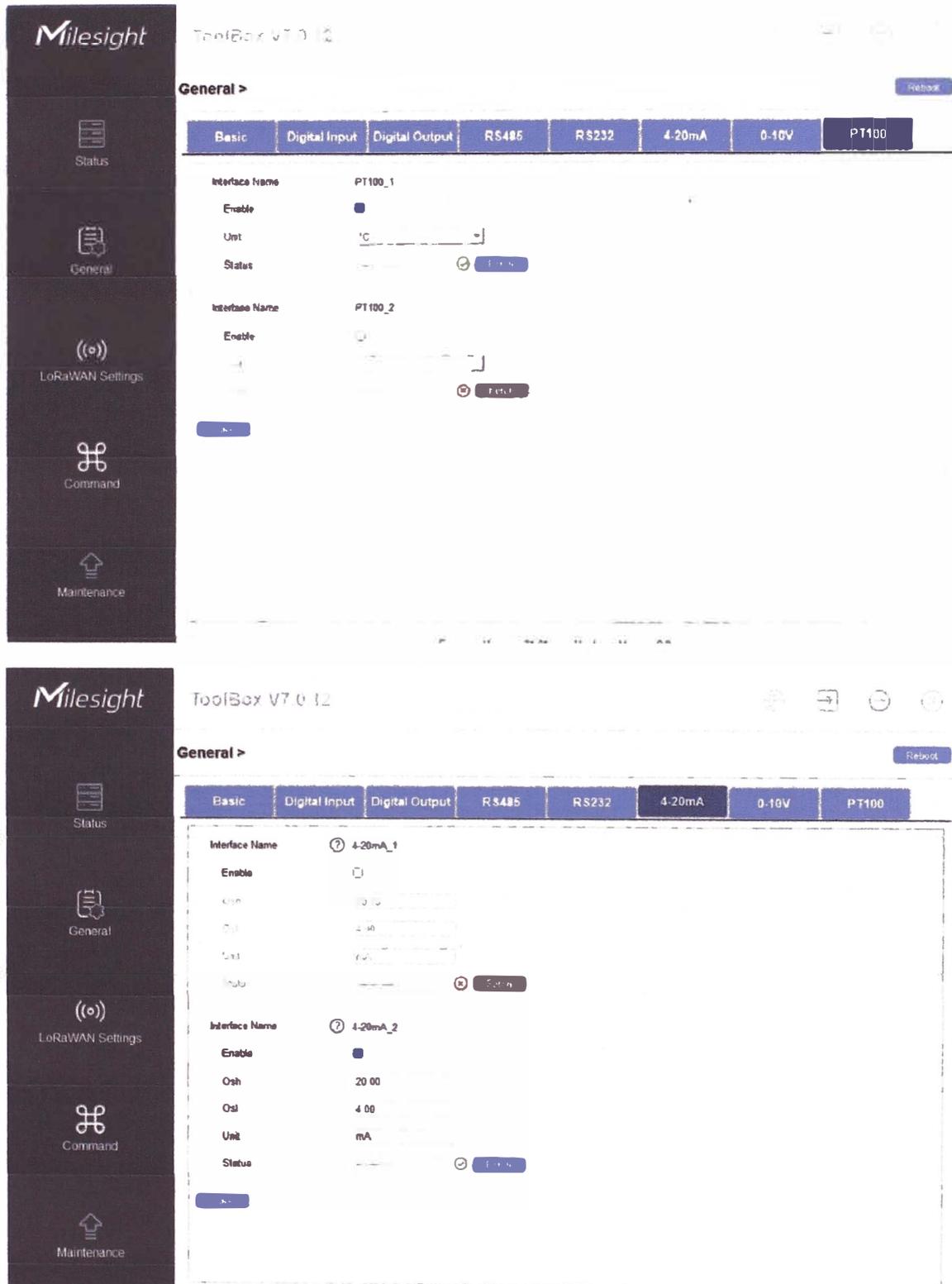


Fuente: Elaboración propia.

Además, se configura una entrada para un sensor Pt100 (para obtener las mediciones de la variable temperatura) y una entrada 4-20 mA (para obtener las mediciones de la variable presión). La configuración antes descrita se visualiza en la Figura 3.28.

Figura 3.28

Configuración de entrada tipo Pt100 y entrada 4 a 20 mA en Controlador UC300.



Fuente: Elaboración propia.

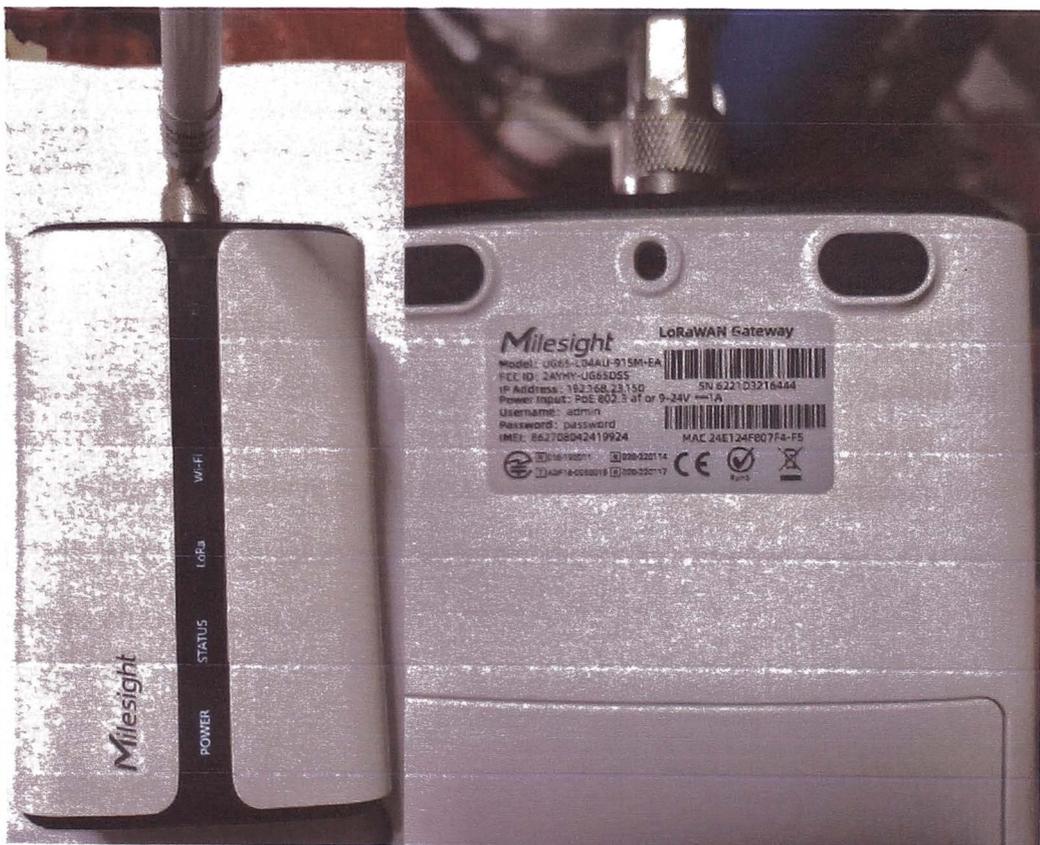
3.3.7 Especificación técnica Gateway LoRaWAN UG65

Para Comunicar el nodo LoRaWAN (en este trabajo de suficiencia el controlador IOT UC300) y el servidor de red es necesario utilizar un Gateway LoRaWAN. La plataforma Web utilizada es Milesight IOT cloud para lo cual el Gateway que se enlaza directamente con una fácil configuración es el Gateway UG65.

El Gateway UG65 que se visualiza en la Figura 3.29 es un dispositivo robusto diseñado para aplicaciones industriales. El Gateway UG65 ofrece una capacidad de comunicación de largo alcance con los dispositivos finales (nodos LoRaWAN), permitiendo una conectividad sin problemas de hasta 2000 metros en áreas urbanas y 15000 metros en áreas despejadas.

Figura 3.29

Gateway IOT LoRaWAN UG65.



Fuente: Elaboración propia.

Las características técnicas proporcionadas por el fabricante se visualizan en la tabla 3.9

Tabla 3.9

Características técnicas del Gateway UG65

Modelo	UG65
Tecnología	LoRaWAN
CPU	Quad-core 1.5 GHz, 64-bit ARM Cortex-A53
Memoria	512 MB DDR4 RAM
Memoria Flash	8 GB eMMC
Antenas	2 antenas internas
Canal	8 (semidúplex/dúplex completo)
Bandas de Frecuencia	CN470/IN865/EU868/RU864/US915/AU915
Sensibilidad	-140dBm Sensibilidad a 292bps
Potencia de Salida	27dBm Max
Protocolo	V1.0 Clase A/Clase B/Clase C y V1.0.2 Clase A/Clase B/Clase C
Puerto	1 × RJ45 (compatible con PoE PD)
Fuente de alimentación	9-24VDC
Temperatura de operación	-40°C a 70°C
Humedad relativa	0% a 95% (sin condensación)
Grado de Protección	IP65
Dimensiones	180×110×56.5mm

Nota Elaboración propia.

CONFIGURACIÓN DE GATEWAY UG65 Y PLATAFORMA MILESIGHT IOT CLOUD

En este apartado se detallará la configuración del Gateway UG65 para enviar los datos almacenados en el controlador IOT UC300 hacia la plataforma Milesight IOT cloud.

Inicialmente nos conectamos al Gateway UG65 con una computadora utilizando un cable RJ45, en la configuración interna de la computadora asignamos una IP estática como se visualiza en la Figura 3.30.

Figura 3.30

Configuración IP estática de PC para configurar Gateway UG65.

Propiedades: Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4) X

General

Puede hacer que la configuración IP se asigne automáticamente si la red es compatible con esta funcionalidad. De lo contrario, deberá consultar con el administrador de red cuál es la configuración IP apropiada.

Obtener una dirección IP automáticamente

Usar la siguiente dirección IP:

Dirección IP: 192 . 168 . 23 . 200

Máscara de subred: 255 . 255 . 255 . 0

Puerta de enlace predeterminada: 192 . 168 . 23 . 150

Obtener la dirección del servidor DNS automáticamente

Usar las siguientes direcciones de servidor DNS:

Servidor DNS preferido: 8 . 8 . 8 . 8

Servidor DNS alternativo:

Validar configuración al salir

Opciones avanzadas...

Aceptar Cancelar

Fuente: Elaboración propia.

En un navegador web escribimos la dirección IP previamente configurado como puerta de enlace 192.168.23.150 para acceder a la GUI web (interfaz gráfica basado en web) e ingresamos el usuario "admin" y la clave "password" como se visualiza en la figura 3.31.

Figura 3.31

Interfaz GUI web de configuración de Gateway UG65.



Fuente: Elaboración propia.

En la interfaz GUI web configuramos la red WIFI o celular que utilizaremos para que el Gateway suministre datos a la plataforma IOT . En este trabajo de investigación el subsistema 2 se desarrollará en laboratorio es por lo que utilizaremos una red WIFI la cual fue configurada como se muestra en la figura 3.32.

Figura 3.32

Configuración de red WIFI a la que se conectará el Gateway UG65..

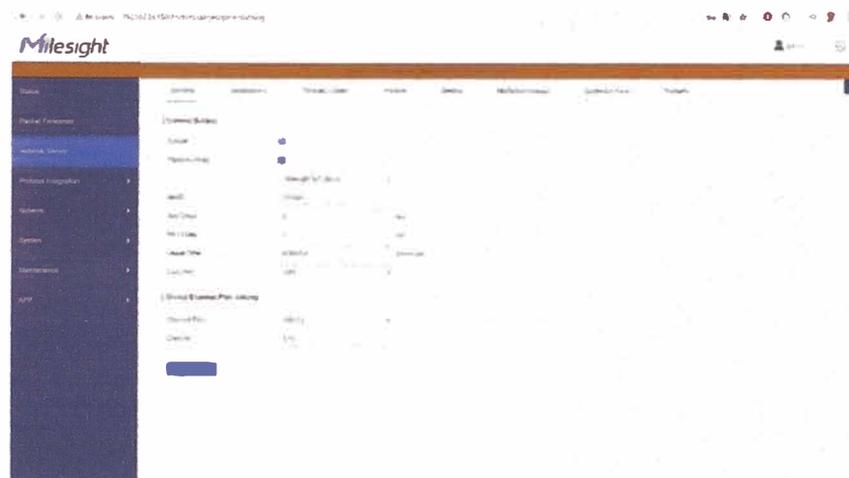


Fuente: Elaboración propia.

Luego se habilita en la sección de network server la conexión del Gateway UG65 con la plataforma IOT Milesight Cloud , se identifica el netID que es un parámetro característico de cada Gateway si en caso a la misma cuenta de Milesight Cloud se conectan más de un Gateway, para este trabajo se realiza la configuración que se visualiza en la figura 3.33.

Figura 3.33

Habilitación de conexión entre Gateway UG65 y plataforma IOT Milesight Cloud.

