

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Implementación de un Sistema de Monitoreo en un Terminal Portuario
Multipropósito Mediante Tecnología Basada en Industria 4.0

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Magister en Automatización y Control

Presentado por:

Jaime Raúl Vargas Vilatuña

Steven Michael Ramos Meza

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a Dios y a mi hija Larissa Ramos Mina con mucho amor y gratitud, por darme el apoyo incondicional, por siempre impulsarme a ser mejor, enseñándome a valorar todo lo que tengo, y lograr con éxito mi carrera. El deseo de superación y de triunfo en la vida. Lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Steven Ramos Meza.

A mis padres Jaime y Rosario, a mi segunda madre Mariana, a mis hermanas Gaby y Alita, a mi cuñado Daniel y a mi futuro sobrin@; porque son mi mayor motivación para seguir cosechando triunfos. Nuevamente, disfrútenlo que este logro es más suyo que mío.

Jota R Vargas.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestro Director de tesis MSc. Alexander Prieto, por brindarnos su apoyo total al desarrollo de este proyecto final de Maestría.

A nuestros profesores de la FIEC que nos compartieron sus conocimientos para fortalecer nuestra carrera técnica y así permitirnos ser un gran aporte a la industria Ecuatoriana.

Agradecimiento especial a nuestras familias, por su apoyo durante todo este proceso de la MACI IX.

Steven Ramos,

Raúl Vargas.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jaime Raúl Vargas Vilatuña y Steven Michael Ramos Meza damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Ing. Jaime Raúl Vargas
Vilatuña



Ing. Steven Michael
Ramos Meza

COMITÉ EVALUADOR



MSc. Alexander Prieto León

PROFESOR TUTOR

PhD. Efrén Herrera Muentes

PROFESOR EVALUADOR

RESUMEN

El puerto marítimo de Fertisa, requiere disponer de un SCADA local y remoto que permitirá la interconexión de los dispositivos electrónicos que están ubicados en distantes puntos en el puerto bajo el concepto del internet industrial de las cosas (IIoT), a fin de disponer de un sistema de monitoreo para que el personal de planta pueda disminuir los tiempo al momento de dar una asistencia técnica a una falla o anomalía sobre la temperatura, polución, activación de motores del sistema contra incendios y detección de humo en la grúas Gottwald del puerto.

Para resolver la presente problemática se implementará una red de comunicación compuesta por sensores, controladores y el gateway IOT2040, la misma que facilitara la obtención y digitalización continua de los datos provenientes de las variables y zonas de interés.

El presente trabajo inicia con una breve introducción del puerto de Fertisa y las necesidades; continuado con la indagación de conceptos que son parte de este proyecto como son: las características y funcionamiento del gateway IOT2040, de las tarjetas de desarrollo Arduino, XBee y de las plataformas de desarrollo XCTU, Node-RED y Ubidots.

Finalmente, se realiza la configuración y programación de la red de comunicación y del SCADA local y remoto, donde se realizará diferentes pruebas de validación del funcionamiento del sistema de monitoreo, el sistema de alertas y a su término se presenta el costo total del proyecto junto a las conclusiones y recomendaciones referentes al tema investigativo.

Palabras Clave: SCADA, Gateway, Node-RED, Ubidots, IIoT

ABSTRACT

The seaport of Fertisa requires a local and remote SCADA that will allow the interconnection of electronic devices that are located at distant points in the port under the concept of the industrial internet of things (IIoT), in order to have a monitoring system in place so that plant personnel can reduce the time needed to give technical assistance to a fault or temperature anomaly, pollution, activation of fire engines and smoke detection in the Gottwald cranes in the port.

To solve this problem, a communication network will be implemented consisting of sensors, controllers and the IOT2040 gateway, which will facilitate the collection and continuous digitization of data from variables and areas of interest.

The present work begins with a brief introduction of the port of Fertisa and the needs; continued with the investigation of the concepts that are part of this project such as: the characteristics and operation of the gateway IOT2040, the development cards Arduino, XBee and XCTU development platforms, Node-RED and Ubidots.

Finally, the configuration and programming of the communication network and the local and remote SCADA, where different validation tests of the operation of the monitoring system will be performed, the alert system and at its end the total cost of the project is presented together with the conclusions and recommendations concerning the research topic.

Keywords: SCADA, Gateway, Node-RED, Ubidots, IIoT

ÍNDICE GENERAL

COMITÉ EVALUADOR.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE PLANOS	XIV
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Terminal Portuario Fertisa.....	4
1.4.2 Central de monitoreo Fertisa	5
1.4.3 Grúa de muelles	6
1.4.4 Bodegas de almacenamiento	7
1.4.5 Sistema contra incendios	8
1.4.6 Lado Este de Fertisa	9
1.4.7 Industria 4.0	10

1.4.8	Tecnologías de la Industria 4.0	10
1.4.9	Internet de las cosas (IoT).....	11
1.4.10	Internet industrial de las cosas (IIoT)	13
1.4.11	Red de comunicación inalámbrica.....	14
1.4.12	Dispositivos en los sistemas de control industrial.....	15
1.4.13	Pasarela de comunicación	16
1.4.14	SCADA.....	18
CAPÍTULO 2.....		19
2.	Metodología	19
2.1	Requerimientos y criterios de diseño.....	20
2.2	Selección de dispositivos electrónicos.....	21
2.2.1	Selección de tecnología y dispositivos de transmisión inalámbrica.....	21
2.2.2	Selección de dispositivos de adquisición de información	26
2.2.3	Gateway industrial con tecnología del IIoT.....	28
2.3	Esquemas del sistema de monitoreo.....	30
2.4	Conexión eléctrico	31
2.5	Esquema de la red de comunicaciones	36
2.6	Plataformas de los dispositivos electrónicos.....	37
2.6.1	IDE Arduino.....	37
2.6.2	XCTU	37
2.6.3	Node-RED.....	38
2.6.4	Ubidots	40
2.7	Montaje de dispositivos electrónicos	41
2.7.1	Montaje de módulo XBee PRO S2C en CEMFER-SCI	41
2.7.2	Montaje de módulo XBee PRO S2C en Bodega #34	42
2.7.3	Montaje de módulo XBee PRO S2C en Grúa Gottwald #2	43

2.7.4	Montaje de módulo XBee PRO S2C en Grúa Gottwald #3	44
2.7.5	Montaje de módulo XBee PRO S2C en zona Este de Fertisa.....	45
2.7.6	Montaje del gateway IOT2040 en CEMFER-SCI	45
2.8	Diseño y programación del sistema de monitoreo	46
2.8.1	Definición de tramas de comunicación.....	46
2.8.2	Flujograma de la red inalámbrica tipo malla basado en DigiMesh	48
2.8.3	Flujograma de la red de comunicación basado en arquitectura del IloT	53
2.8.4	Configuración de los dispositivos electrónicos	66
2.9	Desarrollo de los SCADA's	70
2.9.1	Diseño del SCADA de acceso local	70
2.9.2	Diseño del SCADA de acceso remoto.....	74
2.9.3	Implementación del SCADA de acceso local	77
2.9.4	Implementación del SCADA de acceso remoto	81
CAPÍTULO 3.....		83
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	83
3.1	Pruebas del sistema de monitoreo	83
3.1.1	Recepción de información en SCADA de acceso local en Node-RED... 83	
3.1.2	Recepción de información en SCADA de acceso remoto en Ubidots 88	
3.1.3	Comparación entre las mediciones obtenidas en los SCADA's	92
3.2	Pruebas de funcionamiento del sistema de alertas	97
3.2.1	Alerta de sobretemperatura en la Bodega #34 en el SCADA local	97
3.2.2	Alerta de detección de humo en Grúa Gottwald #2 en SCADA local	99
3.2.3	Alerta de correo electrónico de sobretemperatura de motores de SCI.	101
3.3	Análisis de costo de la propuesta	103
CAPÍTULO 4.....		106
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	106

Conclusiones	106
Recomendaciones	107
BIBLIOGRAFÍA	109
APÉNDICES	112

ABREVIATURAS

SCADA	Supervisión Control y Adquisición de Datos
CEMFER	Centro de Monitoreo Fertisa
IOT	Internet de las Cosas
IIOT	Internet Industrial de las Cosas
PLC	Controlador Lógico Programable
UART	Transmisor Receptor Asíncrono Universal
USB	Universal serial bus
RTD	Detector de temperatura resistivo
MQTT	Message queuing telemetry transport
SCI	Sistema contra incendios
XBEE	Módulo de comunicación inalámbrica

SIMBOLOGÍA

Bd	Baudios
°C	Grados Centígrados
µg/m ³	Micro gramos por metro cúbico
ppm	Concentración del contaminante por volumen por unidad de volumen de aire

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Central de monitoreo Fertisa	5
Figura 1.2 Grúas de muelle	6
Figura 1.3 Grúa Gottwald #2 y #3	7
Figura 1.4 Bodega de almacenamiento	7
Figura 1.5 Bodega #34	8
Figura 1.6 Sistema contra incendios de Fertisa	9
Figura 1.7 Lado Este de Fertisa.....	9
Figura 1.8 Evolución de la Industria 4.0	10
Figura 1.9 Tecnologías de la Industria 4.0.....	11
Figura 1.10 Internet de las cosas.....	12
Figura 1.11 Esquema de la arquitectura del IloT	13
Figura 1.12 Estructura de una red Zigbee	15
Figura 1.13 PLC LOGO	16
Figura 1.14 Tarjeta electrónica de hardware libre ARDUINO	16
Figura 1.15 Esquema de funcionamiento del gateway	17
Figura 1.16 Gateways.....	17
Figura 1.17 Diagrama de un SCADA.....	18
Figura 2.1 Red de malla con protocolo DigiMesh	23
Figura 2.2 Módulo XBee PRO S2C.....	26
Figura 2.3 Tarjeta electrónica Arduino Uno	27
Figura 2.4 Tarjeta electrónica Arduino Mega	28
Figura 2.5 Gateway IOT2040 de Siemens.....	29
Figura 2.6 Esquema de la red inalámbrica tipo malla basado en DigiMesh.....	30
Figura 2.7 Esquema de la red de comunicación basado en arquitectura del IloT	31
Figura 2.8 Entorno de trabajo de IDE	37
Figura 2.9 Entorno de trabajo de XCTU.....	38
Figura 2.10 Entorno de trabajo de Node-RED	39
Figura 2.11 Estructura de la plataforma Ubidots.....	40
Figura 2.12 RTD instalado en bomba del SCI.....	41

Figura 2.13 PLC LOGO instalado en tablero eléctrico del SCI	42
Figura 2.14 Instalación de módulo XBee PRO S2C en tablero eléctrico del SCI.....	42
Figura 2.15 Controlador de temperatura NX4-03.....	43
Figura 2.16 Instalación de módulo XBee S2C en tablero eléctrico de	43
Figura 2.17 Instalación de módulo XBee S2C en grúa Gottwald #2	44
Figura 2.18 Instalación de módulo XBee S2C en Grúa Gottwald #3	44
Figura 2.19 Sensor PMS3003.....	45
Figura 2.20 Instalación de módulo XBee S2C en zona Este de Fertisa.....	45
Figura 2.21 Instalación del Gateway IOT2040 en CEMFER-SCI.....	46
Figura 2.22 Flujograma del concentrador	49
Figura 2.23 Envío de datos desde el concentrador hacia el IIoT	50
Figura 2.24 Flujograma para validación de nodos	50
Figura 2.25 Tarea para consulta de nodos en la red inalámbrica	51
Figura 2.26 Flujograma de temperatura y activación de motores del SCI	51
Figura 2.27 Leer datos mediante protocolo Modbus del PLC LOGO del SCI.....	52
Figura 2.28 Flujograma para envío de la trama al IOT2040.....	52
Figura 2.29 Diagrama de flujo para la comunicación y recolección de las tramas de datos	53
Figura 2.30 Flujo de nodo para la comunicación y recolección de las tramas de datos	54
Figura 2.31 Diagrama de flujo para el procesamiento de datos de la trama de datos con identificador "S1/"	55
Figura 2.32 Diagrama de flujo para el procesamiento de datos de la trama de datos con identificador "S2/"	56
Figura 2.33 Flujo de nodos para el procesamiento de las tramas de datos.....	57
Figura 2.34 Diagrama de flujo para la alerta por correo electrónico de sobretemperatura del motor #1 del SCI	59
Figura 2.35 Flujo de nodos para la alerta por correo electrónico de sobretemperatura del motor #1 del SCI	60
Figura 2.36 Diagrama de flujo para la visualización de la temperatura de la Bodega #34 de la trama de datos con identificador "S1/".....	62