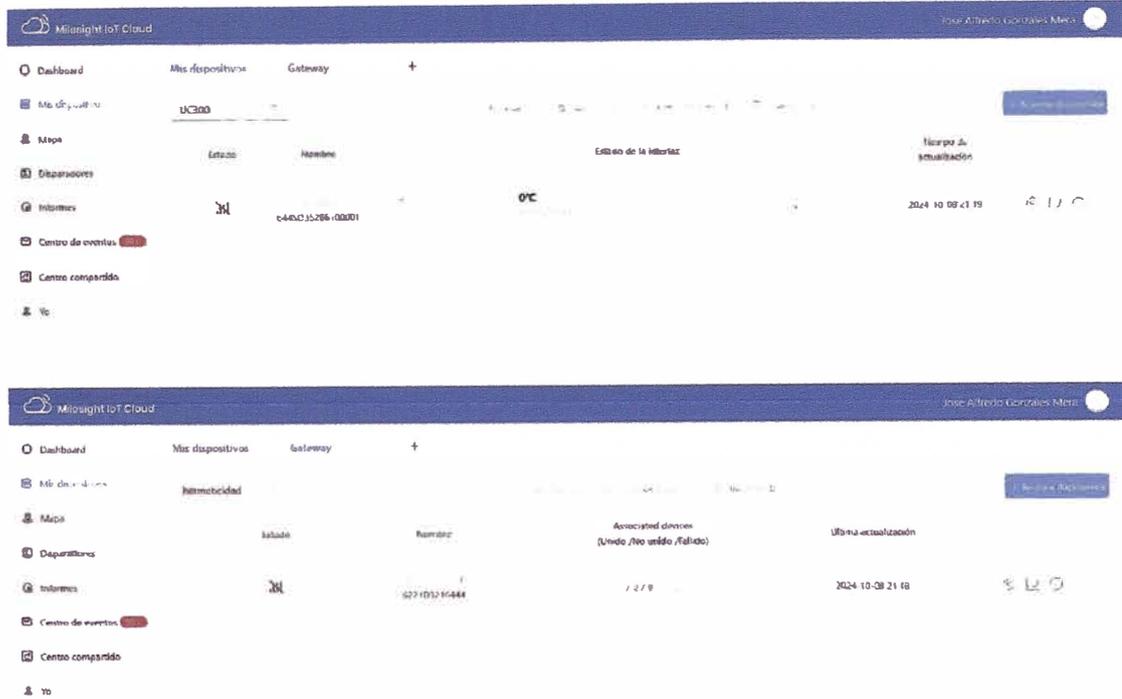


Fuente: Elaboración propia.

Realizada la configuración del controlador UC300 y el Gateway UG65 se registran estos dispositivos en la plataforma IOT Milesight Cloud en donde se ira almacenando los datos medidos por el segundo subsistema como se visualiza en la figura 3.34.

Figura 3.34

Registro de dispositivos de Gateway UG65 y controlador UC300 en la plataforma IOT Milesight Cloud.

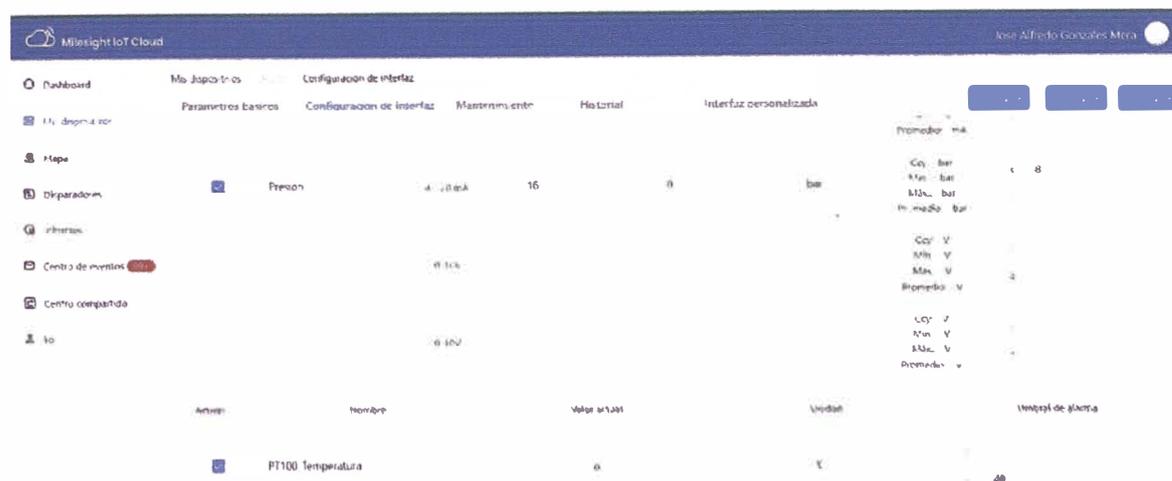


Fuente: Elaboración propia..

Los valores medidos por el controlador UC300 se visualizarán con las unidades que cada uno de los canales están configurados que para este trabajo es en °C para la temperatura y en mA para la presión debido a que el transmisor de presión tiene como salida una señal analógica con un rango de 4 a 20 mA. Para visualizar la variable presión en bar realizamos la configuración de escalamiento en la plataforma Milesight Cloud como se visualiza en la figura 3.35.

Figura 3.35

Escalamiento de variable presión de segundo subsistema en plataforma IOT Milesight Cloud.

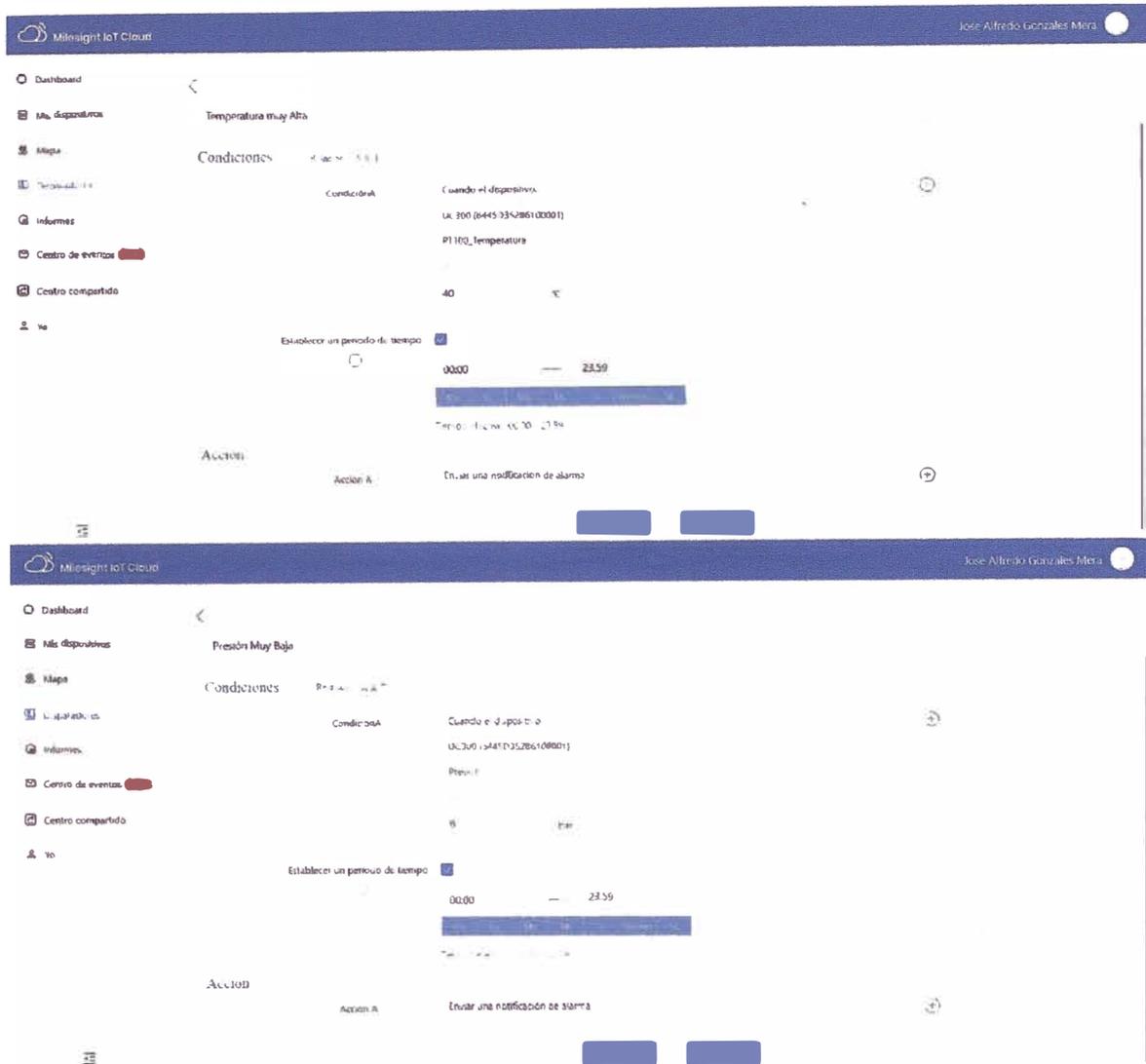


Fuente: Elaboración propia.

En la plataforma IOT Milesight Cloud se realiza la configuración de los disparadores para el envío de alarmas vía correo cuando la temperatura sea mayor a 40°C o la presión sea menor a 8 bar debido a que la presión de prueba MAPO regularmente es de 8 a 8.5 bar. Esta configuración se visualiza en la figura 3.36.

Figura 3.36

Configuración de umbral de alarmas de presión y temperatura en plataforma Milesight IOT Cloud



Fuente: Elaboración propia

3.3.8 Conexiones eléctricas del tablero de adquisición de datos

Debido a las condiciones características del ambiente donde se realizan las pruebas de hermeticidad se considera un tablero eléctrico de poliéster hermético que permita operar en las condiciones agresivas y proteger los componentes electrónicos que componen el primer subsistema de adquisición de datos.

Las especificaciones del tablero seleccionado para el primer subsistema de adquisición de datos son descritas en la tabla 3.10. El tablero eléctrico tendrá la capacidad de alojar en su interior los componentes eléctricos seleccionados, las dimensiones del tablero eléctrico serán 400x300x200 mm. En la figura 3.37 se visualiza en dimensión 3D el tablero eléctrico seleccionado.

Tabla 3.10

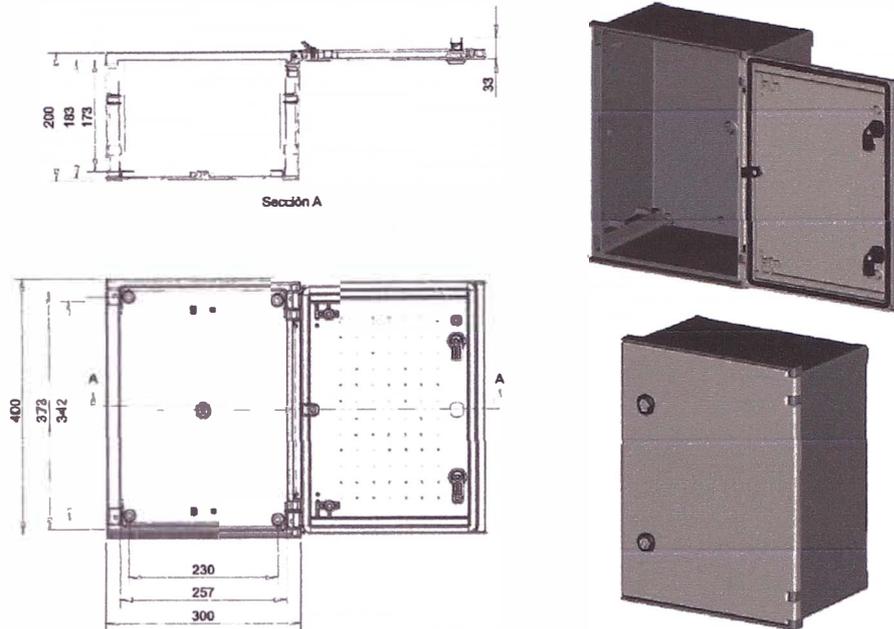
Características técnicas del tablero de poliéster BRES-43

Modelo	BRES-43	
Medidas	400x300x200 mm	
Material de construcción	Poliéster reforzado con fibra de vidrio	
Color	Gris claro RAL7035	
Grado de protección	IP66	
Apertura de puerta	180°	
Resistencia a la compresión		
Instalación y sistema de montaje	Instalación exterior	Si
	En superficie	Si
	Sobre suelo	Si
Temperatura de operación	-30°C - 120°C	
Vida útil	25 años bajo condiciones ambientales estándar	
Peso	3,6 kilogramos	
Normativas	EN 62262, UNE-EN 60695-2-10, UNE 21305, UNE 20324, EN 50102, EN 62208	

Nota: Elaboración propia.

Figura 3.37

Ficha técnica armario industrial SAFYBOX modelo BRES-43

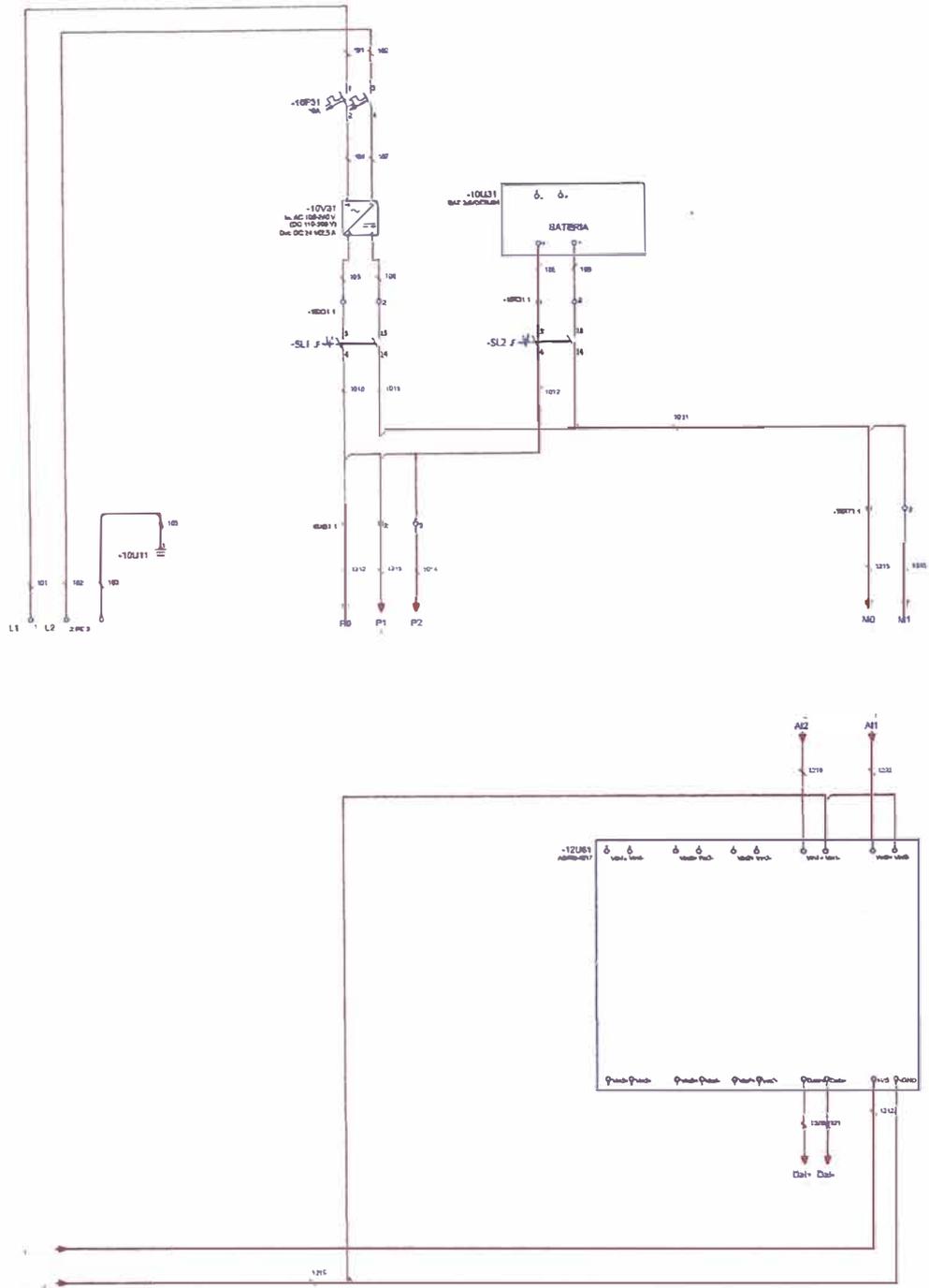


Fuente: Elaboración propia.

Seleccionado los componentes y los dispositivos necesarios para el primer subsistema se elaboró el plano de las conexiones eléctricas que se visualizan en las Figuras 3.38 y 3.39. En el diagrama del conexionado eléctrico se adiciona una batería que representa la conexión en serie de dos baterías de automóvil de 11 placas de 60Ah debido a que las pruebas de hermeticidad se realizan en las calles no es fácil obtener conexión domiciliaria de 220VAC.

Figura 3.38

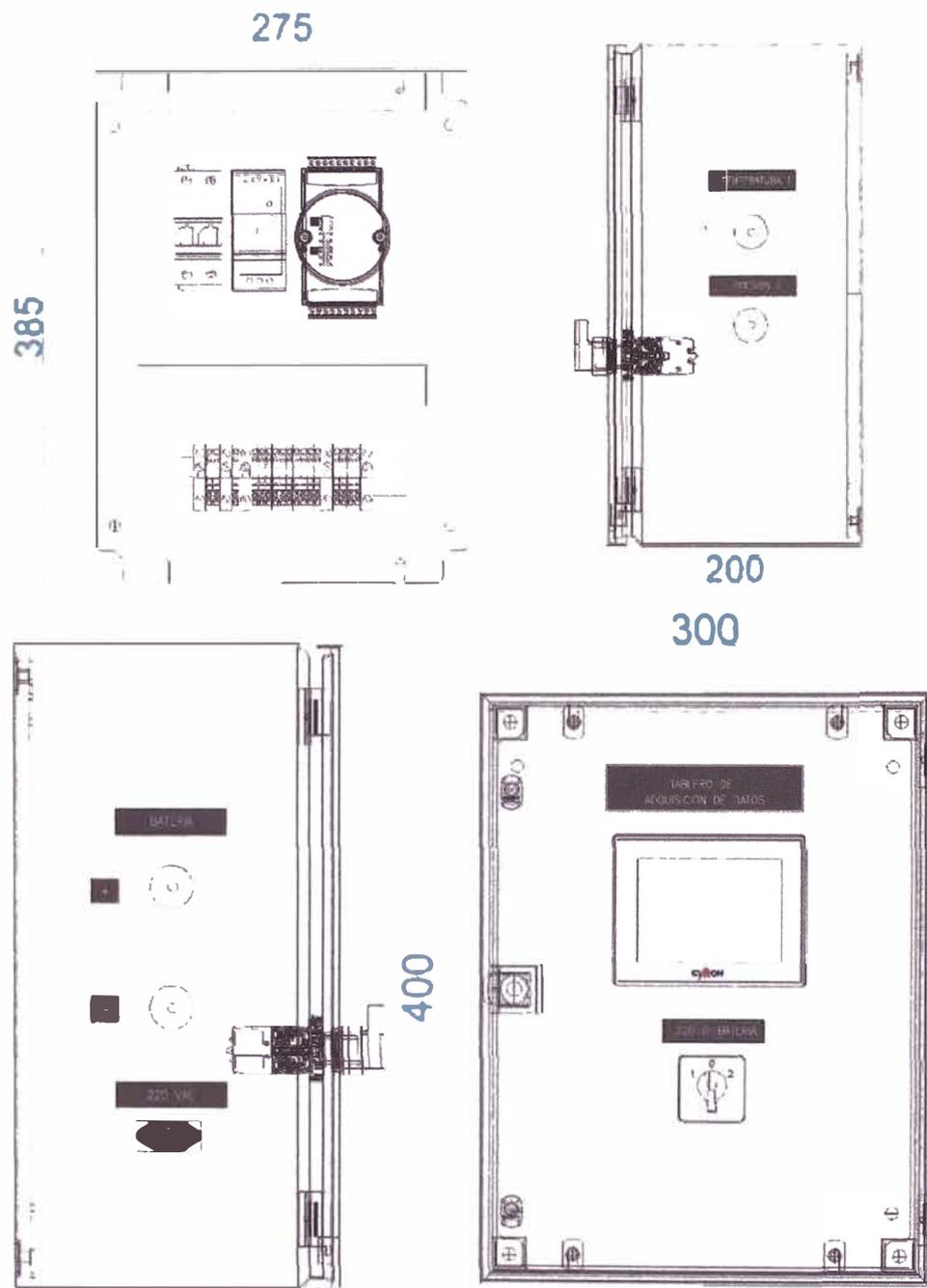
Diagrama de conexionado eléctrico de primer subsistema (parte 1)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.40

Distribución de equipos de primer subsistema en tablero eléctrico

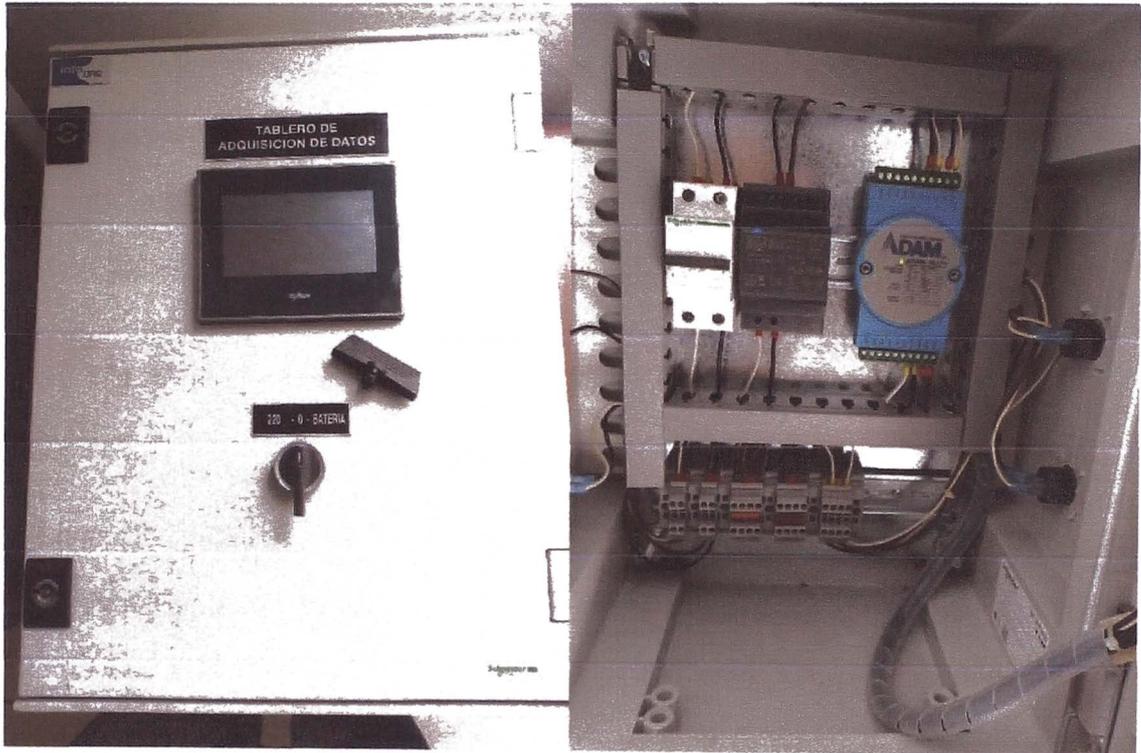


Fuente: Elaboración propia

Finalmente , se realiza la implementación del tablero eléctrico utilizando los planos eléctricos previamente realizados, el tablero y sus conexiones eléctricas se muestra en la figura 3.41

Figura 3.41

Tablero eléctrico y conexiones eléctricas



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

En el presente capítulo se analiza el comportamiento resultante del sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno en redes de distribución de gas natural, y los valores resultantes de los indicadores de la variable independiente.

Posteriormente, se evalúa el indicador de la variable dependiente, el cual corresponde a la presión (en bar) y temperatura (en °C), y en base a las características de la data recopilada de la implementación del sistema de adquisición de datos se tiene la finalidad de evaluar la hipótesis planteada.

4.1 Análisis de resultados del sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos de pruebas de hermeticidad en redes de distribución de gas natural de baja presión se diseñó con la finalidad de reunir muestras de las variables involucradas en una prueba de hermeticidad que son la presión y la temperatura con un tiempo de muestreo de 60 segundos debido a que por normativa y habiéndose seleccionado el tipo de tubería (A, B o C) previo al inicio de la prueba de hermeticidad la recolección de muestras debe ser de forma ininterrumpida.

El sistema de adquisición de datos propuesto al estar compuesto por dos subsistemas, primero se realizaron pruebas con el subsistema 1 para los 3 tipos de tuberías según su clasificación, posteriormente se realizó pruebas con el subsistema 2 para poder realizar comparaciones y determinar si ambos subsistemas satisfacen la necesidad o problemática inicial.

4.1.1 Pruebas de hermeticidad con subsistema 1

El subsistema 1 de adquisición de datos al comenzar su funcionamiento durante toda la prueba de hermeticidad realiza el registro histórico mediante graficas de tendencias como se visualiza en la figura 4.1 que permite analizar el comportamiento de la presión y el comportamiento de la temperatura.

Figura 4.1

Registro de tendencia de variables presión y temperatura en pruebas de hermeticidad.



Fuente. Elaboración propia.

Una vez finalizada el registro de datos con el subsistema1 de adquisición de datos se procede a retirar el USB para analizar estos datos almacenados y se coloca el USB en un computador, lo primero que se visualiza es un archivo con nombre "Fecha hh:mm:ss" que indica el día que se comenzó a realizar la prueba de hermeticidad y la hora en formato de hora , minuto y segundos en la que se inició la recolección de datos de la prueba de hermeticidad tal como se visualiza en la Figura 4.2.