Figura 2.37 Diagrama de flujo para la visualización de la temperatura y alerta de sobretemperatura de la Bodega #34 en el SCADA de acceso local.....	63
Figura 2.38 Flujo de nodos para la visualización de la temperatura y alerta de sobretemperatura de la Bodega #34 en el SCADA de acceso local.....	64
Figura 2.39 Diagrama de flujo para el envío de datos hacia Ubidots de la temperatura de la Bodega #34 de la trama de datos con identificador "S1/"	65
Figura 2.40 Flujo de nodos para el envío de datos hacia Ubidots de la temperatura de la Bodega #34 de la trama de datos con identificador "S1/"	66
Figura 2.41 Configuración de la comunicación Modbus TCP del PLC LOGO	66
Figura 2.42 Configuración para envío en red de la señal digital	67
Figura 2.43 Configuración para envío en red de la señal analógica	68
Figura 2.44 Configuración para envío en red de la señal digital	70
Figura 2.45 Pantalla "Inicio" del SCADA local en Node-RED	71
Figura 2.46 Pantalla "Bodega #34" del SCADA local en Node-RED.....	71
Figura 2.47 Pantalla "Grúas Gottwald" del SCADA local en Node-RED	72
Figura 2.48 Pantalla "Sistema contra incendios" del SCADA local en Node-RED	73
Figura 2.49 Pantalla "Lado Este Fertisa" del SCADA local en Node-RED.....	73
Figura 2.50 Pantalla "Alarmas" del SCADA local en Node-RED.....	74
Figura 2.51 Pantalla "Bodega #34" del SCADA remoto en Ubidots	75
Figura 2.52 Pantalla "Grúas Gottwald" del SCADA remoto en Ubidots	76
Figura 2.53 Pantalla "Lado Este Fertisa" del SCADA remoto en Ubidots	76
Figura 2.54 Pantalla "Sistema contra incendios" del SCADA remoto en Ubidots	77
Figura 2.55 Diagrama de flujo para insertar imágenes en la pantalla "Inicio" del SCADA local en Node-RED	78
Figura 2.56 Flujo de nodos para insertar imágenes en la pantalla "Inicio" del SCADA local en Node-RED	78
Figura 2.57 Diagrama de flujo para insertar botones de navegación en la pantalla "Inicio" del SCADA local en Node-RED	79
Figura 2.58 Flujo de nodos para insertar botones de navegación en la pantalla "Inicio" del SCADA local en Node-RED	80
Figura 2.59 Pantalla "Inicio" del SCADA local en Node-RED	80
Figura 2.60 Variables enviadas desde el gateway IOT2040 hacia Ubidots	81

Figura 2.61 Indicadores visuales de Ubidots	81
Figura 2.62 Pantalla “Bodega #34” del SCADA remoto en Ubidots	82
Figura 3.1 Pantalla “Inicio” del SCADA local en Node-RED	84
Figura 3.2 Pantalla “Bodega #34” del SCADA local en Node-RED.....	85
Figura 3.3 Pantalla “Grúas Gottwald” del SCADA local en Node-RED	85
Figura 3.4 Pantalla “Sistema contra incendios” del SCADA local en Node-RED	86
Figura 3.5 Pantalla “Lado Este Fertisa” del SCADA local en Node-RED.....	87
Figura 3.6 Pantalla “Alarmas” del SCADA local en Node-RED.....	88
Figura 3.7 Pantalla “Bodega #34 del SCADA local en Ubidots.....	89
Figura 3.8 Pantalla “Grúas Gottwald” del SCADA remoto en Ubidots	90
Figura 3.9 Pantalla “Bodega #34” del SCADA remoto en Ubidots.....	91
Figura 3.10 Pantalla “Sistema contra incendios” del SCADA remoto en Ubidots	92
Figura 3.11 Captura de pantalla del SCADA local en Node-RED	93
Figura 3.12 Registros tipo “Excel” que contienen los valores del SCADA remoto en Ubidots.....	93
Figura 3.13 Prueba para aumentar la temperatura del RTD	97
Figura 3.14 Temperatura de la Bodega #34	98
Figura 3.15 Alerta de sobretemperatura detecta en el SCADA local en Node-RED ..	98
Figura 3.16 Prueba para activar la señal de detección de humo en Grúa Gottwald #2	99
Figura 3.17 Detector de humo activado en grúa Gottwald #2.....	100
Figura 3.18 Alerta de detección de humo activada en grúa Gottwald #2 en el SCADA local en Node-RED	100
Figura 3.19 Alertas detectadas en el SCADA local en Node-RED.....	101
Figura 3.20 Prueba para activar la señal de detección de humo en Grúa Gottwald #2	102
Figura 3.21 Alertas de sobretemperatura recibidas por correo electrónico.....	102
Figura 3.22 Mensajes de los correos electrónicos	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Variables y estados de interés para monitoreo	1
Tabla 2.1 Límites y estados de alerta	20
Tabla 2.2 Comparativo de tecnologías inalámbricas	22
Tabla 2.3 Comparativa de características de los protocolos de XBee	24
Tabla 2.4 Trama de comunicación entre concentrador – nodos	47
Tabla 2.5 Trama de comunicación entre concentrador – gateway IOT2040.....	48
Tabla 2.6 Configuración de parámetros en módulo XBee PRO S2C situado en G. Gottwald #3.....	69
Tabla 3.1 Comparación de los valores de temperatura de la Bodega #34	94
Tabla 3.2 Comparación del estado activado/desactivado de los detectores de humo en las grúas Gottwald	94
Tabla 3.3 Comparación de los valores de temperatura de los motores del Sistema contra incendios.....	95
Tabla 3.4 Comparación del estado encendido/apagado de los motores del Sistema contra incendios.....	95
Tabla 3.5 Comparación de los valores de polución en el lado Este de Fertisa.....	96
Tabla 3.6 Costo de componentes de Hardware.....	104
Tabla 3.7 Costo de mano de obra del proyecto	104
Tabla 3.8 Costo total de proyecto	105

ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Zonas y sistemas de Fertisa
- PLANO 2 Conexión eléctrica del hardware para la adquisición del estado de detección de humo de Grúa Gottwald #2
- PLANO 3 Conexión eléctrica del hardware para la adquisición de temperatura de Bodega #34
- PLANO 4 Conexión eléctrica del hardware para la adquisición de polución del lado Este de Fertisa
- PLANO 5 Conexión eléctrica del hardware para la adquisición de la temperatura y estado de funcionamiento de los motores del SCI
- PLANO 6 Conexión eléctrica del hardware para la comunicación del sistema de monitoreo

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Fertisa es un terminal portuario marítimo ubicado en Guayaquil, el cual ofrece la coordinación de todos los procesos, movimientos internos y externos necesarios para la maniobra y almacenamiento de todo tipo de carga de diferentes procedencias y nacionalidades para su posterior distribución.

Además, Fertisa es considerado como un puerto multipropósito debido a que cuenta con patios y bodegas de almacenamiento de carga a lo largo de sus 300 metros aproximados de longitud, permitiendo manejar carga en contenedores, carga a granel (por ejemplo: petcoke, clinker, fertilizantes, etc.) y carga suelta.

Actualmente desean contar con un sistema para monitorear variables físicas y los estados de activación de los equipos estratégicos instalados en la terminal marítima para acortar tiempos de respuesta y salvaguardar la integridad de los equipos. Es por ello que surge la necesidad de implementar una red de comunicaciones para que el personal de planta cuente con un SCADA de acceso local y remoto de modo que brinden a tiempo asistencias técnicas y también permita la toma oportuna de decisiones sin la necesidad de encontrarse en la terminal portuaria.

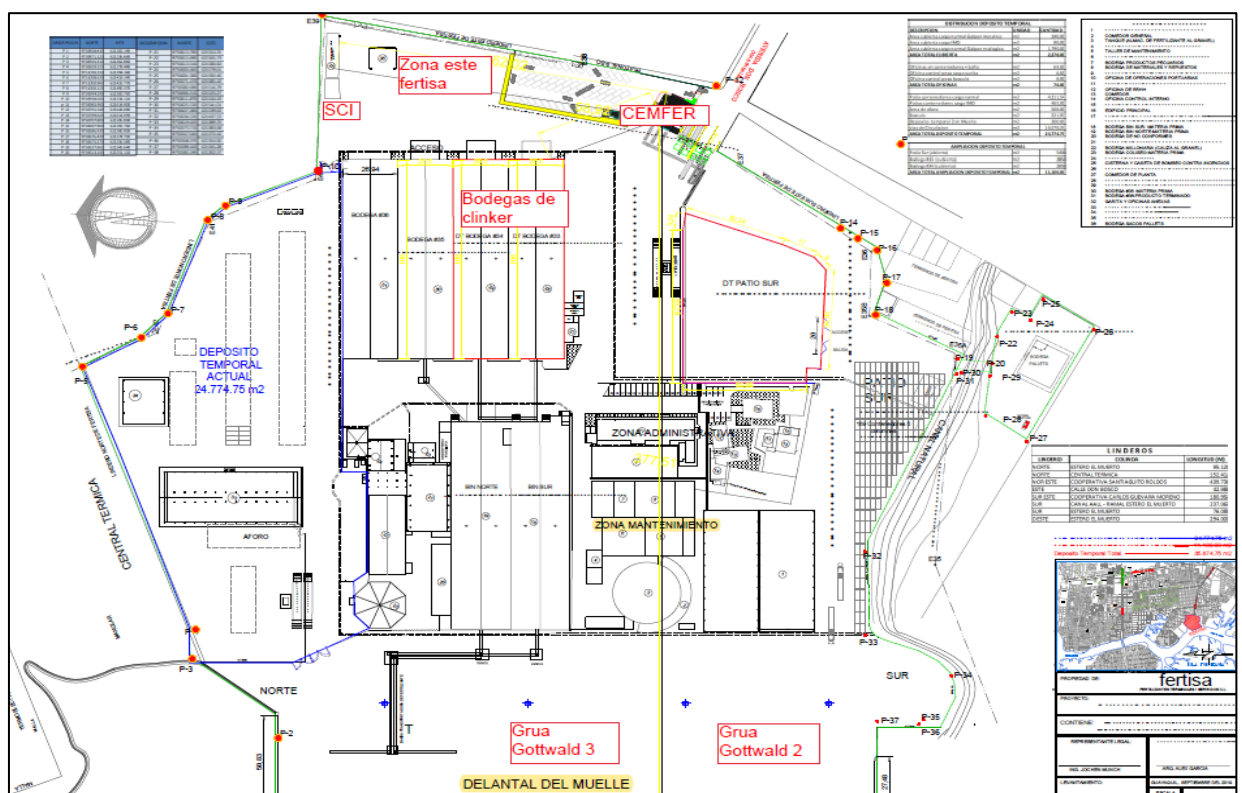
En consecuencia, las variables y estados de interés son las que se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Variables y estados de interés para monitoreo

Zona / Sistema	Equipo / Entorno	Variable / Estado
Bodega de almacenamiento de clinker	- Bodega #34	- Temperatura
Sistema contra incendios "SCI"	- Motor #1 - Motor #2	- Temperatura - Encendido/Apagado
Grúas de muelle	- G. Gottwald #2 - G. Gottwald #3	- Detección de humo
Zona Este de Fertisa	- Ambiente	- Polución

Los datos de las variables y estados de interés se recolectan mediante herramientas tecnológicas usadas en una arquitectura del Internet Industrial de las Cosas "IIoT", las mismas que luego son enviadas a un SCADA de acceso local y remoto para su visualización.