Figura 4.2

Archivo con data almacenada de la prueba de hermeticidad realizada con el primer subsistema de adquisición de datos



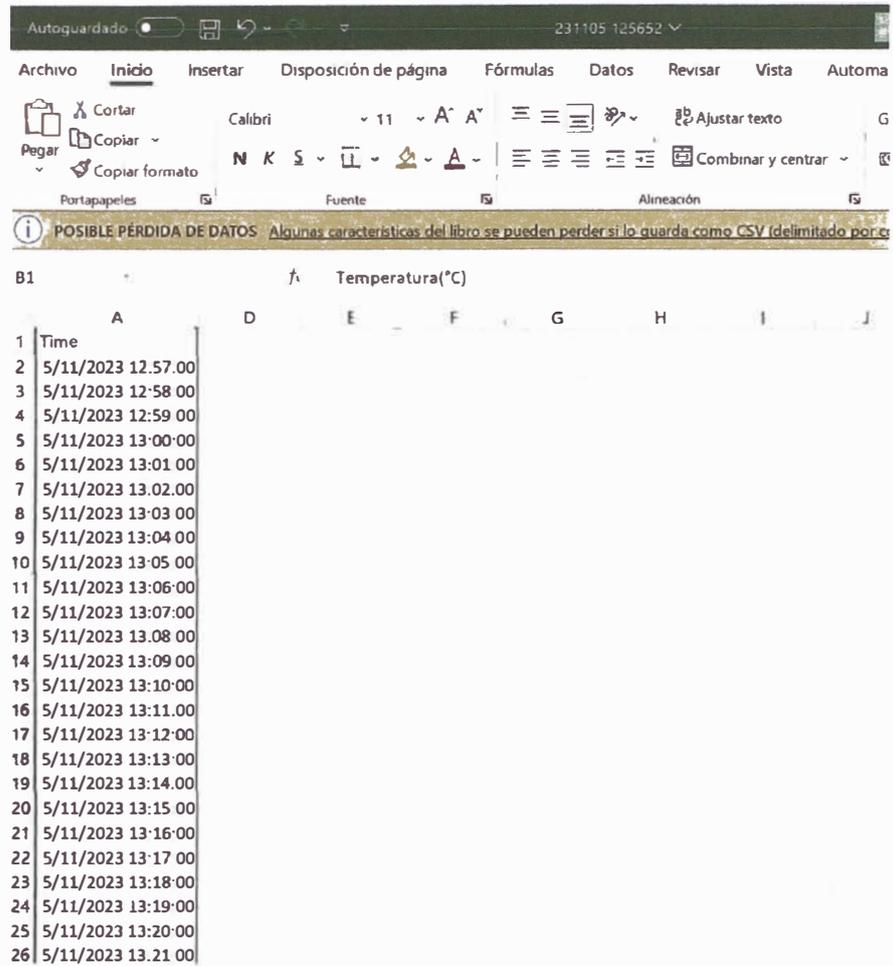
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
240113 D44428.CSV	06/07/2024 07:58 a.m.	Archivo de valores...	8 KB

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se verifica que el subsistema1 de adquisición de datos tiene la capacidad de guardar data en archivos con formato .csv que facilitara al usuario poder visualizarlos con Excel, se procede a abrir el archivo para verificar que la toma de muestras sea cada 60 segundos que en el planteamiento de la operacionalización de variables es la variable independiente tal como se visualiza en la Figura 4.3.

Figura 4.3

Verificación de toma de muestras cada minuto (60 segundos) con el primer subsistema de adquisición de datos.

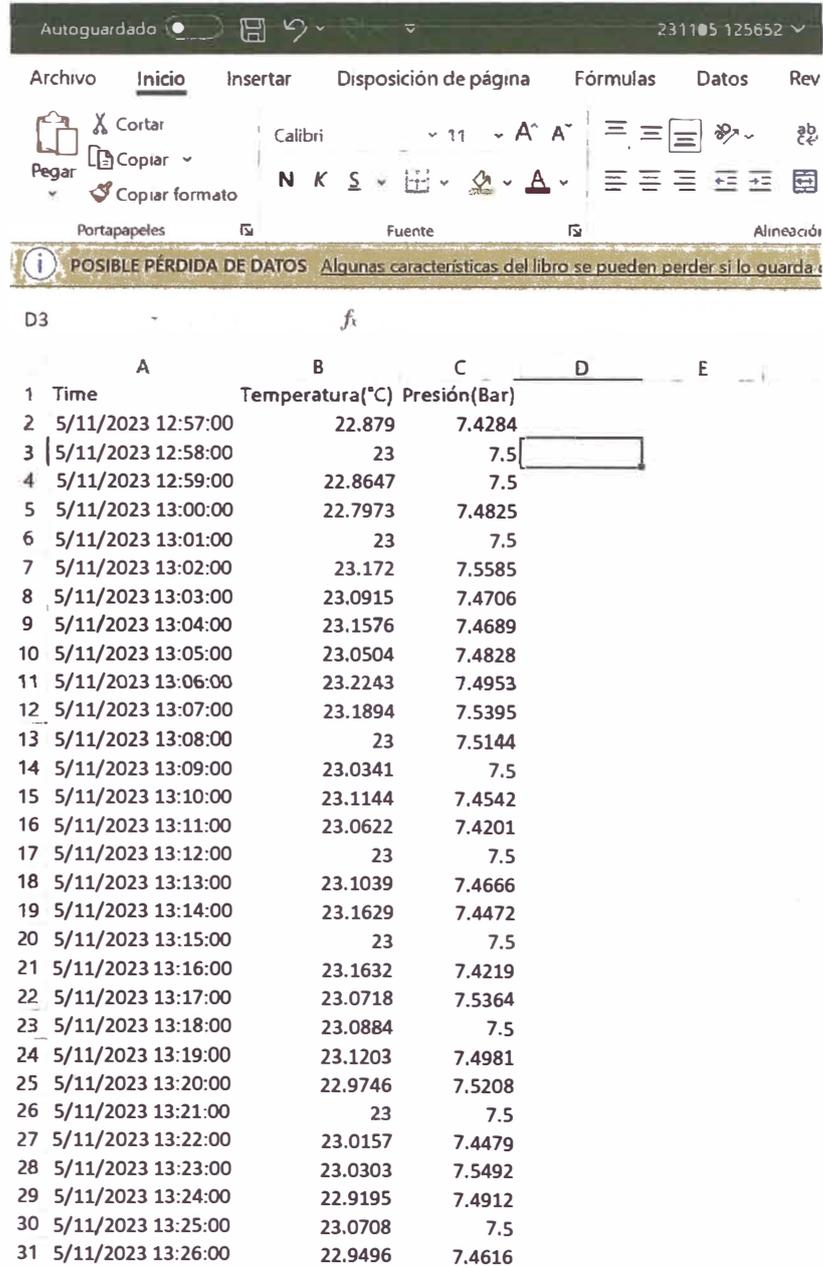


Fuente. Elaboración propia.

Posteriormente se procede a verificar la variable de presión y temperatura que son las variables dependientes y cuyas muestras deben estar almacenadas de forma ininterrumpida, los valores de presión y temperatura deben visualizarse dentro de los rangos permitidos de acuerdo con el tipo de tubería en la que se realizó la prueba como se visualiza en la Figura 4.4.

Figura 4.4

Datos almacenados de las variables presión y temperatura en formato csv por el primer subsistema de adquisición de datos.



Autoguardado 231105 125652

Archivo Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Rev

Cortar Copiar Copiar formato

Calibri 11 A⁺ A⁻

POSIBLE PÉRDIDA DE DATOS Algunas características del libro se pueden perder si lo guarda

D3

	A	B	C	D	E
1	Time	Temperatura(°C)	Presión(Bar)		
2	5/11/2023 12:57:00	22.879	7.4284		
3	5/11/2023 12:58:00	23	7.5		
4	5/11/2023 12:59:00	22.8647	7.5		
5	5/11/2023 13:00:00	22.7973	7.4825		
6	5/11/2023 13:01:00	23	7.5		
7	5/11/2023 13:02:00	23.172	7.5585		
8	5/11/2023 13:03:00	23.0915	7.4706		
9	5/11/2023 13:04:00	23.1576	7.4689		
10	5/11/2023 13:05:00	23.0504	7.4828		
11	5/11/2023 13:06:00	23.2243	7.4953		
12	5/11/2023 13:07:00	23.1894	7.5395		
13	5/11/2023 13:08:00	23	7.5144		
14	5/11/2023 13:09:00	23.0341	7.5		
15	5/11/2023 13:10:00	23.1144	7.4542		
16	5/11/2023 13:11:00	23.0622	7.4201		
17	5/11/2023 13:12:00	23	7.5		
18	5/11/2023 13:13:00	23.1039	7.4666		
19	5/11/2023 13:14:00	23.1629	7.4472		
20	5/11/2023 13:15:00	23	7.5		
21	5/11/2023 13:16:00	23.1632	7.4219		
22	5/11/2023 13:17:00	23.0718	7.5364		
23	5/11/2023 13:18:00	23.0884	7.5		
24	5/11/2023 13:19:00	23.1203	7.4981		
25	5/11/2023 13:20:00	22.9746	7.5208		
26	5/11/2023 13:21:00	23	7.5		
27	5/11/2023 13:22:00	23.0157	7.4479		
28	5/11/2023 13:23:00	23.0303	7.5492		
29	5/11/2023 13:24:00	22.9195	7.4912		
30	5/11/2023 13:25:00	23.0708	7.5		
31	5/11/2023 13:26:00	22.9496	7.4616		

Fuente. Elaboración propia

4.1.2 Pruebas de hermeticidad con subsistema 2

El subsistema 2 de adquisición de datos al comenzar su funcionamiento durante toda la prueba de hermeticidad realiza el registro histórico de los datos y los almacena en la memoria interna del controlador UC300 y a través del Gateway UG65 envía estos datos hacia la plataforma IOT Milesight cloud para su posterior análisis.

4.2 Resultados de pruebas de hermeticidad con subsistema 1

Explicado el procedimiento en la que se obtiene los datos en las pruebas de hermeticidad con el subsistema 1 en coordinación con una empresa subcontratista de Calidda se procedió a realizar pruebas de hermeticidad para los tres tipos de tuberías (se describirá una de cada tipo y se anexara las restantes de cada tipo de tubería según la clasificación de la prueba de hermeticidad) , ocurriendo estas en diferentes fechas debido a la no disponibilidad de los tres tipos de tuberías en fechas cercanas.

Tipo A

El tiempo de prueba de hermeticidad aplicándose previamente un periodo de estabilización (tiempo en la que se presuriza toda la tubería y permite descartar de forma visual si existe algún impedimento para continuar con la prueba de hermeticidad) es de 4 horas como mínimo según lo establece el órgano regulador Osinergmin.

La prueba de hermeticidad para red de tuberías del tipo A se realizó el 13 de enero del año 2024 como se visualiza en la Figura 4.5

Figura 4.5

Archivo CSV. de prueba de hermeticidad para red de tuberías del tipo A.



Fuente: Elaboración propia.

Concluida la prueba de hermeticidad se procedió a validar la cantidad de datos almacenados y el tiempo de muestreo con la que fueron guardados los datos. Se verifica que la prueba de hermeticidad inicio el 13 de enero de 2024 con hora 04:44:28 am, además se valida que se almacenaron 242 datos con un muestreo de 60 segundos siendo la recolección del último dato el 13 de enero de 2024 con hora 8:46:00 am cumpliéndose un tiempo mínimo de 4 horas tal como se visualiza en la Figura 4.6.

Figura 4.6

Valores obtenidos de presión y temperatura en prueba de hermeticidad en redes de tubería del tipo A.