En el Plano 1.1 se presentan las zonas y sistemas de las variables de interés dentro del terminal portuario de Fertisa.



Plano 1 Zonas y sistemas de Fertisa

1.1 Descripción del problema

El monitoreo de los equipos o entornos instalados en puntos relativamente distantes en el puerto ha desencadenado tiempos altos en brindar una asistencia técnica a las fallas, y dichos retardos en respuesta pueden desencadenar en conatos de incendio, como por ejemplo en equipos de cuartos eléctricos de grúas, daños por sobretemperatura en: motores del SCI y en bodega de almacenamiento

de clinker, y también contaminación ambiental por la exposición a altos niveles de polución.

De modo que, de darse, la empresa tendría impacto económico por reparación y fuera de servicio de maquinarias en caso de siniestros y multas por contaminación del aire por parte de la entidad gubernamental.

1.2 Justificación del problema

Fertisa cuenta con una central de monitoreo por cámaras de video y se tiene la necesidad de contar con un sistema que permita monitorear en línea las variables y estados de la Tabla 1.1 y con ello, acortar tiempos de respuesta y salvaguardar la integridad de los equipos.

Por lo tanto, se plantea implementar un sistema de monitoreo local y remoto mediante la conexión alámbrica e inalámbrica entre sensores, dispositivos electrónicos y un gateway con tecnología del IIoT para la adquisición de datos de los sensores, y que a su vez que estos datos sean enviados continuamente a un computador (local) y a un dispositivo móvil (web) para su visualización y análisis respectivo.

Además, este trabajo incluye un sistema de alertas mediante correo electrónico para la notificación de ciertas variables que hayan sobrepasado su umbral de funcionamiento y así el personal técnico tome acciones correctivas tan pronto se produzca las alertas; para evitar de esta manera que las fallas incrementen su magnitud y que generen pérdidas económicas en la empresa.

La investigación y desarrollo de este trabajo de titulación permite familiarizar el uso del gateway con tecnología de IIoT de la marca Siemens, a través de pruebas de su funcionamiento mediante la comunicación, adquisición y transferencia de datos provenientes de una red de sensores de comunicación inalámbrica con miras a la escalabilidad e integridad del monitoreo de otras áreas estratégicas en el puerto marítimo de Fertisa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de monitoreo en las zonas de bodegas de almacenamiento, grúas y del sistema contra incendios en el terminal portuario de Fertisa mediante tecnología basada en Industria 4.0, para interpretación, toma de decisiones y salvaguardar la integridad física de los trabajadores y equipos.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un estudio de la técnica relacionada con el funcionamiento del gateway con tecnología del IIoT y de la plataforma Node-RED.
2. Implementar una red de comunicación compuesta por sensores, controladores y el gateway con tecnología del IIoT de la marca Siemens para la adquisición de temperatura y activación de motores de combustión del SCI, temperatura en bodega de almacenamiento, activación del sistema de detección de humo en grúas y el monitoreo de polución en áreas definidas.
3. Implementar un sistema SCADA de acceso local y remoto en la plataforma Node-RED y en una plataforma de visualización en la Nube.
4. Implementar un sistema de gestión de alertas mediante correo electrónico con la finalidad de notificar al personal técnico para la toma de acciones correctivas de manera apropiada y rápida.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Terminal Portuario Fertisa

Fertisa es un terminal portuario marítimo de uso público localizado al Sur de la Ciudad de Guayaquil, que beneficia al sector industrial, comercial y naviero, fortaleciendo la infraestructura portuaria nacional y consolidándose como un pilar importante en el desarrollo del comercio exterior. El mismo que cuenta con los siguientes procesos productivos:

- Uso de muelles.
- Transferencia de carga general.

- Transferencia de carga a granel.
- Servicio de almacenamiento en bodegas.

Por otro lado, Fertisa cuenta con una central de monitoreo, la cual cuenta con personal de vigilancia de las cámaras de video ante posibles anomalías que se presenten en la terminal y así reaccionar de manera inmediata ante alarmas de emergencia por eventos suscitados en el puerto.

1.4.2 Central de monitoreo Fertisa

El departamento de la terminal portuaria Fertisa, conocida como “CEMFER”, está en constante monitoreo de las cámaras fijas y móviles del tipo PTZ, donde se monitorea y alerta, en caso de existir, alguna anomalía en la terminal.

CEMFER se encuentra ubicado en el edificio principal de acceso al terminal portuario.



Figura 1.1 Central de monitoreo Fertisa

1.4.2.1 Requerimientos de la CEMFER

CEMFER, sabe que el IIoT es el vínculo para conectar el mundo físico y el mundo virtual, por lo que es necesario controlar los datos de las variables de la

Tabla 1.1 mediante el gateway IOT2040 de la marca Siemens, y con ello innovar su sistema de monitoreo tradicional (cámaras de video vigilancia), además de disminuir el tiempo de respuesta a las alertas que se presentan en el puerto.

El sistema de monitoreo cuenta con una red de comunicación inalámbrica entre dispositivos electrónicos que van a obtener los datos de los sensores que se encuentran en funcionamiento en las zonas y sistemas de interés.

Posteriormente, los datos son digitalizados y enviados a los SCADA's mediante una red de comunicación del IIoT, de esta manera facilita al usuario la interacción y supervisión de la información, y también la toma de decisiones tanto dentro de planta como en cualquier parte del mundo, mediante computador y dispositivos móviles con conexión a internet respectivamente.

A continuación, se describen los conceptos y componentes que conforman el estudio técnico.

1.4.3 Grúa de muelles

Las grúas de muelle son máquinas equipadas de cuatro movimientos: traslación, elevación, cambio de alcance y giro que son manipuladas por estibadores profesionales que por medio de energía mecánica cargan o descargan grandes toneladas de peso mediante métodos de poleas, contrapeso, rieles o ruedas dependiente de la carga y toneladas que debe soportar [1].



Figura 1.2 Grúas de muelle [1]

Fertisa cuenta con tres grúas marca Gottwald modelo 4406B, las cuales tiene la capacidad de movilizar hasta 100 toneladas de carga del tipo: a granel, sacos grandes, etc.



Figura 1.3 Grúa Gottwald #2 y #3

1.4.4 Bodegas de almacenamiento

Son espacios establecidos bajo normas y condiciones que garantizan una infraestructura de buena calidad y seguridad, las mismas que son utilizadas para almacenar la materia prima, productos semielaborados y productos finales dando una ubicación a los productos, protegiéndolos de incendios, robos y deterioros hasta el momento de su distribución [2].



Figura 1.4 Bodega de almacenamiento [2]

En la actualidad el puerto de Fertisa cuenta con 14 bodegas de almacenamiento de diferentes materiales. En este proyecto únicamente nos enfocaremos en la bodega #34 la cual almacena clinker y que tiene un área de 2862 m².



Figura 1.5 Bodega #34

1.4.5 Sistema contra incendios

Es un sistema con normas diseñadas dentro del plan de seguridad para minimizar los efectos del fuego en caso de producirse un incendio no controlado dentro de la institución y pueda afectar a las personas, bienes inmuebles y la propiedad [3].

Los objetivos principales dentro de un sistema contra incendios son:

- Salvar vidas.
- Salvar activos.
- Mantener la línea del negocio.

En Fertisa el SCI se encuentra en el cuarto de bombas en el cual se instalaron dos motores de combustión marca Cummins de 2100 rpm y acoplado a su respectiva bomba Paterson de 1500 pm. En toda el área de la instalación portuaria se encuentran instalados gabinetes, hidrantes y torres para suplir y dar respuesta de ocurrir un siniestro.



Figura 1.6 Sistema contra incendios de Fertisa

1.4.6 Lado Este de Fertisa

“Vecinos de la coop. Santiago de Roldós, sur de Guayaquil, se quejan por polvo negro que llega a sus hogares desde el puerto de Fertisa” fue un enunciado de un diario nacional en julio del año 2021. En el cual la comunidad se aquejaba por la contaminación del clinker donde se tomaron medidas internamente para no ser penalizados, pero es de interés contar con un monitoreo de la cantidad de materia particulada “PM”, verificando se encuentren dentro de los rangos establecidos por la terminal.



Figura 1.7 Lado Este de Fertisa

Valores de las directrices de la OMS sobre la calidad del aire [4]:

Materia particulada fino (PM2.5)

- 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual.

- 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media diaria.

Materia particulada grueso (PM10)

- 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media anual.
- 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de media diaria.

1.4.7 Industria 4.0

El avance de la tecnología ha impactado sustancialmente en las condiciones materiales y sociales de producción. La industria ha ido evolucionando a gran escala a lo largo de tiempo donde han surgido 4 etapas o revoluciones industriales[5], las mismas que se muestran en la Figura 1.8.

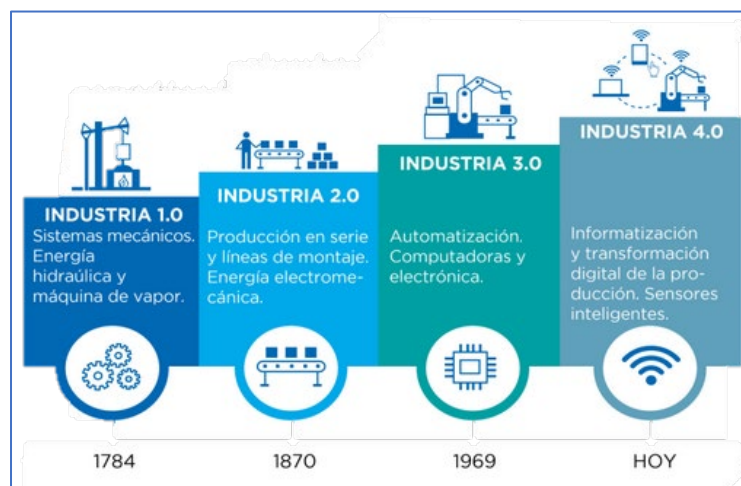


Figura 1.8 Evolución de la Industria 4.0 [5]

La Industria 4.0 es el ingreso de la nueva tecnología en el ámbito industrial, permitiendo la comunicación del mundo digital con el físico, también combina técnicas avanzadas de producción y operación llegando así a la creación de la industria inteligente[5].

1.4.8 Tecnologías de la Industria 4.0

Las tecnologías de la Industria 4.0 se complementan con otras: drones, sensores inteligentes, controladores, plataformas electrónicas abiertas, sistemas de

posicionamiento son las que resultan de la convergencia de los pilares técnicos mencionados y juegan un papel igualmente importante ayudando a fortalecer la actual matriz tecnológica[5].



Figura 1.9 Tecnologías de la Industria 4.0 [5]

1.4.9 Internet de las cosas (IoT)

Admite la comunicación de manera multidireccional entre máquinas, personas y productos, lo que permite tomar decisiones en función de la información del entorno[6].

El IoT permite conectar herramientas técnicas a internet para conectar información.

Se definieron 4 etapas con el desarrollo del internet (ver Figura 1.10):

- La conectividad que permite digitalizar el acceso a la información.
- La digitalización de los procesos empresariales garantizando una economía más fuerte.
- La digitalización y comunicación entre empresas y la sociedad.
- La etapa de automatización e interconexión entre personas, procesos, datos y objetos.

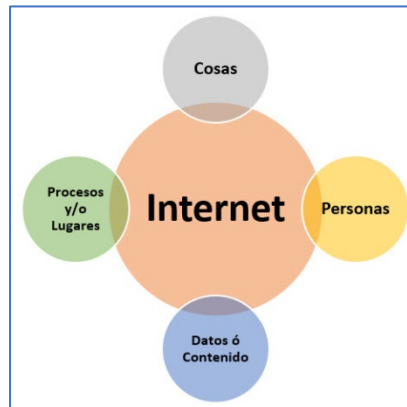


Figura 1.10 Internet de las cosas [6]

1.4.9.1 Protocolos de comunicación del IoT

Los protocolos son un conjunto de reglas o normas que facilitan la comunicación entre una gran cantidad de dispositivos del sistema IoT garantizando la seguridad de las comunicaciones de entornos vulnerables de manera simultánea e intercambian información entre sí, acoplándose entre dispositivos para que no exista dependencia entre ellos. A continuación, se describe los protocolos[7]:

- **OPC UA:** protocolo cliente/servidor donde los clientes se conectan, navegan, leen y escriben; siendo muy seguro, envía mensajes bidireccionales firmados y encriptados de transporte.
- **HTTP (REST/JSON):** protocolo cliente/servidor sin conexión ubicado en la web, donde los clientes pueden acceder a los recursos en el servidor a través de peticiones al servidor.
- **MQTT:** protocolo de publicar/suscribir elaborado por SCADA y redes remotas, centrandó en un mínimo encabezado y comunicaciones confiables.
- **CoAP:** protocolo de aplicación restringida, provee la compatibilidad de HTTP con una mínima carga reduciendo el encabezado y requerimiento.
- **DDS:** protocolo de publicar/suscribir de una red que se focaliza en la comunicación en tiempo real.
- **AMQP:** protocolo de publicar/suscribir que proviene del sector de servicios financieros.

1.4.10 Internet industrial de las cosas (IIoT)

Con el objetivo de integrar diferentes magnitudes de las fábricas, como flujo, nivel, temperatura, humedad u otras tecnologías de la información, el IIoT se desarrollada para comunicarse entre máquinas, productos y personas a través de paneles de acceso local y remoto que permiten la visualización de datos y el seguimiento de las líneas de producción.

1.4.10.1 Arquitectura del IIoT

En la arquitectura del IIoT (ver Figura 1.11), tenemos los siguientes[8]:

- **Dispositivos IIoT:** enlaza la conexión de manera alámbrica o inalámbrica en los sistemas o máquinas industriales.
- **Redes:** conexión por medio de protocolos que permiten la comunicación entre dispositivos IIoT y la nube.
- **Nube:** plataformas digitales que almacenan información para su posterior revisión.



Figura 1.11 Esquema de la arquitectura del IIoT [8]

1.4.11 Red de comunicación inalámbrica

Las redes de comunicación inalámbricas utilizan ondas de radio de baja frecuencia para su comunicación de dispositivos las mismas que tienen que convertir las señales de información para poder transmitir a través del aire, sin tener la necesidad de conectar cables de algún tipo[9].

1.4.11.1 Comunicación inalámbrica Zigbee

Zigbee es una tecnología de red eléctrica inteligente la cual fue desarrollada como un estándar global para resolver las necesidades de las redes inalámbricas de bajo costo y potencial, la misma que se comunica por ondas de radio de baja energía (2.4 GHz, 900MHz y 868 MHz). El protocolo se basa en el estándar 802.15.4 el mismo que se caracteriza por contar con una arquitectura de red inalámbrica segura y fiable.

1.4.11.1.1 Topologías Zigbee

Zigbee cuenta con tres tipos de nodos diferentes cada uno con su respectiva función. A continuación, se muestran los nodos[10]:

- **Coordinador**

Se encarga de crear la red, enrutar todos los paquetes y permitir conexiones entrantes desde otros nodos conectados e integrados con un módulo de comunicación con acceso a internet, de forma que los datos recopilados se envían de forma continua y automática al servidor.

- **Router**

Es el encargado de enlazar dos o más nodos que no estén conectados entre sí, pero no pueden aceptar conexiones.

- **End Device**

Reciben y envían paquetes desde la red, pero no tienen la capacidad de conectarse, tienen la capacidad de cambiar al modo de bajo consumo para prolongar la duración de la batería y conectarse solo cuando sea necesario.

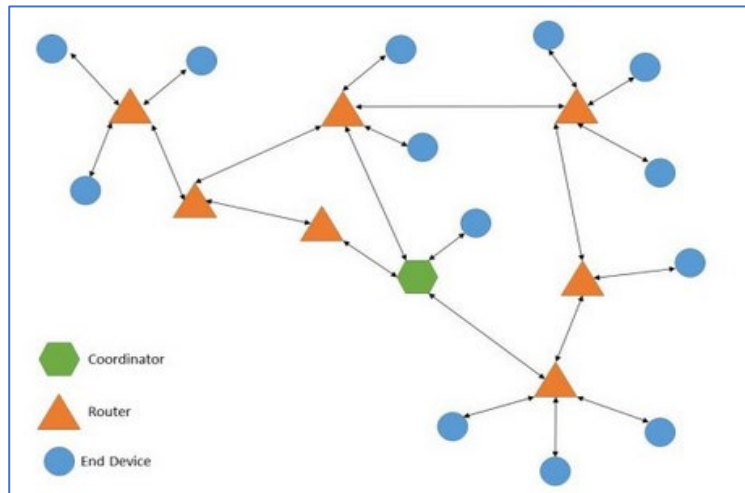


Figura 1.12 Estructura de una red Zigbee [10]

1.4.12 Dispositivos en los sistemas de control industrial

Los sistemas de control están conformados por dispositivos tecnológicos, electrónicos, hidráulicos y mecánicos como también interviene los procesos manuales que son supervisados y controlados por humanos verificando que cada proceso físico sea realizado de manera automática y eficiente[11].

Actualmente existen dos tipos de dispositivos muy utilizados en los sistemas de control estos son:

- PLC.
- Tarjetas electrónicas de desarrollo.

1.4.12.1 Controlador lógico programable (PLC)

Los PLC's en informática son los controladores a cargo de activar los componentes de las máquinas para realizar alguna acción que estuvo programada con anterioridad la misma que se ejecutara de manera rápida y precisa[12].

Es por ello que, para tener el correcto funcionamiento del PLC debe estar programada de manera predefinida las tareas que se requiere que realice

cuando se ejecuta una acción, esta programación se desarrollara en un editor de código mediante un lenguaje de programación.



Figura 1.13 PLC LOGO [12]

1.4.12.2 Tarjetas electrónicas de desarrollo

Las tarjetas electrónicas de desarrollo son placas compuestas de circuitos alrededor del microcontrolador, el mismo que permite programar una serie de instrucciones y es transferida por un cable de comunicación, de igual forma suministra el voltaje adecuado para el funcionamiento y permite el acceso a los microcontroladores de entrada y salida para conectar sensores y actuadores[13].



Figura 1.14 Tarjeta electrónica de hardware libre ARDUINO [13]

1.4.13 Pasarela de comunicación

Las pasarelas de comunicación, también conocidas como gateways, son dispositivos de hardware o software que facilitan la comunicación entre la nube y

los dispositivos, controladores y sensores, lo cual permite adaptar los protocolos de comunicación del ordenador como por ejemplo los datos de la red mismos que pasan por un gateway antes de ingresar al ordenador.

Así mismo, brinda acceso para el monitoreo de manera remota del equipo industrial desde cualquier parte que estén ubicados, algunas configuraciones y puestas en marcha se las realizan por ejemplo a través de Modbus, Ethernet/IP o E/S y los datos recolectados son enviados al servidor de la nube por medio de internet[14].

En la Figura 1.15 se presenta un esquema del funcionamiento de un gateway.

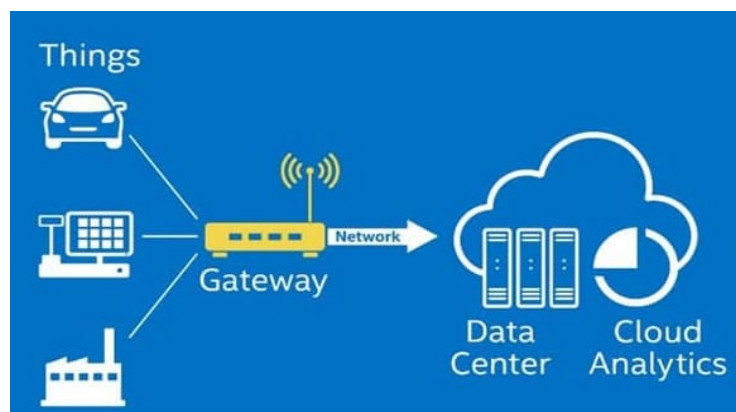


Figura 1.15 Esquema de funcionamiento del gateway [14]

Un ejemplo de gateways se muestra en la Figura 1.16[15].



Figura 1.16 Gateways [15]

1.4.14 SCADA

Según la investigación desarrollada en la ciudad de Barranquilla menciona que un sistema SCADA (supervisión, control y adquisición de datos) es una herramienta tecnológica que controla los sensores del sector industrial, también toma decisiones para administrar los procesos ubicados a distancias remotas, supervisa, recopila datos y genera informes puesto que algunos procesos son complejos o presentan riesgos para los empleados.

Actualmente en la industria el SCADA es una herramienta de gran ayuda para evaluar todos los datos y detectar los posibles errores para tratar de solucionarlos inmediatamente y evitar la inactividad o pérdida de tiempo, las aplicaciones que se le da es el control de los procesos locales y remotos, recopilación, procesamiento de los datos y también el registro de eventos.

En la Figura 1.17 se presenta un diagrama básico de un SCADA.

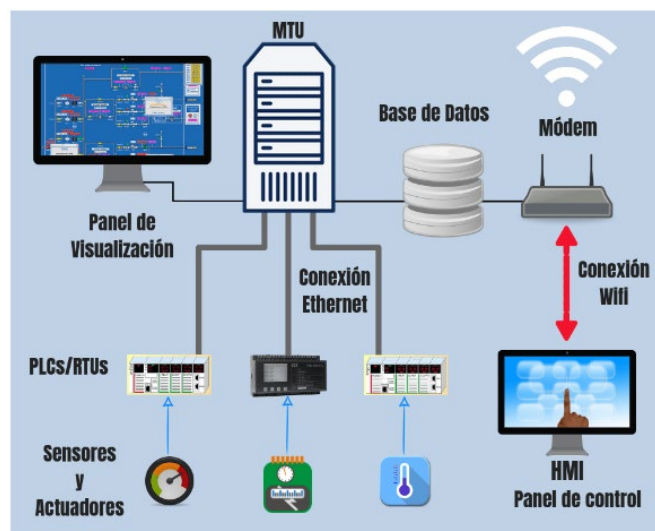


Figura 1.17 Diagrama de un SCADA [16]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo técnico se desarrollará a través de cuatro fases metodológicas que se muestran a continuación:

- La fase teórica presentada en el capítulo anterior mencionó los conceptos y funciones que componen el estudio técnico, tales como: componentes y sistemas del terminal portuario, Industria 4.0, protocolos de comunicación del IoT, IIoT, comunicaciones inalámbricas, etc.
- La fase de diseño que se presenta en este capítulo, donde se estableció los requerimientos y se seleccionó los dispositivos electrónicos con el objetivo de cumplir las necesidades de la CEMFER para la monitorización local (computador) y remota (dispositivo móvil) de las variables y estados de interés que se encuentran dentro del terminal portuario.
- La fase de implementación también contenida en el capítulo dos, en la cual se procedió al montaje de los dispositivos electrónicos encargados de la adquisición de datos de los sensores y controladores. También, el montaje del gateway IOT2040, el cual recibe los datos adquiridos por los dispositivos electrónicos para posteriormente procesar los datos, establecer un sistema de alerta de visualización local y vía correo electrónico; finalmente él envió de datos hacia la plataforma de acceso local (Node-RED) y remota (Ubidots) para su respectiva visualización.
- La fase de resultados/validación se desarrollará en el capítulo tres, donde se asegura que todos los componentes estén conectados y funcionando para cumplir con los objetivos de este estudio técnico, se comparará los datos visualizados entre el SCADA local y remoto, se efectuará las pruebas del sistema de alertas y el análisis de costo.