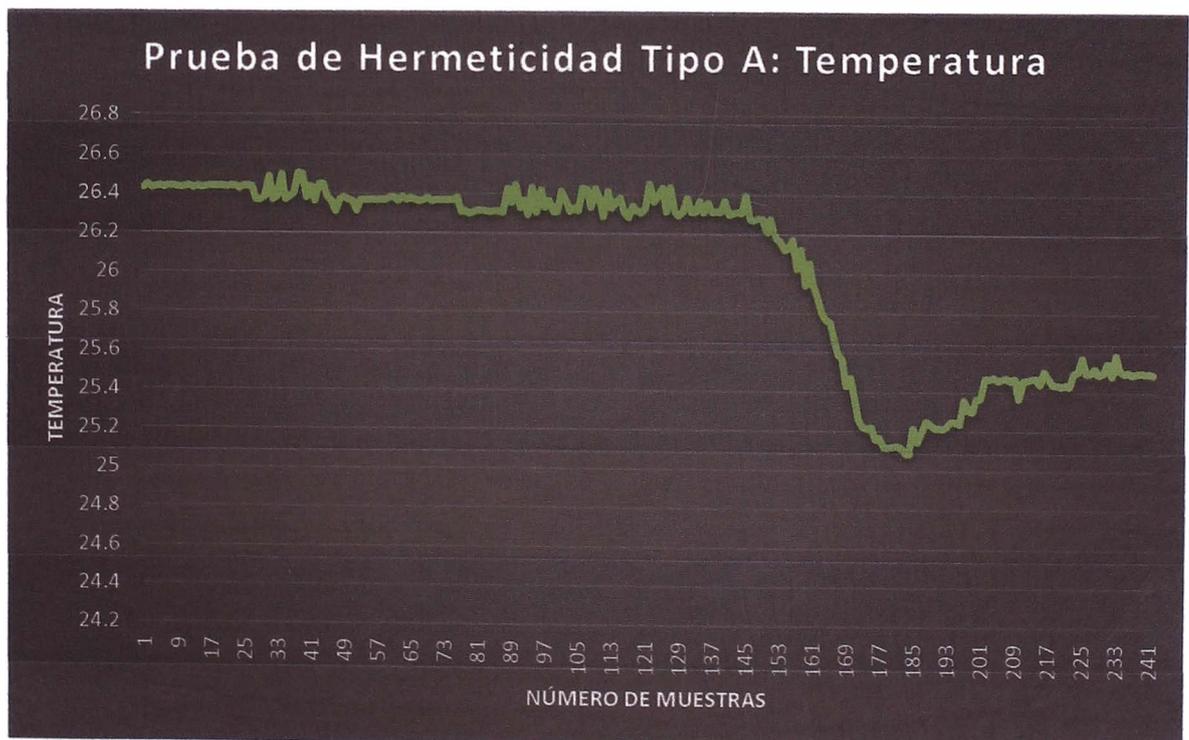
	A	B	C	D
1				
2	Time	TEMPERATURA	PRESION	
3	13/01/2024 04:45:28	26.4286	5.9396	
4	13/01/2024 04:46:28	26.4469	5.9384	
5	13/01/2024 04:47:28	26.4286	5.9388	
6	13/01/2024 04:48:28	26.4363	5.9399	
7	13/01/2024 04:49:28	26.4393	5.9396	
8	13/01/2024 04:50:28	26.4317	5.9388	
9	13/01/2024 04:51:28	26.4393	5.9406	
10	13/01/2024 04:52:28	26.4393	5.9388	
11	13/01/2024 04:53:28	26.4363	5.9396	
12	13/01/2024 04:54:28	26.4317	5.938	
13	13/01/2024 04:55:28	26.4363	5.9384	
14	13/01/2024 04:56:28	26.4393	5.9388	
15	13/01/2024 04:57:28	26.4286	5.9391	
16	13/01/2024 04:58:28	26.4393	5.938	
17	13/01/2024 04:59:28	26.4317	5.9396	
18	13/01/2024 05:00:28	26.4363	5.9391	
19	13/01/2024 05:01:28	26.4393	5.9396	
227	13/01/2024 08:29:28	25.5772	5.9147	
228	13/01/2024 08:30:28	25.4978	5.9144	
229	13/01/2024 08:31:28	25.5009	5.9139	
230	13/01/2024 08:32:28	25.5238	5.9147	
231	13/01/2024 08:33:28	25.4902	5.9155	
232	13/01/2024 08:34:28	25.5009	5.9139	
233	13/01/2024 08:35:28	25.5512	5.9144	
234	13/01/2024 08:36:28	25.4826	5.9144	
235	13/01/2024 08:37:28	25.5894	5.9144	
236	13/01/2024 08:38:28	25.5131	5.9144	
237	13/01/2024 08:39:28	25.4978	5.9147	
238	13/01/2024 08:40:28	25.5055	5.9139	
239	13/01/2024 08:41:28	25.4902	5.9147	
240	13/01/2024 08:42:28	25.4978	5.9147	
241	13/01/2024 08:43:28	25.5009	5.9139	
242	13/01/2024 08:44:28	25.4978	5.9144	
243	13/01/2024 08:45:28	25.4978	5.9152	
244	13/01/2024 08:46:28	25.4902	5.9167	
245				

Fuente: Elaboración propia

Luego se procedió a realizar graficas con las muestras obtenidas de la prueba de hermeticidad para analizar el comportamiento de las variables presión y temperatura y validar que se mantuvieron dentro de los rangos permitidos. En la Figura 4.7 se observa que la temperatura varia con relación a la temperatura ambiente del lugar donde se realizó la prueba de hermeticidad. En la figura 4.7 se observa que la presión varia ligeramente con un comportamiento similar a la temperatura, esto ocurre debido a que en un gas la temperatura y la presión están relacionados. Se realiza el gráfico mostrado en la figura 4.8 para visualizar la presión y la temperatura para replicar las gráficas que realiza el HMI debido a que según formato característico del dispositivo no permite extraer dichas graficas. En la Figura 4.9 se observa que la tendencia de la presión es mantenerse constante y como resultado la prueba de hermeticidad para este tipo de red de tubería fue aprobada satisfactoriamente.

Figura 4.7

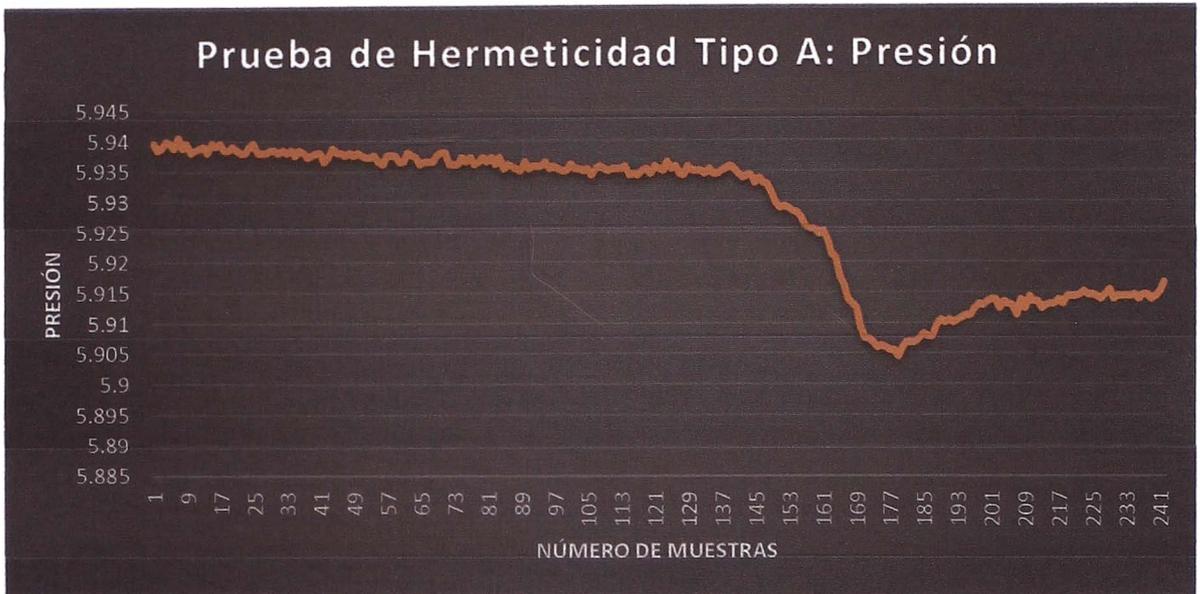
Tendencia de temperatura en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo A.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.8

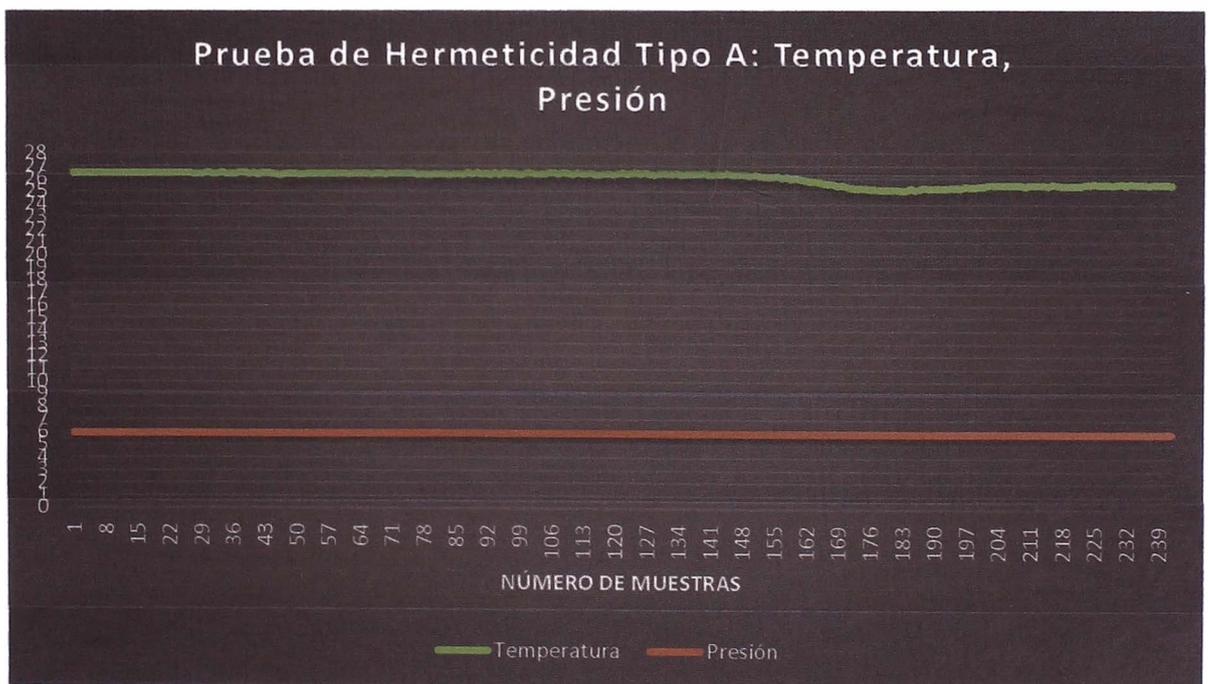
Tendencia de presión en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo A.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.9

Tendencia de las variables presión y temperatura en red de tubería del tipo A.



Fuente: Elaboración propia.

Tipo B

El tiempo de prueba de hermeticidad transcurrido previamente un periodo de estabilización (tiempo en la que se presuriza toda la tubería y permite descartar de forma visual si existe algún impedimento para continuar con la prueba de hermeticidad) es de 24 horas como mínimo según lo establece el órgano regulador Osinergmin.

La prueba de hermeticidad para red de tuberías del tipo B se realizó el 25 de marzo del año 2024 como se visualiza en la figura 4.10

Figura 4.10

Archivo CSV. de prueba de hermeticidad para red de tuberías del tipo B.



Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
20240325_083931	25/03/2024 01:01	Archivo de valores se...	1479 KB

Fuente Elaboración propia.

Luego de concluida la prueba de hermeticidad se procedió a verificar la cantidad de datos almacenados y el tiempo de muestreo con la que fueron guardados los datos. Se verifica que la prueba de hermeticidad inicio el 25 de marzo de 2024 con hora 08:39:31 am, además se valida que se almacenaron 1479 datos con un muestreo de 60 segundos siendo la recolección del último dato el 26 de marzo de 2024 con hora 09:17:31 am siendo el tiempo total mayor de 24 horas cumpliéndose lo que exige el organismo regulador de las pruebas de hermeticidad en redes de tubería de polietileno (PE) tal como se visualiza en la figura 4.11.

Figura 4.11

Valores obtenidos de presión y temperatura en prueba de hermeticidad en redes de tubería del tipo B.

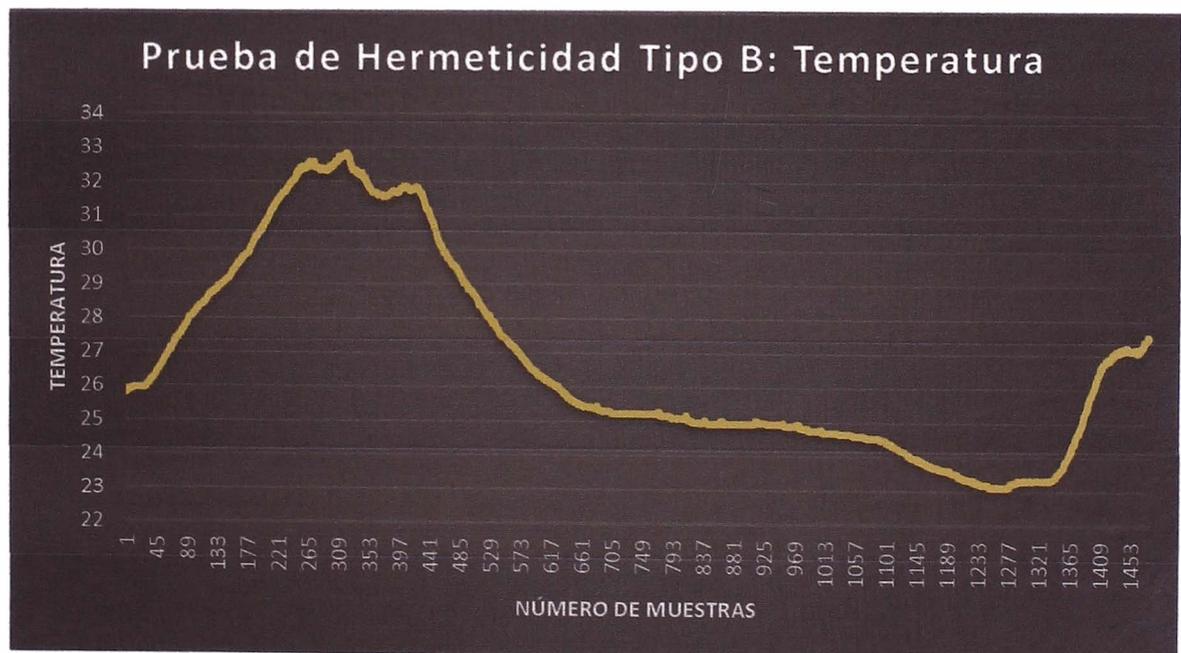
	A	B	C
1		TEMPERATURA PRESION	
2	25/03/2024 08:39:31	25.7908	7.9835
3	25/03/2024 08:40:31	25.7954	7.9823
4	25/03/2024 08:41:31	25.8869	7.9818
5	25/03/2024 08:42:31	25.9022	7.9818
6	25/03/2024 08:43:31	25.89	7.9823
7	25/03/2024 08:44:31	25.89	7.9818
8	25/03/2024 08:45:31	25.8946	7.9823
9	25/03/2024 08:46:31	25.89	7.9818
10	25/03/2024 08:47:31	25.8946	7.9831
11	25/03/2024 08:48:31	25.8946	7.9823
12	25/03/2024 08:49:31	25.951	7.9835
13	25/03/2024 08:50:31	25.9586	7.9831
14	25/03/2024 08:51:31	25.9586	7.9831
15	25/03/2024 08:52:31	25.9586	7.9831
16	25/03/2024 08:53:31	25.9556	7.9823
17	25/03/2024 08:54:31	25.9556	7.9835
18	25/03/2024 08:55:31	25.9586	7.9818
19	25/03/2024 08:56:31	25.9632	7.9818
1463	26/03/2024 09:00:31	27.0497	7.9609
1464	26/03/2024 09:01:31	27.0573	7.9614
1465	26/03/2024 09:02:31	27.1336	7.9597
1466	26/03/2024 09:03:31	27.1763	7.9609
1467	26/03/2024 09:04:31	27.1077	7.9609
1468	26/03/2024 09:05:31	27.2068	7.9609
1469	26/03/2024 09:06:31	27.187	7.9609
1470	26/03/2024 09:07:31	27.2404	7.9609
1471	26/03/2024 09:08:31	27.2404	7.9602
1472	26/03/2024 09:09:31	27.306	7.9609
1473	26/03/2024 09:10:31	27.3976	7.9597
1474	26/03/2024 09:11:31	27.3701	7.9609
1475	26/03/2024 09:12:31	27.4235	7.9639
1476	26/03/2024 09:13:31	27.4311	7.9609
1477	26/03/2024 09:14:31	27.4357	7.9609
1478	26/03/2024 09:15:31	27.5532	7.9609
1479	26/03/2024 09:16:31	27.4891	7.9602
1480	26/03/2024 09:17:31	27.4846	7.9627
1481			
	< >	<u>20240325 083931</u>	+

Fuente. Elaboración propia.

Luego se procedió a realizar graficas con las muestras obtenidas de la prueba de hermeticidad para analizar el comportamiento de las variables presión y temperatura validando que se mantuvieron dentro de los rangos permitidos. En la Figura 4.12 se visualiza que la temperatura varia con relación a la temperatura ambiente del lugar donde se realizó la prueba de hermeticidad. En la Figura 4.13 se observa que la presión varia con un comportamiento similar a la temperatura, esto ocurre debido a que en un gas la temperatura y la presión están relacionados. Se realiza el gráfico mostrado en la Figura 4.14 para visualizar la presión y la temperatura para replicar las gráficas que realiza el HMI debido a que según formato característico del dispositivo no permite extraer dichas graficas. En la Figura 4.14 se observa que la tendencia de la presión es mantenerse constante validando que la red de tubería del tipo B no presenta fugas y como resultado la prueba de hermeticidad para este tipo de red de tubería fue aprobada satisfactoriamente.

Figura 4.12

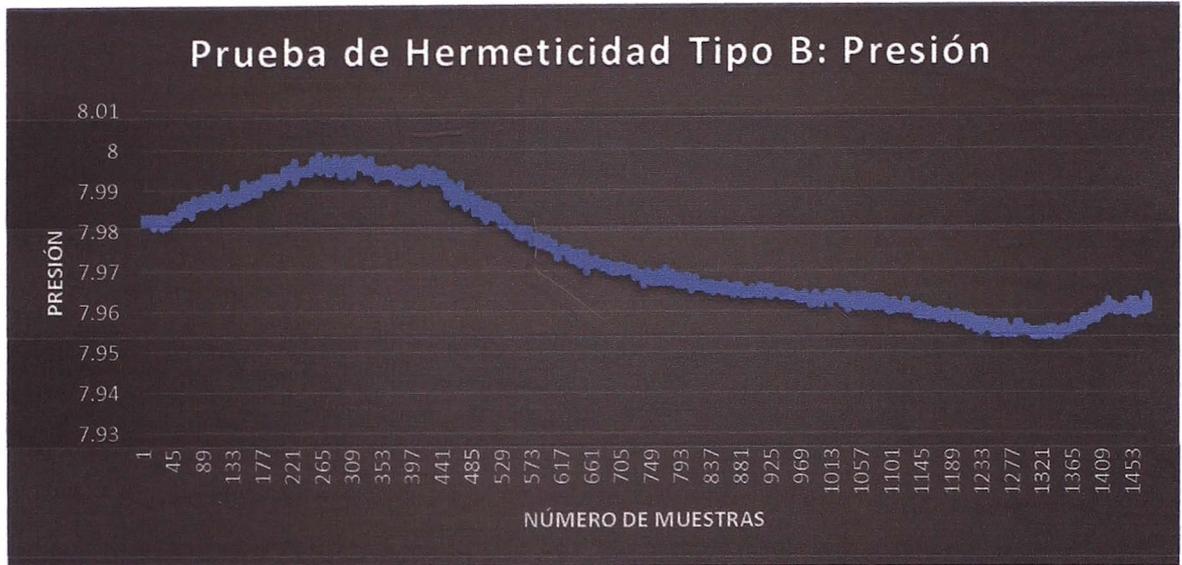
Tendencia de temperatura en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo B.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 4.13

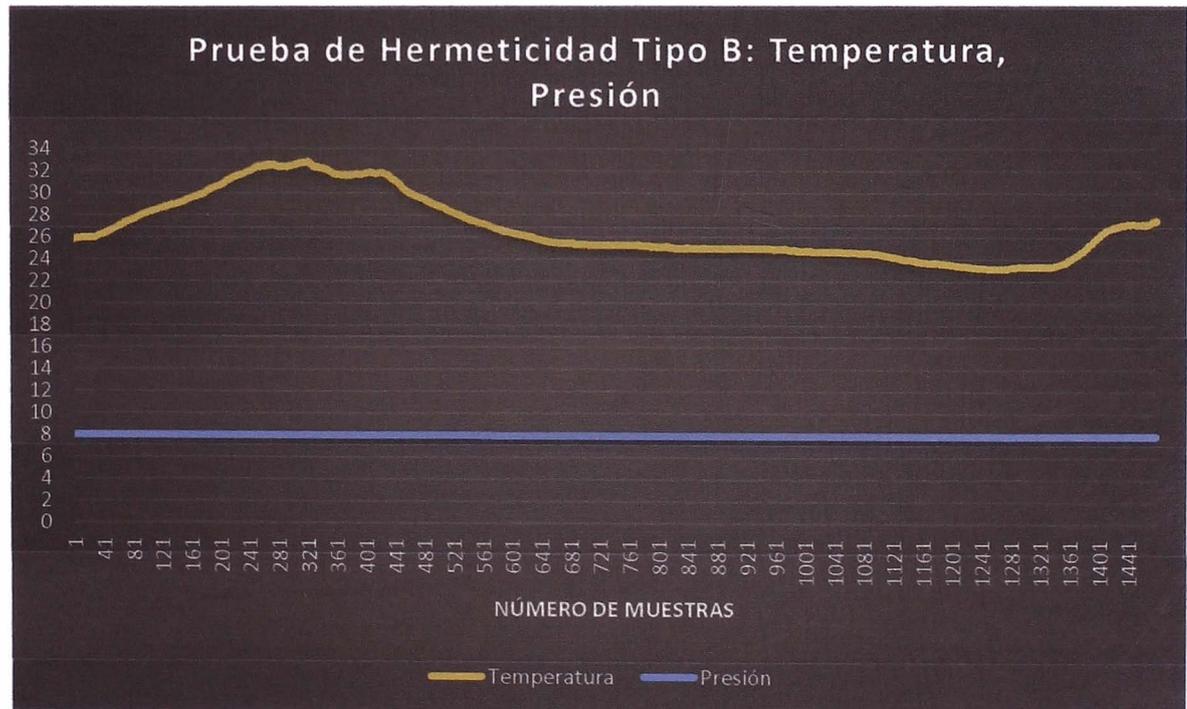
Tendencia de presión en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo B.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.14

Tendencia de las variables presión y temperatura en red de tubería del tipo B.



Fuente: Elaboración propia.

Tipo C

El tiempo de prueba de hermeticidad transcurrido previamente un periodo de estabilización (tiempo en la que se presuriza toda la tubería y permite descartar de forma visual si existe alguna fuga u otro impedimento para continuar con la prueba de hermeticidad) es de 36 horas como mínimo según lo establece el órgano regulador Osinergmin.

La prueba de hermeticidad para red de tuberías del tipo C se realizó el 11 de enero del año 2024 como se visualiza en la Figura 4.15

Figura 4.15

Archivo CSV. de prueba de hermeticidad para red de tuberías del tipo C.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 20240111 183728	25/08/2024 19:52	Hoja de cálculo de M...	65 KB

Fuente: Elaboración propia.

Luego de concluida la prueba de hermeticidad se procedió a verificar la cantidad de datos almacenados y el tiempo de muestreo con la que fueron guardados los datos. Se verifica que la prueba de hermeticidad inicio el 11 de enero de 2024 con hora 18:37:28 am, además se valida que se almacenaron 2290 datos con un muestreo de 60 segundos siendo la recolección del último dato el 13 de enero de 2024 con hora 08:46:28 am siendo el tiempo total mayor de 36 horas cumpliéndose lo que exige el organismo regulador de las pruebas de hermeticidad en redes de tubería de polietileno (PE) tal como se visualiza en la Figura 4.16.

Figura 4.16

Valores obtenidos de presión y temperatura en prueba de hermeticidad en redes de tubería del tipo C.

	A	B	C
1		TEMPERATURA PRESION	
2	11/01/2024 18:37:28	26.714	5.962
3	11/01/2024 18:38:28	26.7216	5.9628
4	11/01/2024 18:39:28	26.714	5.962
5	11/01/2024 18:40:28	26.714	5.9632
6	11/01/2024 18:41:28	26.714	5.9625
7	11/01/2024 18:42:28	26.7185	5.9632
8	11/01/2024 18:43:28	26.7185	5.9635
9	11/01/2024 18:44:28	26.7216	5.9635
10	11/01/2024 18:45:28	26.7185	5.9632
11	11/01/2024 18:46:28	26.8254	5.9635
12	11/01/2024 18:47:28	26.7872	5.9648
13	11/01/2024 18:48:28	26.7796	5.9658
14	11/01/2024 18:49:28	26.8818	5.9655
15	11/01/2024 18:50:28	26.8254	5.9655
16	11/01/2024 18:51:28	26.8132	5.9663
17	11/01/2024 18:52:28	26.8711	5.9666
18	11/01/2024 18:53:28	26.9474	5.9663
19	11/01/2024 18:54:28	26.9505	5.9658
2274	13/01/2024 08:29:28	25.5772	5.9147
2275	13/01/2024 08:30:28	25.4978	5.9144
2276	13/01/2024 08:31:28	25.5009	5.9139
2277	13/01/2024 08:32:28	25.5238	5.9147
2278	13/01/2024 08:33:28	25.4902	5.9155
2279	13/01/2024 08:34:28	25.5009	5.9139
2280	13/01/2024 08:35:28	25.5512	5.9144
2281	13/01/2024 08:36:28	25.4826	5.9144
2282	13/01/2024 08:37:28	25.5894	5.9144
2283	13/01/2024 08:38:28	25.5131	5.9144
2284	13/01/2024 08:39:28	25.4978	5.9147
2285	13/01/2024 08:40:28	25.5055	5.9139
2286	13/01/2024 08:41:28	25.4902	5.9147
2287	13/01/2024 08:42:28	25.4978	5.9147
2288	13/01/2024 08:43:28	25.5009	5.9139
2289	13/01/2024 08:44:28	25.4978	5.9144
2290	13/01/2024 08:45:28	25.4978	5.9152
2291	13/01/2024 08:46:28	25.4902	5.9167
2292			

20240111 183728

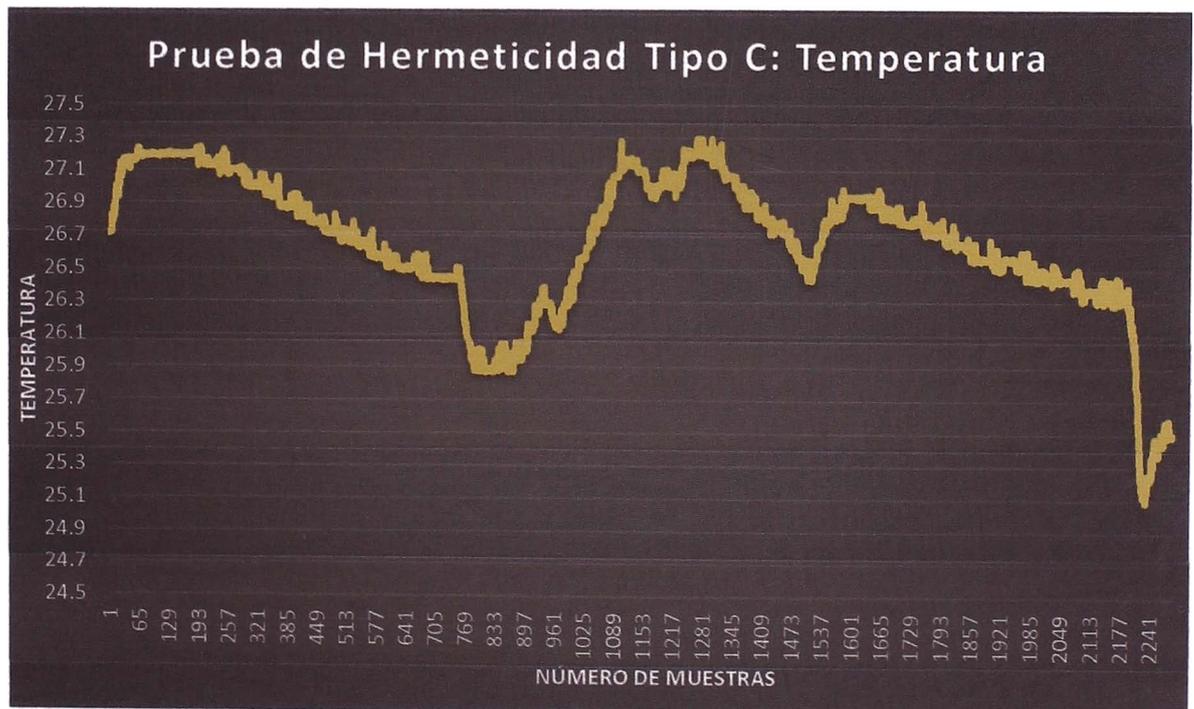
+

Fuente. Elaboración propia.