2.1 Requerimientos y criterios de diseño

A continuación, se presenta los requerimientos solicitados por parte de la central de monitoreo Fertisa 'CEMFER' para el desarrollo del sistema de monitoreo basado en tecnología del IIoT:

- Adquirir de forma inalámbrica los datos de las variables y estados de interés de la Tabla 1.1 que fue presentada en el Capítulo 1, dado que existe una distancia significativa desde los equipos de interés al cuarto de monitoreo, y además por disminuir costos de implementación al no utilizar cableado para su conexionado.
- Recolectar los datos adquiridos mediante el gateway IOT2040 de la marca Siemens, el cual ha sido adquirido previamente por Fertisa como herramienta de aprendizaje y entrenamiento sobre el IIoT.
- Implementar un SCADA local y remoto para monitorear el flujo de datos recopilados a través de una computadora local de la CEMFER y en cualquier parte del mundo a través de dispositivos móviles con acceso a Internet.

Incluir un sistema de alertas de visualización local de las variables que superen su límite de funcionamiento, así también de los sistemas que se han activado; en la Tabla 2.1 se muestran los límites y estados de alerta que han sido definidos.

Tabla 2.1 Límites y estados de alerta

Zona / Sistema	Equipo / Entorno	Variable / Estado	Alerta
Bodega de almacenamiento de clinker	Bodega #34	Temperatura	> 50°C
Sistema contra incendios 'SCI'	Motor #1	Temperatura	> 92°C
		Estado de motor	Encendido
	Motor #2	Temperatura	> 92°C
		Estado de motor	Encendido
Grúas de muelle	G. Gottwald #2	Detector de humo	Activado
	G. Gottwald #3	Detector de humo	Activado
Zona Este Fertisa	Ambiente	Polución	> 25 ppm

- Enviar una alerta por correo electrónico únicamente cuando la variable de temperatura del motor #1 y #2 del sistema contra incendios supere los 92°C.

2.2 Selección de dispositivos electrónicos

Una vez identificados los requerimientos de la CEMFER se presenta la selección de dispositivos y tecnología a implementar en el sistema de monitoreo.

2.2.1 Selección de tecnología y dispositivos de transmisión inalámbrica

Para la transmisión inalámbrica de los datos de las cinco áreas de interés se realizó un recorrido en la terminal y se recopiló la siguiente información:

- Dentro de las instalaciones portuarias de Fertisa se observa que sus edificaciones no son de gran altura.
- Únicamente los edificios principales como: administración, seguridad y mantenimiento tienen puntos de acceso a internet.
- Los planos del puerto de Fertisa detallan que tiene aproximadamente 400 metros de distancia desde el ingreso principal hasta el delantal del muelle.

Con el fin de encontrar dispositivos electrónicos que faciliten la comunicación, se realizó un estudio de viabilidad de la tecnología inalámbrica, durante el cual se analizaron diversos factores como la potencia de transmisión, la transmisión de datos, la velocidad de transmisión, las distancias de cobertura, la directividad de las antenas, la latencia del tráfico, etc.

En la Tabla 2.2 se presenta un comparativo que evalúa las tecnologías más comerciales como son: WiFi, Bluetooth y XBee [17].

Tabla 3.2 Comparativo de tecnologías inalámbricas

	WiFi	Bluetooth	XBee
Velocidad	< 50 Mbps	1 Mbps	< 250 kbps
Número de nodos	32	8	25 / 65535
Distancia de transmisión	100 m	10 m	100 m
Duración de batería	Horas	Días	Años
Consumo de transmisión	400 mA	40 mA	30 mA
Consumo en reposo	20 mA	0.2 mA	3 uA
Precio	Caro	Medio	Barato
Configuración	Compleja	Compleja	Simple
Aplicación	Internet en edificios	Informática y móviles	Domótica y monitorización

Después de mostrar un cuadro comparativo y encontrar la tecnología que mejor se adapte a las necesidades de desarrollo del proyecto, se eligió la tecnología XBee porque entre sus ventajas se encuentra un equilibrio entre el bajo consumo de energía (debido a la transmisión de bajas tasas de datos), implementación de bajo costo y amplia gama de conexión inalámbrica.

La otra parte importante a mencionar es que XBee maneja 2 protocolos de comunicación: ZigBee y DigiMesh.

2.2.1.1 ZigBee

El protocolo de comunicación ZigBee es un estándar global abierto para construir redes banda ancha inalámbrica de baja potencia y admite múltiples topologías de red, como: redes punto a punto, punto a multipunto, en estrella y en malla.

ZigBee permite la transmisión de datos a largas distancias, con un alcance ideal de hasta 3.2 km, y la transmisión de datos a través de “saltos” mediante una red de nodos intermedios a otros nodos distantes[18]. Debido a que es un estándar

interoperable, los dispositivos de muchos fabricantes diferentes son compatibles para la comunicación, lo que ha contribuido a la amplia aceptación de ZigBee en las industrias de domótica e Internet de las cosas.

2.2.1.2 DigiMesh

DigiMesh es un protocolo de comunicación inalámbrica patentado de “Digi International”, siendo este protocolo una versión mejorada de ZigBee, que simplifica la arquitectura y la conectividad entre los nodos de la red DigiMesh.

Este protocolo admite una topología de malla en la que uno de los nodos es visible para cualquier otro nodo de la red; a diferencia que con ZigBee es visible solo a través del nodo coordinador de la red.

Otra característica que cuenta DigiMesh, es de ser un protocolo en la cual sus nodos existentes en su red actúan como repetidores y esto hace posible que el mensaje llegue a largas distancias (64 km aprox.) y de manera confiable.

En la Figura 2.1 se muestra una red de malla basado en DigiMesh[19].

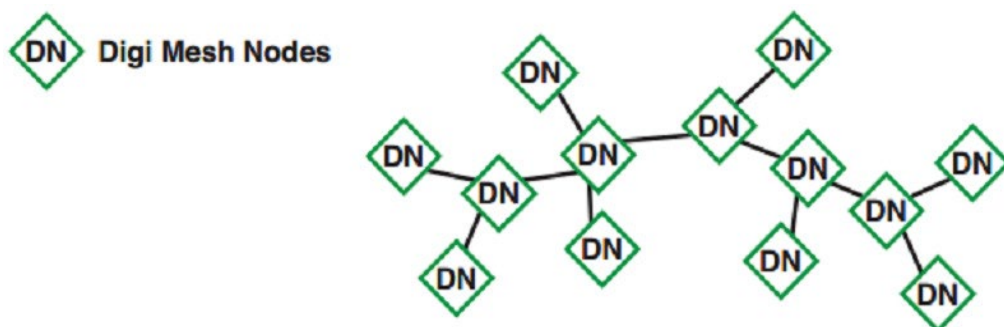


Figura 2.1 Red de malla con protocolo DigiMesh [19]

Luego de presentar breves características de los protocolos, en la Tabla 2.3 se realiza una comparación de sus principales características[20].

Tabla 4.3 Comparativa de características de los protocolos de XBee

	ZigBee	DigiMesh
Tipo de nodos y beneficios	Coordinadores, routers, End Devices. Los End Devices son muchos más baratos por su reducida funcionalidad.	Tipo de nodo único. Más flexible a la hora de ampliar la red. Simplifica la configuración de la red. Aumenta la confiabilidad en entornos donde se puede dañar los enrutadores.
Modo dormido; duración de la batería	Solo los End Devices pueden hibernar.	Todos los nodos pueden hibernar. No hay puntos de falla asociados con los coordinadores que mantienen la sincronización.
Actualizaciones de firmware por aire	Si	No
Opciones de largo alcance	La mayoría de dispositivos ZigBee tienen un rango menor a 3.2 Km entre saltos.	Rango de hasta 64 Km entre saltos (según el dispositivo).
Carga útil de rendimiento	Hasta 80 bytes.	Hasta 256 bytes. Se mejora mediante aplicaciones que envían bloques de datos mayores.
Tamaño del código	Más largo, menos espacio para que crezcan las prestaciones.	Más pequeño (alrededor de la mitad). Más espacio disponible.
Frecuencias soportadas y tasas de datos RF	Predomina 2.4 GHz (250 kbps). 900 MHz (40 Kbps) y 868 MHz (20 Kbps) no están disponibles globalmente.	900 MHz (10, 125, 150 Kbps). 2.4 GHz (250 Kbps).
Seguridad	Encriptación AES. La red se puede	Encriptación.

	bloquear y así prevenir que otros nodos se unan a la misma.	
Interoperabilidad	Gran potencial para interoperabilidad entre fabricantes.	Propietario.
Direccionamiento	2 capas. Dirección de red (16 bits) y dirección MAC (64 bits).	Solamente dirección MAC (64 bits).
Mantenimiento	Más herramientas disponibles en el mercado.	El direccionamiento es más simple que ayuda a diagnosticar fallos y a configurar una red.

Teniendo en cuenta las características que ofrece los 2 protocolos, se ha seleccionado la tecnología de DigiMesh debido a los siguientes criterios:

- No tiene restricciones en el número de mensajes concurrentes de difusión que se pueden enviar en la red y esto hace confiable las solicitudes y mensajes en toda la red.
- Utiliza un tipo de nodo homogéneo que permite una mayor flexibilidad en la expansión de la red.
- Facilita la configuración y la confiabilidad de la red en entornos donde los routers pueden ir y venir debido a la interferencia.
- Se plantea una solución utilizando sistemas embebidos aplicando el uso de FreeRTOS con comunicación UART de los dispositivos microcontroladores para comunicación con antenas en cada nodo.

La otra parte que compete es la selección del hardware que utilice la tecnología de XBee para transmisión inalámbrica; para esta propuesta la tarjeta electrónica a usar es el modelo XBee PRO S2C (ver Figura 2.2) por las siguientes razones:

- Son módulos que se pueden usar sobre tarjetas electrónicas tipo Arduino (ejemplo: Arduino Uno y Mega), también junto a los módulos shield de XBee y Ethernet, ahorrando conexiones y simplificando espacio.
- Permite enlazar conexiones inalámbricas a gran velocidad con diferentes tipos de dispositivos electrónicos y topologías de conexión.
- Tiene un alcance de transmisión en lugares cerrados de 60m y en lugares abiertos de 1200m en línea recta.
- Cuenta con antenas dipolo que ayuda a no perder la calidad de recepción a causa de señales de otras frecuencias.



Figura 2.2 Módulo XBee PRO S2C [21]

2.2.2 Selección de dispositivos de adquisición de información

Para la adquisición de información de los sensores y controladores que se encuentran en funcionamiento en las 4 zonas/sistemas de interés, primero se analizó la instalación de la tarjeta Arduino Uno (ver Figura 2.3) en la Bodega #34, Grúas de muelle y zona Este de Fertisa por las siguientes razones:

- Es compatible con los módulos XBee PRO S2C para la transmisión inalámbrica.
- Bajo costo de implementación.

- Dispone la cantidad necesaria de puertos digitales y analógicos requeridos en la adquisición de información de las 3 zonas antes mencionadas.

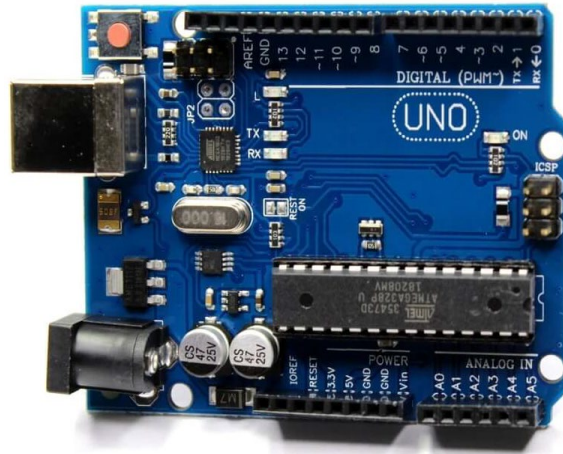


Figura 2.3 Tarjeta electrónica Arduino Uno [22]

Luego, en la zona del Sistema contra incendios se ha contemplado el uso de la tarjeta electrónica Arduino Mega junto al shield Ethernet W5100 debido a:

- El controlador LOGO instalado en el SCI dispone de comunicación Modbus TCP y es compatible para la comunicación con el shield Ethernet W5100.
- Permite conectarse con los módulos de transmisión inalámbrica tipo XBee PRO S2C.
- Cuenta con una alta capacidad de procesamiento de datos (SRAM de 8 Kb) que permitirá concentrar toda la información que recibirá por parte de la red de malla inalámbrica ZigBee y a su vez la información del SCI.
- Dispone de conexión USB, necesario para enlazar la conexión de manera alámbrica con el dispositivo IIoT (Gateway IOT2040).

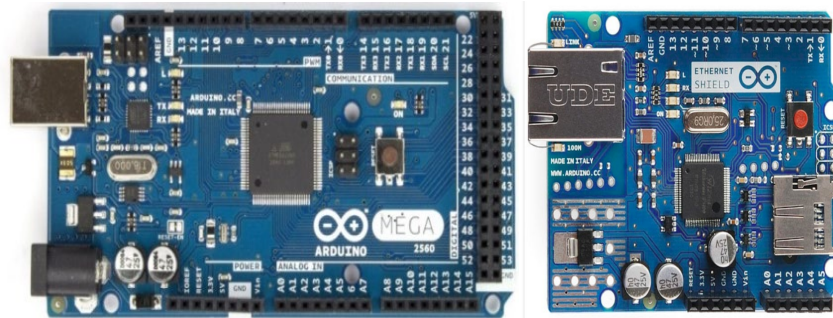


Figura 2.4 Tarjeta electrónica Arduino Mega y shield Ethernet W5100 [23]

2.2.3 Gateway industrial con tecnología del IIoT

Fertisa, que está interesada en su desarrollo industrial mediante el uso de innovaciones y tecnologías que forman parte de la Cuarta revolución industrial (también conocida como Industria 4.0), ha adquirido recientemente el gateway IOT2040 de la marca Siemens, dispositivo con tecnología del internet industrial de las cosas y que actúa como enlace entre los dispositivos electrónicos y un lenguaje común que les permite comunicarse y compartir información.

El gateway IOT2040 en primera instancia permitirá la estandarización de comunicación con el Arduino Mega, dispositivo que concentra la información de los sensores y controladores, para posteriormente digitalizar la información recibida a través de plataformas inteligentes que proporcionen más efectividad y rapidez al aviso de fallas y a la presentación de los datos en SCADA's de acceso local y remoto.

Como características principales del gateway IOT2040 se tiene las siguientes[24]:

- Robustez industrial.
- Memoria 1 GB DDR3 RAM 8 MB FLASH.
- 2 interfaces de comunicación Ethernet 10/100 (RJ45).
- 2 interfaces de comunicación Serial (RS232/422/485).
- 2 interfaces de comunicación Serial (USB tipo A y mini B).

- Placa para expansión de Arduino y PCIe.



Figura 2.5 Gateway IOT2040 de Siemens [25]

El gateway IOT2040 está configurada para recopilar, procesar y enviar datos en lenguajes de alto nivel como: Java, C++, Phython. JSON y plataformas compatibles como: Arduino IDE, Eclipse IDE y Node-RED, esta última plataforma es la única incluida por defecto en el sistema operativo del gateway IOT2040, por lo que se utiliza Node-RED para programar el sistema de gestión de alertas mediante correo electrónico como del SCADA de acceso local.

Finalmente, se eligió Ubidots para el monitoreo remoto de datos porque es una plataforma directamente compatible con Node-RED, que permite la recepción, gestión, almacenamiento y monitorización de datos en la nube mediante el protocolo MQTT, y también porque a diferencia de otras plataformas en la nube (Amazon web services, MindSphere Siemens, etc.) brinda a los estudiantes y a la industria la oportunidad de usarlo de forma gratuita para desarrollar soluciones adecuadas para la tecnología IoT.

2.3 Esquemas del sistema de monitoreo

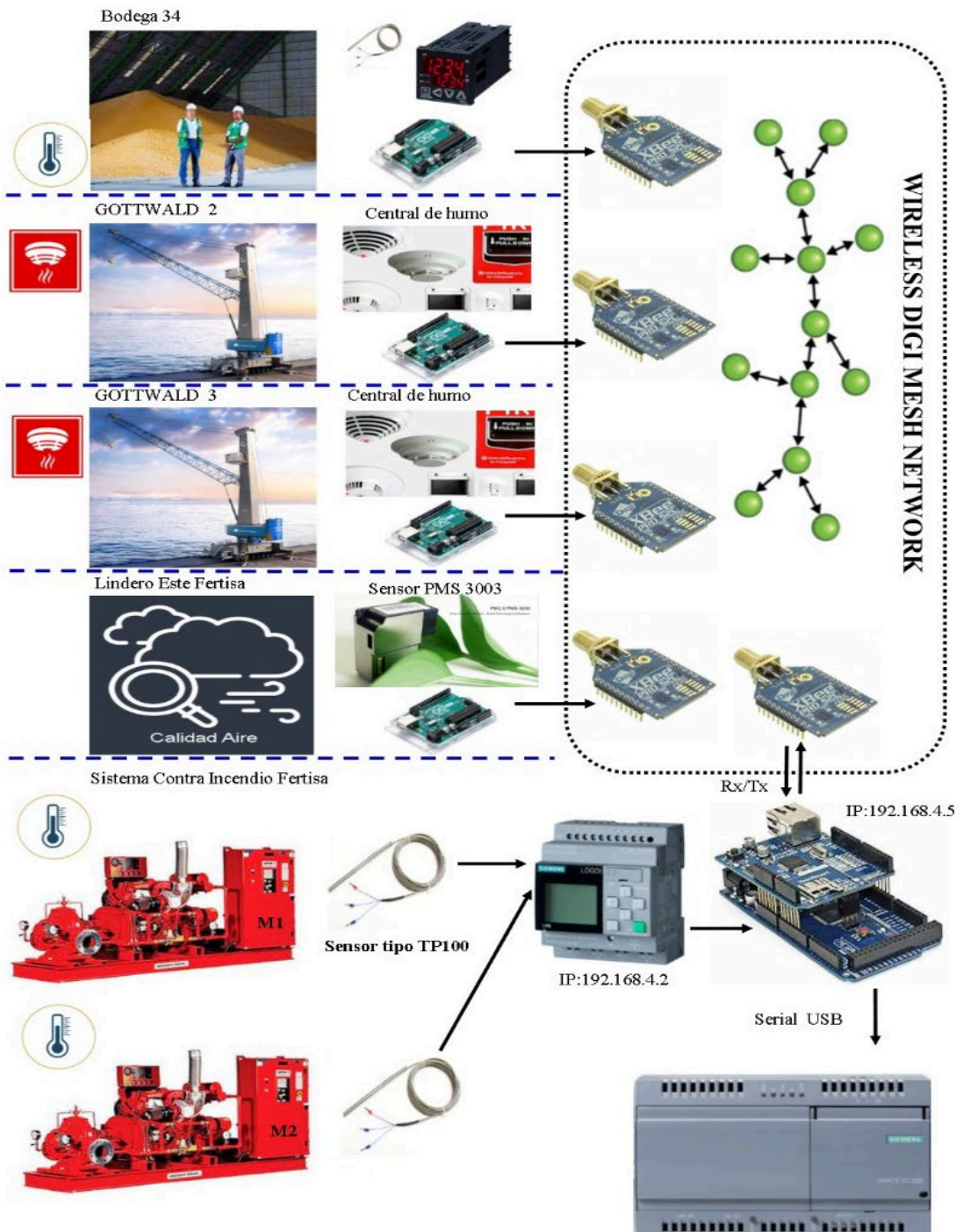


Figura 2.6 Esquema de la red inalámbrica tipo malla basado en DigiMesh

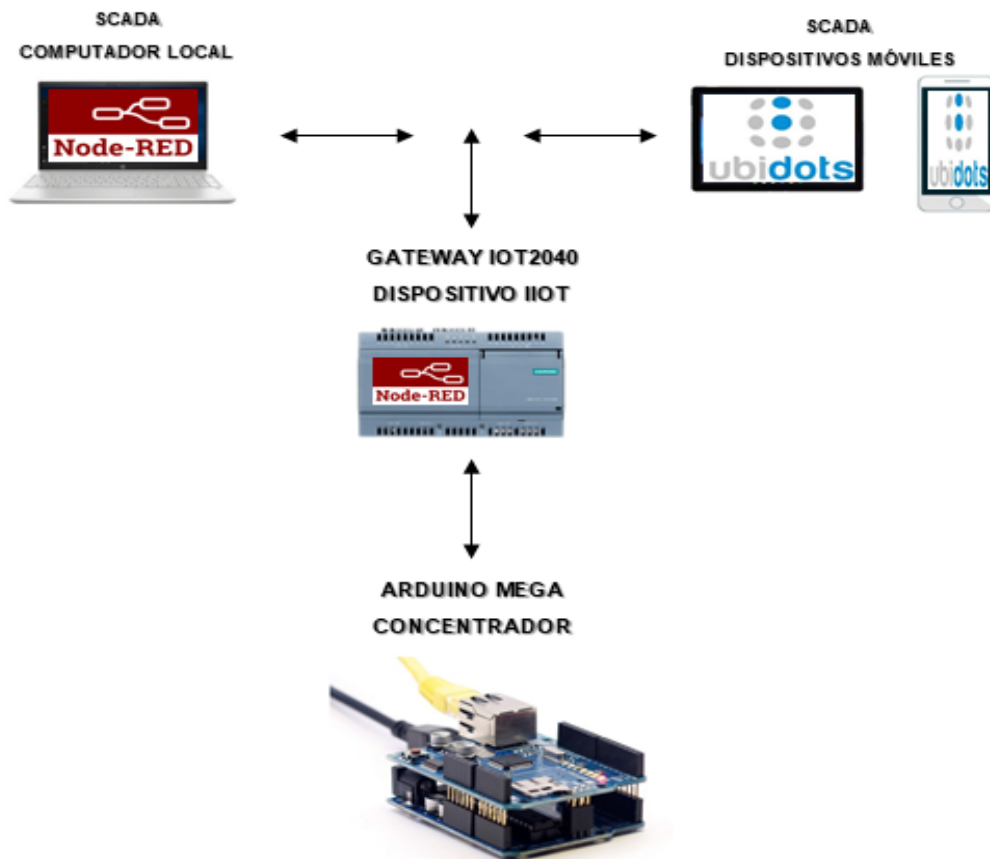
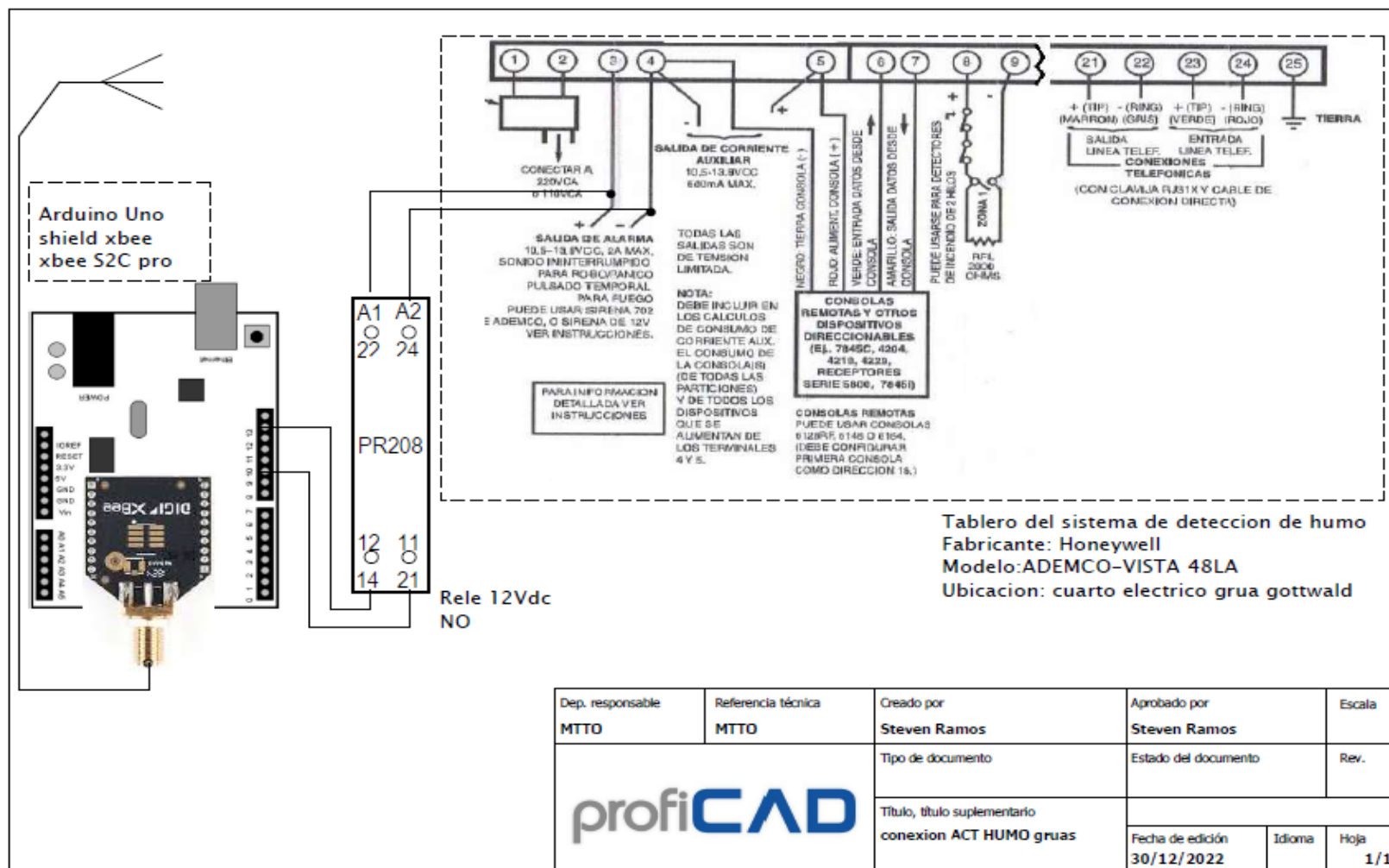