Luego se procedió a realizar gráficas con las muestras obtenidas de la prueba de hermeticidad para analizar el comportamiento de las variables presión y temperatura en red de tubería de polietileno (PE) del tipo c validando que se mantuvieron dentro de los rangos permitidos. En la figura 4.17 se visualiza que la temperatura varia con relación a la temperatura ambiente del lugar donde se realizó la prueba de hermeticidad. En la Figura 4.18 se observa que la presión varia con un comportamiento similar a la temperatura, esto ocurre debido a que en un gas la temperatura y la presión están relacionados. Se realiza el gráfico mostrado en la figura 4.19 para visualizar la presión y la temperatura para replicar las gráficas que realiza el HMI debido a que según formato característico del dispositivo no permite extraer dichas graficas. En la figura 4.19 se observa que la tendencia de la presión es mantenerse constante validando que la red de tubería del tipo C no presenta fugas y como resultado la prueba de hermeticidad para este tipo de red de tubería fue aprobada satisfactoriamente.

Figura 4.17

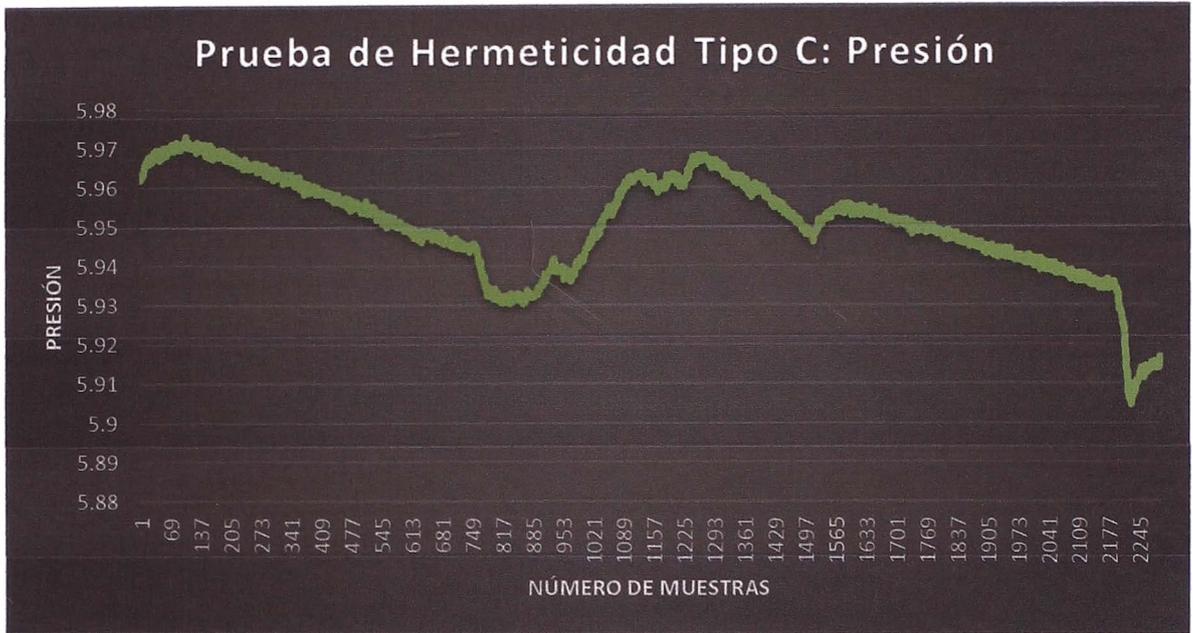
Tendencia de temperatura en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo C.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 4.18

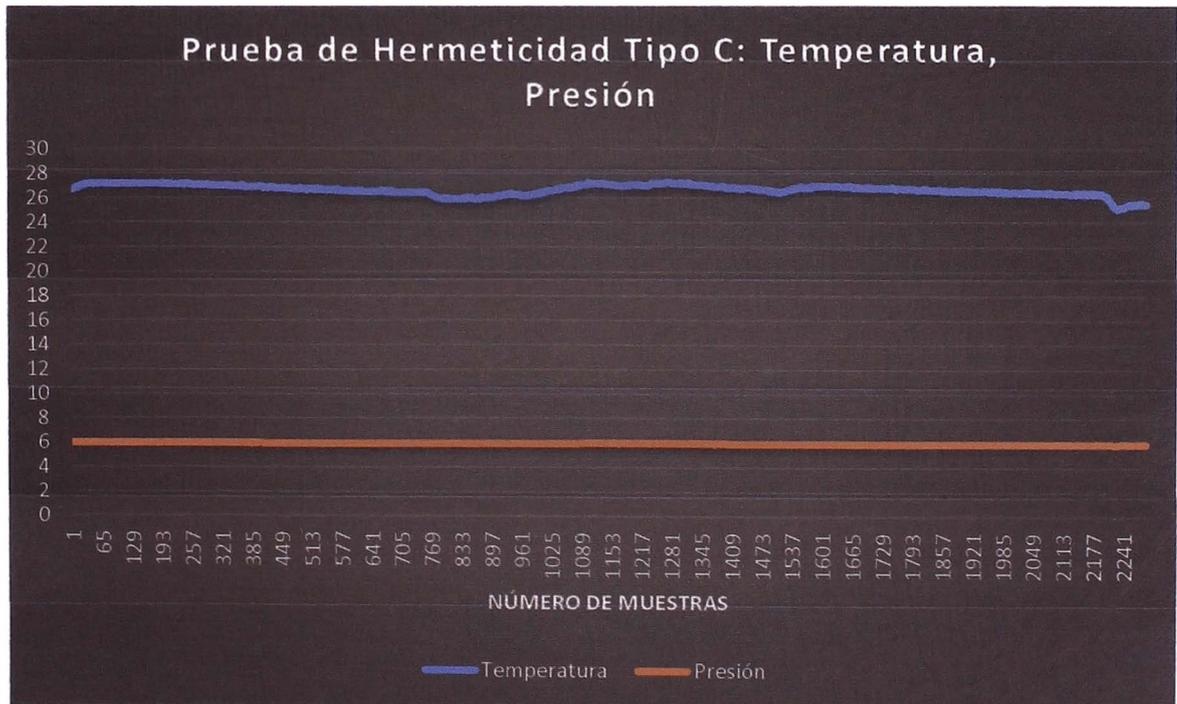
Tendencia de presión en prueba de hermeticidad en red de tuberías del tipo C.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.19

Tendencia de las variables presión y temperatura en red de tubería del tipo C.



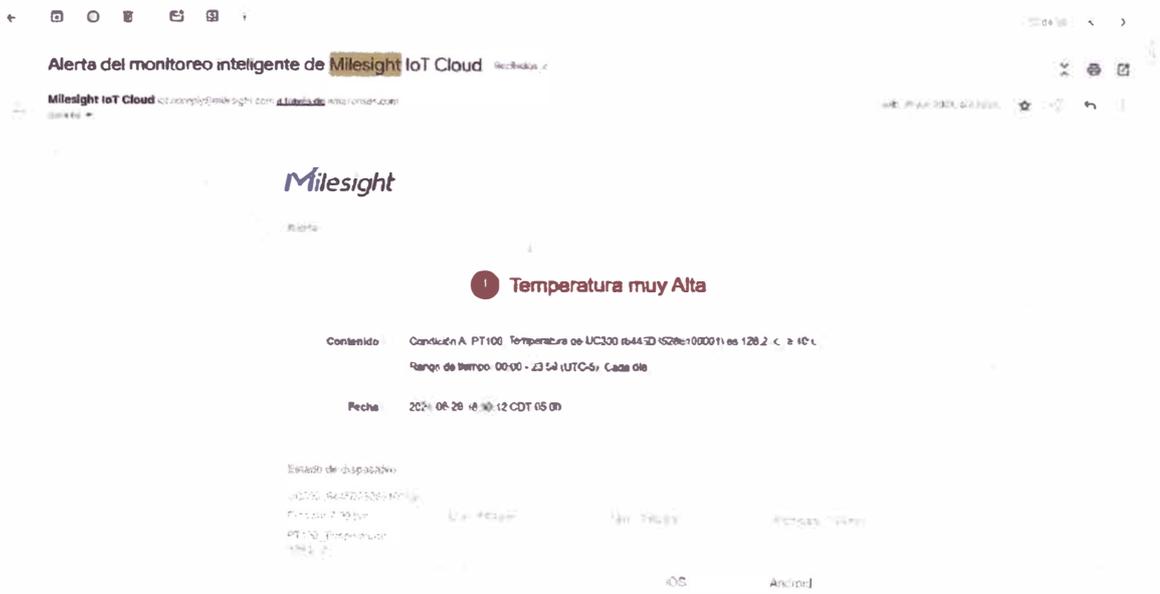
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Pruebas de hermeticidad con subsistema 2

El subsistema 2 de adquisición de datos comienza a realizar el envío de datos a la plataforma IOT Milesight Cloud cuando el Gateway UG65 disponga de conectividad hacia internet. Debido a que las pruebas con el primer subsistema fueron satisfactorias y los usuarios finales (contratistas de Cálidda) y no disponiendo de una tubería para realizar las pruebas con el segundo subsistema se realizaron pruebas simuladas utilizando una señal 4 a 20 mA variable que representará a la variable de presión y para la temperatura utilizaremos una Pt100 midiendo la temperatura ambiente. Debido a que las pruebas se desarrollaron en un laboratorio de pruebas primero se realizaron la prueba de envío de alarmas con los umbrales configurados en la figura 3.36. Para forzar el envío de la alarma de temperatura alta utilizamos un encendedor para calentar la vaina de la Pt100 y se llega a una temperatura mayor a 100 °C y se envía una alarma al correo previamente configurado como se visualiza en la figura 4.20.

Figura 4.20

Envío de alarma de temperatura alta desde plataforma IOT Milesight Cloud



Fuente: Elaboración propia.

Para forzar el envío de la alarma de presión menor a 8 bar debido a que esta es la presión en la que los usuarios realizan su prueba de hermeticidad se genera una corriente en el rango de 4 a 20 mA y así se envía la alarma al correo previamente configurado como se visualiza en la figura 4.21.

Figura 4.21

Envío de alarma de presión baja desde plataforma IOT Milesight Cloud

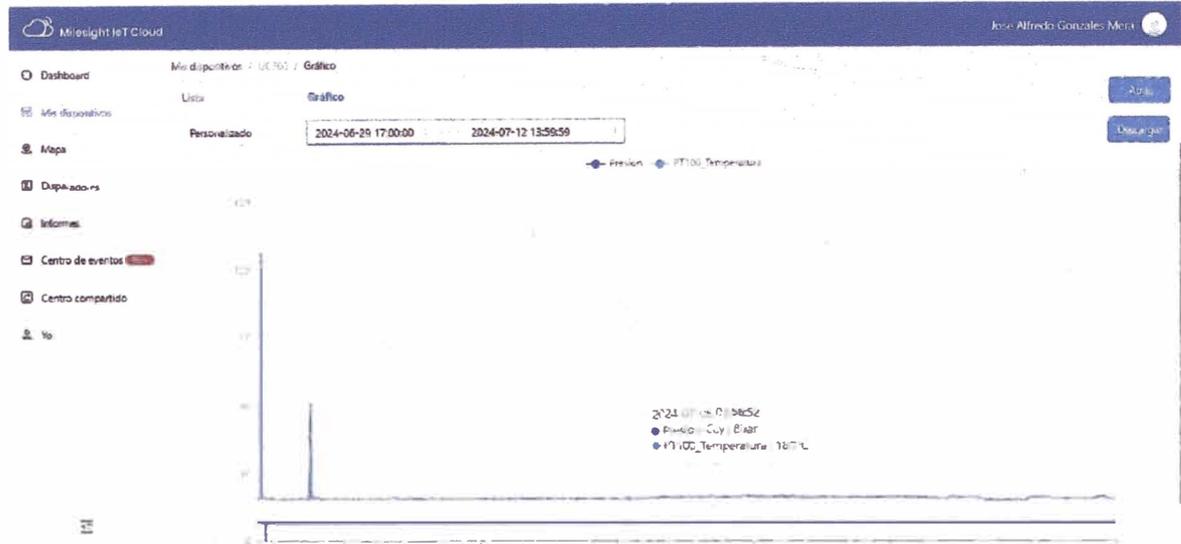


Fuente: Elaboración propia.

Debido a que las pruebas para el segundo subsistema se realizan en un laboratorio y no en una red de distribución de gas natural y lo que se busca validar es los requerimientos mínimos de una prueba de hermeticidad se realiza una simulación de adquisición de datos con el segundo subsistema por un periodo de mas de 12 días continuos y así cumplir con los tiempos de los tres tipos de tuberías y probar la funcionalidad de este subsistema de recolectar datos de forma ininterrumpida. Los datos que la plataforma IOT Milesight Cloud que recolecta en todo este periodo de tiempo puede ser graficado por la misma plataforma como se visualiza en la figura 4.22.

Figura 4.22

Gráfica en plataforma IOT Milesight Cloud de prueba simulada en segundo subsistema



Fuente. Elaboración propia.

Asimismo, los datos que han sido recolectados durante todo el periodo de prueba se pueden descargar en formato .csv desde la plataforma y así se pueden analizar con la herramienta Microsoft Excel. En esta prueba se simula una presión de 8 bar y la temperatura monitoreada será la temperatura ambiente. Los datos que fueron recolectados por la plataforma IOT Milesight Cloud en formato .csv se visualizan en la figura 4.23.

Figura 4.23

Datos en formato .csv de prueba de segundo subsistema

	A	B	C
1	Tiempo	Presion_Ccy	PT100_Temperatura
2	29/06/2024 17:00:13	7.94 bar	18.7 °C
3	29/06/2024 17:01:13	7.94 bar	18.7 °C
4	29/06/2024 17:02:13	7.93 bar	18.7 °C
5	29/06/2024 17:03:13	7.93 bar	18.8 °C
6	29/06/2024 17:04:13	7.93 bar	18.7 °C
7	29/06/2024 17:05:13	7.94 bar	18.7 °C
8	29/06/2024 17:07:18	7.94 bar	18.7 °C
9	29/06/2024 17:08:17	7.93 bar	18.8 °C
10	29/06/2024 17:10:13	7.93 bar	19.1 °C
14259	12/07/2024 06:38:05	8 bar	18.7 °C
14260	12/07/2024 06:39:05	8 bar	18.7 °C
14261	12/07/2024 06:40:05	8 bar	18.7 °C
14262	12/07/2024 06:41:05	8 bar	18.7 °C
14263	12/07/2024 06:43:05	7.99 bar	18.7 °C
14264	12/07/2024 06:44:10	8 bar	18.7 °C
14265	12/07/2024 06:45:05	8 bar	18.7 °C
14266	12/07/2024 06:46:09	8 bar	18.7 °C
14267	12/07/2024 06:48:05	8 bar	18.7 °C
14268	12/07/2024 06:49:09	7.99 bar	18.7 °C
14269	12/07/2024 06:50:05	8 bar	18.7 °C

Histoy_6445D35286100001 +

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Contratación de la hipótesis planteada

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que la hipótesis planteada impacta positivamente en el proceso de una prueba de hermeticidad, es decir el registro de los valores de las variables de presión y temperatura que son adquiridas por sensores/transmisores de alta precisión en comparación con sensores analógicos ayuda a mejorar el proceso de una prueba de hermeticidad debido a que el usuario tiene disposición las muestras cada minuto de forma ininterrumpida con el primer subsistema y un respaldo de estos datos en una plataforma web y así disminuir la probabilidad que las tuberías presenten incidencias de fugas y mitigar posibles consecuencias graves para la operación de transporte de gas natural en redes de distribución de baja presión.

Conclusiones

El presente trabajo de investigación ha servido para ampliar los conocimientos de los materiales que se utilizan para transportar gas natural en redes de distribución de baja presión y una de las pruebas que se realiza para asegurar el buen desempeño de las redes de distribución de gas natural en tuberías de polietileno. En el presente trabajo de investigación se obtiene las siguientes conclusiones:

- 1) El diseño del sistema de adquisición de datos para pruebas de hermeticidad en redes de distribución de baja presión de gas natural planteado es efectivo debido a que logra recopilar la data con el tiempo de muestro requerido y de forma ininterrumpida con el primer subsistema no perdiendo datos entre muestras.
- 2) El segundo subsistema se considera efectivo debido a que logró recopilar datos durante todo el periodo de prueba, sin embargo al depender de la conectividad del Gateway UG65 a internet esto ocasiona latencia y el periodo de muestreo de los datos mostrados en la plataforma IOT Milesight Cloud varia con lo cual no cumple con el requisito que el periodo de muestreo sea de 1 min.
- 3) La investigación concluye que el sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad funciona adecuadamente cumpliendo con las especificaciones técnicas recopiladas en el desarrollo del presente trabajo de investigación.
- 4) Los valores obtenidos de las variables de presión y temperatura en el funcionamiento del sistema de adquisición de datos en la prueba de hermeticidad se encuentran dentro de los rangos permitidos que ayudan a validar que la tubería de polietileno una vez inicie operación tendrá baja probabilidad de presentar incidencia de fugas
- 5) La hipótesis que el diseño y posterior implementación de un sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad ayudara a mitigar incidencia de fugas se valida con los datos obtenidos en la unidad de análisis del presente trabajo.

Recomendaciones

En el presente trabajo de suficiencia se desarrollaron las siguientes recomendaciones sobre la investigación:

- 1) Se propone continuar investigando la alternativa de utilizar registradores o sistemas de adquisición de datos en pruebas que se realicen a procesos de transporte de fluidos similares al gas natural cuyo resultado permita mitigar incidencia de fallas debido a que las pruebas de acuerdo a la clasificación que lo determina un organismo supervisor normalmente son de duración no menor a 4 horas y el encargado de realizar las pruebas solo dispone de herramienta visual y toma de datos de forma manual.
- 2) Realizar el estudio de desempeño de la autonomía del sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad en pruebas de tuberías del tipo C debido a que esta prueba tiene una duración de 36 horas y es indispensable que el sistema de adquisición de datos tenga la capacidad de tomar muestras durante todo este tiempo. Esto determinara si es necesario cambiar o buscar una alternativa de alimentación eléctrica que en esta investigación son 2 baterías de 11 celdas en serie que suministran 24VDC necesarios para el funcionamiento de los equipos que componen el sistema de adquisición de datos.
- 3) Almacenar la data obtenida en pruebas de hermeticidad con el sistema de adquisición de datos con la finalidad que la data sea analizada por software o tecnologías basadas en inteligencia artificial que permitan tener un mejor análisis del comportamiento de las variables de presión y temperatura en las pruebas de hermeticidad realizadas en tuberías del tipo A , tipo B y tipo C.
- 4) Modificar el parámetro de tiempo de muestro de la prueba de hermeticidad a tiempos más corto por ejemplo 30 segundos con la finalidad de almacenar más

datos durante la prueba de hermeticidad y tener un mejor análisis del comportamiento de las variables presión y temperatura.

Referencias bibliográficas

- American Society of Mechanical Engineers. (2018). Sistemas de tuberías de transmisión y distribución de gas (ASME B31.8-2018).
- Anupaam, K. R., Nishad, K., & Santosh, K. (2014). A Wireless Sensor Network based Pipeline Monitoring System. Goa India.
doi:<https://doi.org/10.1109/SPIN.2014.6776989>
- Cáceres G., L. (2002). El Gas Natural. Lima: Grupo S.R.L.
- Cálidda. (2022). Procedimiento de Presión Neumática en prueba de Hermeticidad para redes de polietileno.
- Cálidda. (2023). <https://www.calidda.com.pe>. Obtenido de <https://www.calidda.com.pe/gas-natural/como-se-distribuye-el-gas-natural/>
- Centro de Ciberseguridad Industrial. (2017). "Ciberseguridad en la Pirámide de Automatización Industrial". Madrid.
- Considine, D. (1987). Tecnología del Gas Natural. Mexico: Publicaciones Marcombo S.A.
- Cruz, A. P. (2017). Implementacion de redes de sensores inalámbricas, en un sistema telemétrico para detectar y controlar fugas de gas GLP y monóxido de carbono en usos domésticos. Riobamba, Ecuador.
- Datexel. (2021). DAT 1015 Datsheet.
- Ellingwood, J. (2017). An Introduction to metrics monitoring and Alerting.
- Fragoso S., L., Ruiz Z., F., & Uribe H., O. (2012). Metodología para detección de fugas en tuberías de gas natural. Mexico.
- Jacinto, C. (2022). Diseño de un sistem ciber-físico para monitorizar variables relacionadas con derrames de líquidos de gas natural en el sistema de transporte por ductos del proyecto Camisea. Lima.
- Jinlei, W., Bin, L., Peiyuan, M., & Ning, W. (2021). Design and Application of Mixed Natural Gas Monitoring System Using Artificial Neural Networks. China.

- Pajares, M. d., & Alcantar, L. (2020). Implementación de un sistema de vigilancia de Gas Licuado de Petróleo en estaciones de servicio de combustible utilizando una plataforma Adafruit.IO. Lima.
- Piedrafita M., R. (2004). Ingeniería de la Instrumentación Industrial . Mexico: AlfaOmega.
- Plastic Pipe Institute. (2008). Handbook of Polyethylene Pipe Second Edition.
- Remote Pipeline Monitoring Security System. (2021).
- Rojas A., C., Escalaya A., A., Tasayco A., J., & Huamani N., P. (2019). Implementation of a CO concentration measurement and alert prototype applying IoT and mobile application. IEEE.
- Santos, F. (2016). Desarrollo de un sistema SCADA para el monitoreo de las variables de proceso de un gaseoducto de gas natural.
- Silva Castro, Y., & Jimenez Castrillon, E. (2022). Desarrollo de un sistema de monitoreo y alertas tempranas para gas natural y monóxido de carbono en el hogar. Bogotá.
- Simmons, A. (2023). Cloud Computing for the Internet of Things (IoT).
- Trevor A., K. (2001). Learning from accidents.

Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia	1
Anexo 2: Formato de datos generales de la red de distribución de gas natural	2
Anexo 3: Formato de requisitos de prueba de hermeticidad.....	2
Anexo 4: Registro del parámetro de presión en prueba de hermeticidad	3

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno para mitigar la incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables		Indicadores	Técnicas e instrumentos de recopilación de datos
			Dependiente	Independiente		
¿En qué medida un evento de fuga en tuberías de polietileno impacta negativamente en la operación de redes de distribución de gas natural?	Diseñar un sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno para mitigar la incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural.	El diseño de un sistema de adquisición de datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno mejorará significativamente la incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural.	Incidencia de fugas en redes de distribución de gas natural	Sistema de Adquisición de Datos en pruebas de hermeticidad de tuberías de polietileno.	Tiempo de muestreo (en segundos) del sistema de adquisición de datos para las pruebas de hermeticidad. Presión (en bar) dentro de los rangos permisibles durante las pruebas de hermeticidad. Temperatura (en °C) dentro de los rangos permisibles durante las pruebas de hermeticidad	Recopilación de datos de las variables en las pruebas de hermeticidad. Recopilación de los rangos permisibles de las variables presión y temperatura de las pruebas de hermeticidad según estándar.

Nota Elaboración propia.

ANEXO 2: FORMATO DE DATOS GENERALES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS NATURAL

Datos Generales de la red de distribución de gas natural	
Distrito:	Jesús María
Dirección:	Mariscal Miller Cuadra 10
Tipo de tubería:	TIPO A(100 m)
Área de distribución:	150 metros cuadrados
Fecha:	05/11/23

Nota: Elaboración propia.

ANEXO 3: FORMATO DE REQUISITOS DE PRUEBA DE HERMETICIDAD

Condiciones de prueba de hermeticidad	
Tiempo de muestro:	60 segundos (1 minuto)
Longitud de tubería:	100 m
Diámetro de tubería:	30 mm
Rango de Temperatura:	0 a 100° C
Rango de Presión:	0 a 16 bar

Nota: Elaboración propia.

**ANEXO 4. REGISTRO DEL PARAMETRO DE PRESIÓN, EN
PRUEBA DE HERMETICIDAD**

Generalidades

Fecha de Inicio de Prueba:	Fecha de Termino de Prueba:
Distrito:	
Ubicación: Av./Ca./Jr.:	
Zona: -----	Malla: -----

Datos de prueba:

Temperatura Inicial(°C):	Temperatura Final(°C):
--------------------------	------------------------

ITEM	HORA (hh:mm)	PRESION (bar)	ITEM	HORA (hh:mm)	PRESION (bar)	ITEM	HORA (hh:mm)	PRESION (bar)
01			25			49		
02			26			50		
03			27			51		
04			28			52		
05			29			53		
06			30			54		
07			31			55		
08			32			56		
09			33			57		
10			34			58		
11			35			59		
12			36			60		
13			37			61		
14			38			62		
15			39			63		
16			40			64		
17			41			65		
18			42			66		
19			43			67		
20			44			68		
21			45			69		
22			46			70		
23			47			71		
24			48			72		

Nota Elaboración propia