Figura 2.7 Esquema de la red de comunicación basado en arquitectura del IloT

2.4 Conexión eléctrico

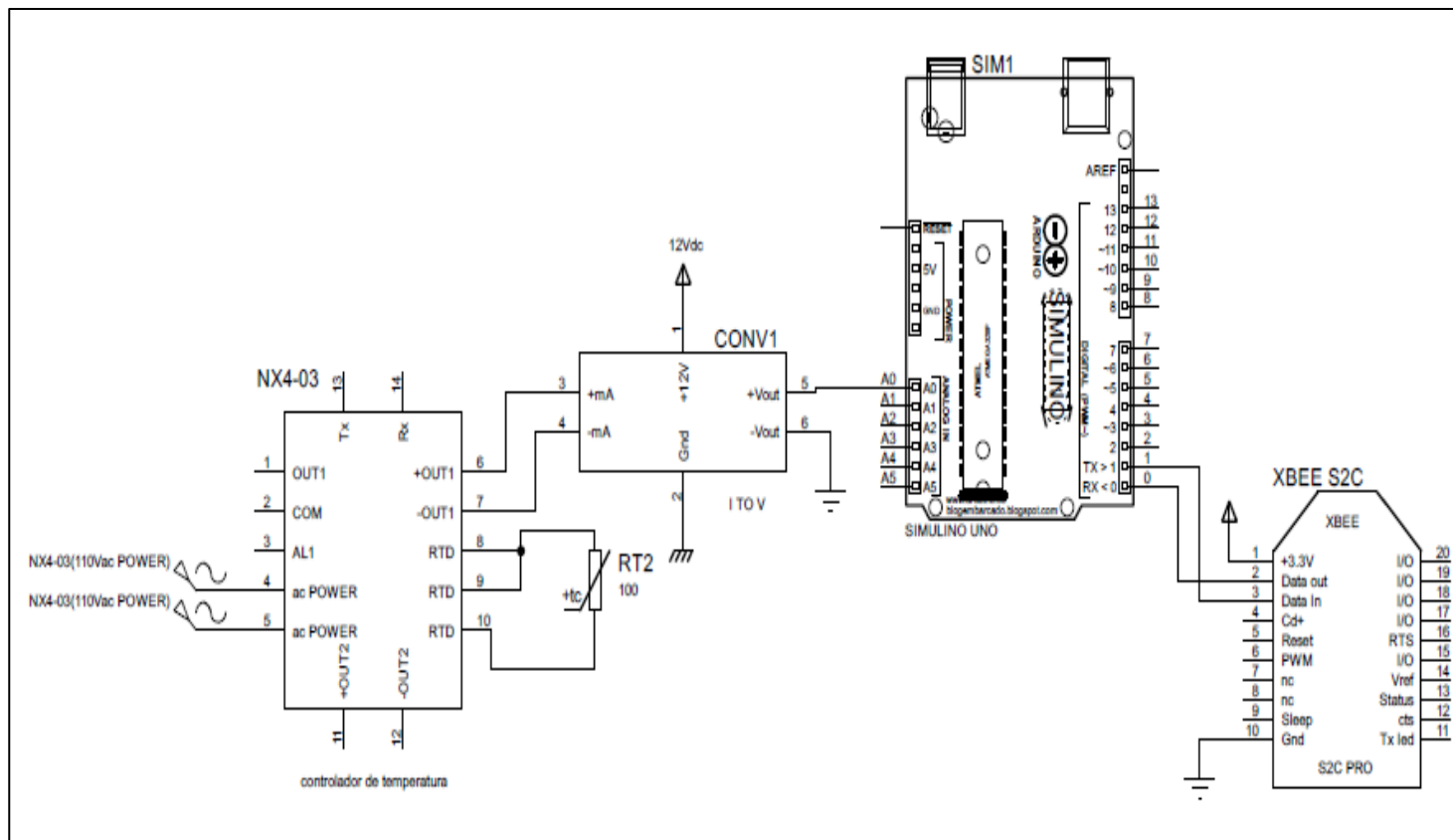
En esta sección se presenta los esquemas de conexión eléctrico de los dispositivos electrónicos que están realizando la adquisición de datos de las 4 zonas y sistemas de interés del Puerto de Fertisa.

En primer lugar, se presenta en el Plano 2 las conexiones eléctricas del hardware para la adquisición del estado de detección de humo de la grúa Gottwald #2, del mismo modo, el conexión eléctrico del Plano 2 se usa para la grúa Gottwald #3 tomando en cuenta los mismos dispositivos electrónicos pero de forma individual para cada grúa.



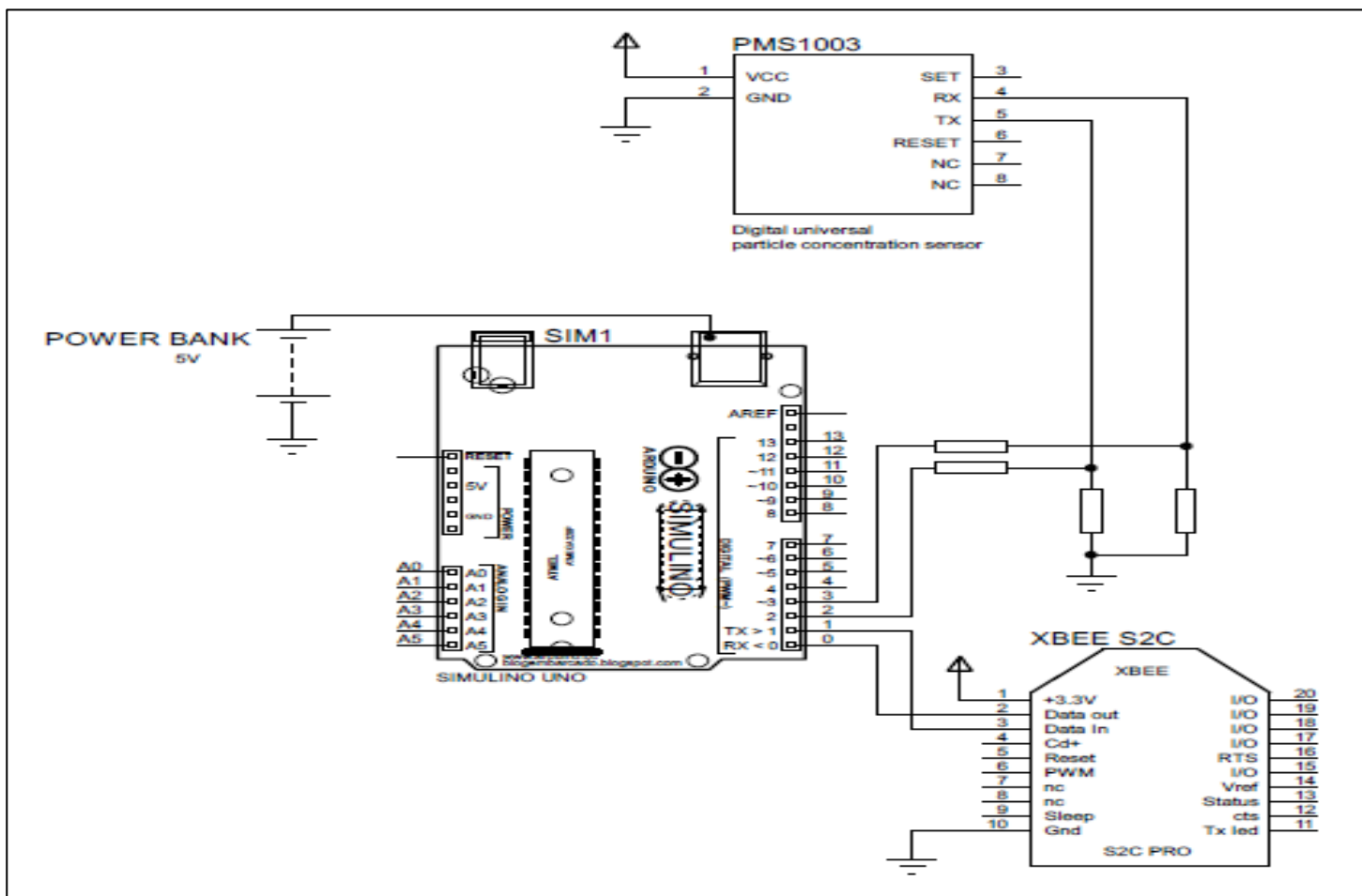
Plano 2 Conexión eléctrica del hardware para la adquisición del estado de detección de humo de Grúa Gottwald #2

Luego, en el Plano 3 se presenta el diagrama de conexiones eléctricas del hardware para la adquisición de la temperatura de la bodega #34.



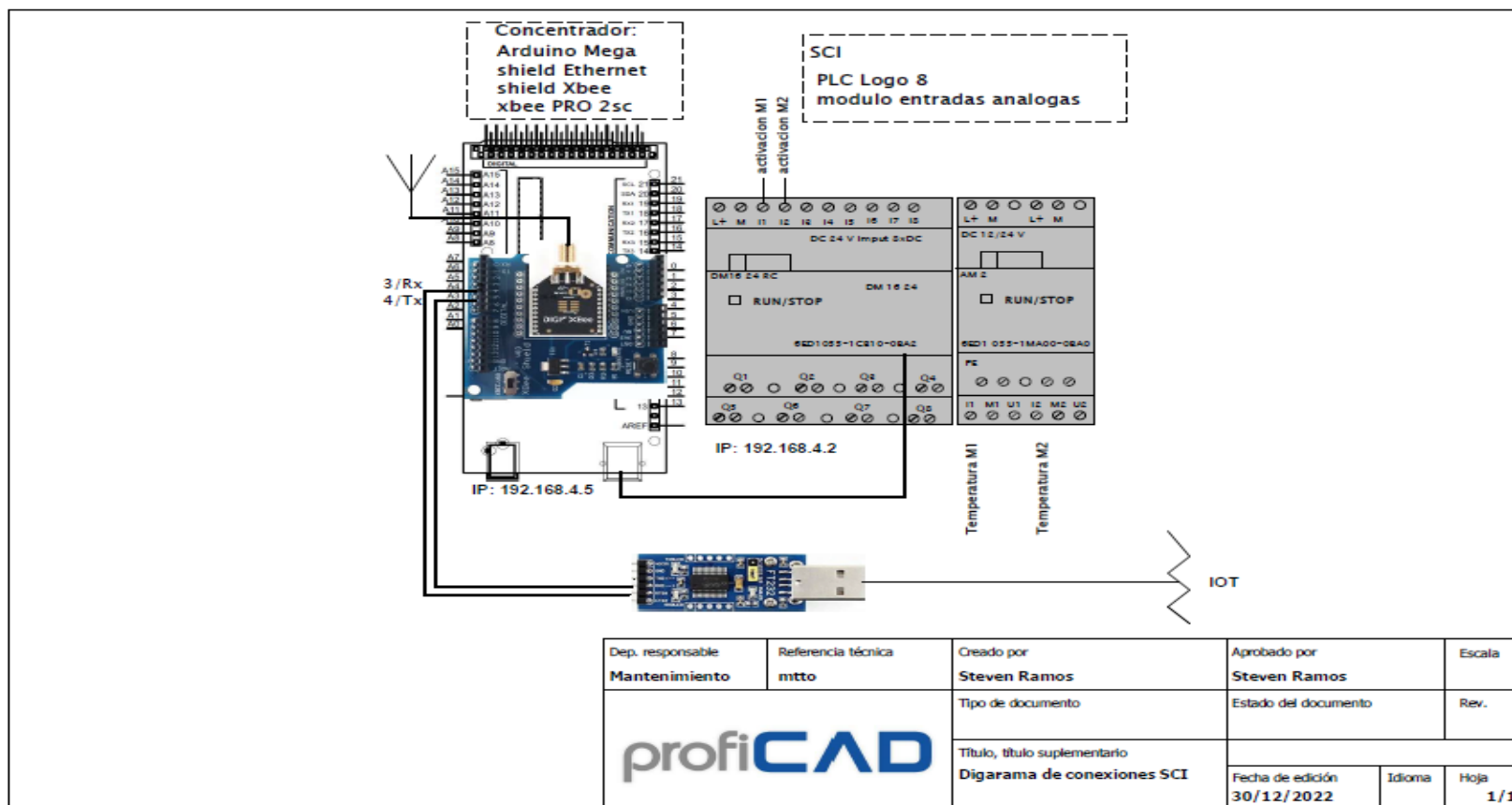
Plano 3 Conexión eléctrica de hardware para la adquisición de temperatura de bodega #34

También, en el Plano 4 se muestra el conexionado eléctrico del hardware para la adquisición de información de polución



Plano 4 Conexión eléctrica de hardware para la adquisición de polución del lado Este de Fertisa

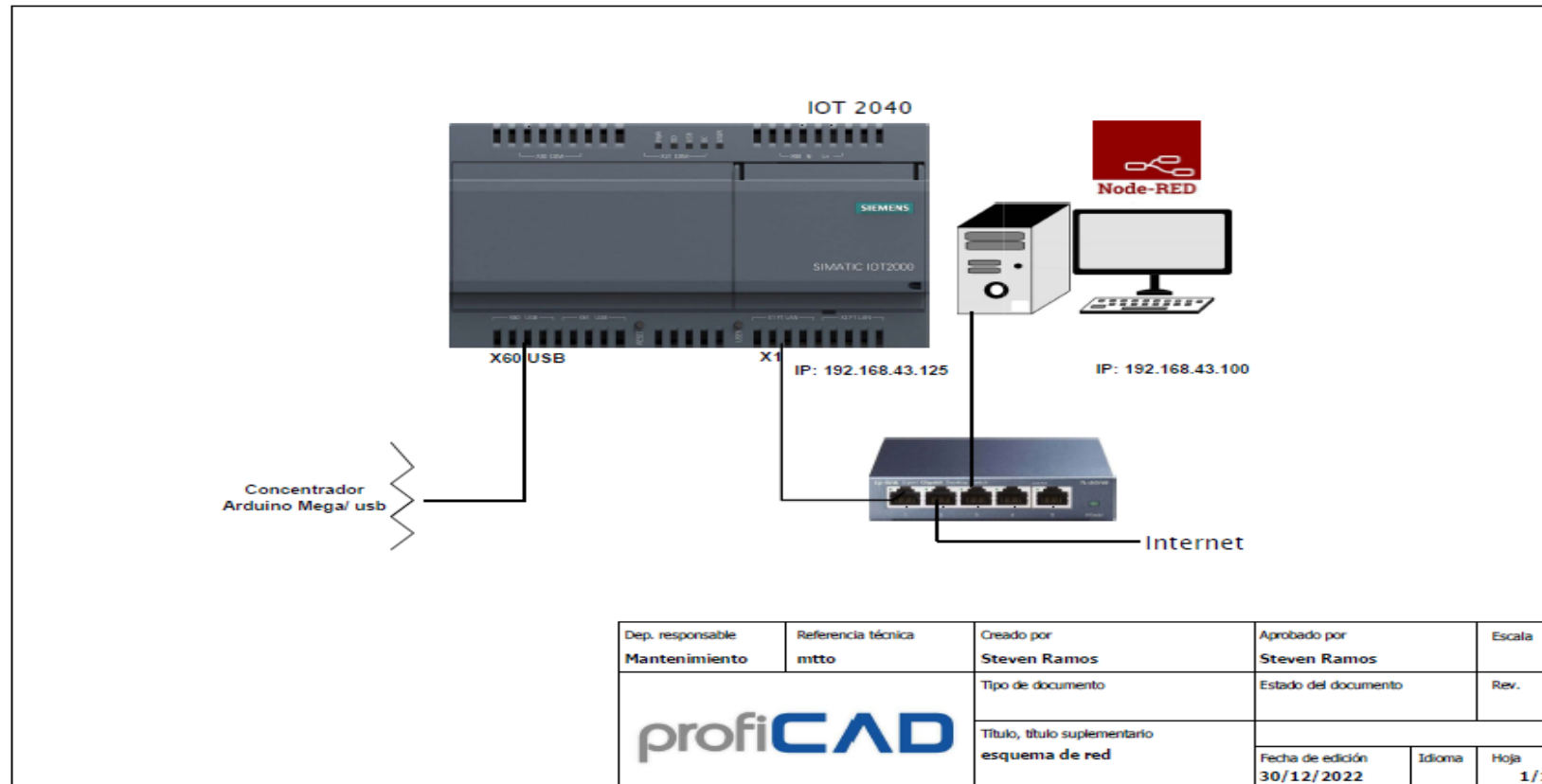
Finalmente, se presenta el Plano 5 el conexionado eléctrico para la adquisición de información de la temperatura y estado de funcionamiento de los motores #1 y #2 del sistema contra incendios.



Plano 5 Conexión eléctrica del hardware para la adquisición de la temperatura y estado de funcionamiento de los motores del SCI

2.5 Esquema de la red de comunicaciones

En el plano 6 se presenta las conexiones para establecer las comunicaciones del sistema de monitoreo basado en arquitectura del IIoT.



Plano 6 Conexión eléctrica del hardware para la comunicación del sistema de monitoreo

2.6 Plataformas de los dispositivos electrónicos

Las plataformas digitales a utilizar en la implementación del sistema de monitoreo han sido seleccionados de acuerdo al software que por defecto usa cada dispositivo electrónico para su funcionamiento o compatibilidad directa.

A continuación, se mencionan las plataformas a utilizar:

- IDE Arduino (Tarjeta Arduino Uno y Mega).
- XCTU (Modulo XBee PRO S2C).
- Node-RED (Gateway IOT2040).
- Ubidots (Gateway IOT2040).

2.6.1 IDE Arduino

El entorno de desarrollo integrado (IDE) es un conjunto de herramientas de programación “Arduino.c” que permite a los programadores desarrollar y escribir código para la placa de desarrollo Arduino. El IDE está empaquetado como un programa de aplicación que incluye un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica y guarda los programas como un solo archivo con la extensión “.ino”[26].



```
sketch_may09a $
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Figura 2.8 Entorno de trabajo de IDE

2.6.2 XCTU

Es una aplicación gratuita multiplataforma, la cual fue diseñada para que los desarrolladores interactúen con los módulos RF de Digi por medio de la interfaz

gráfica, la misma que tiene herramientas fáciles de instalar, configurar y probar los módulos XBee[27].

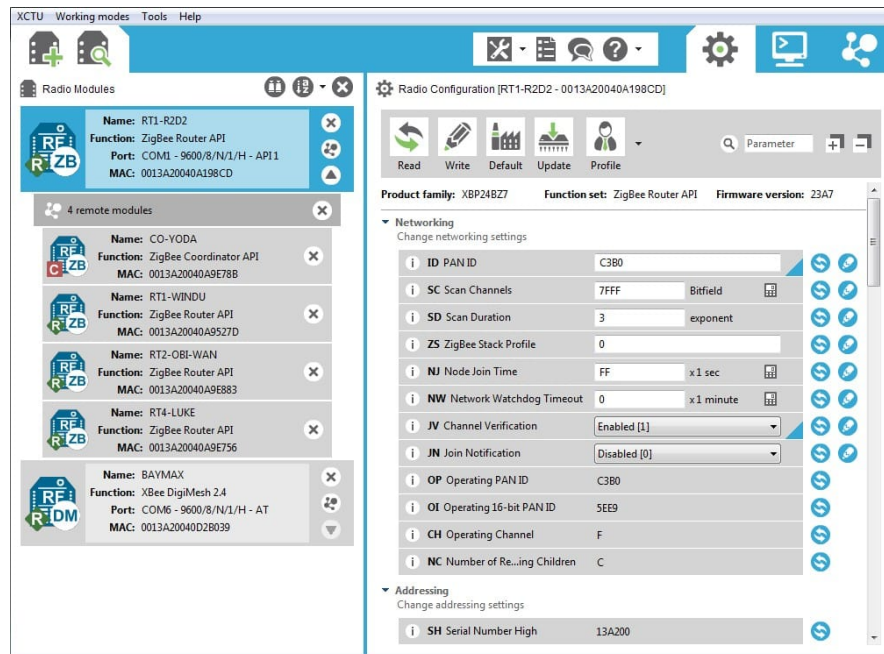


Figura 2.9 Entorno de trabajo de XCTU

2.6.3 Node-RED

Es una plataforma que se utiliza en el internet de las cosas para realizar el enlace de conexión entre los dispositivos electrónicos y las interfaces de programación de aplicaciones (API), por lo tanto, ofrece herramientas de programación de código abierto para trabajar en línea con las plataformas enlazadas con la gestión de los datos en la nube.

Node-RED utiliza un software de colaboración abierta donde cualquier persona tiene acceso a las líneas de programación escritas. La programación de Node-RED que se ha basado en un flujo dentro del espacio de trabajo donde se construye flujos de nodos a partir de la conexión de nodos con funciones ya antes programadas. En la Figura 2.10 se muestra el entorno de Node-RED con sus componentes[28].

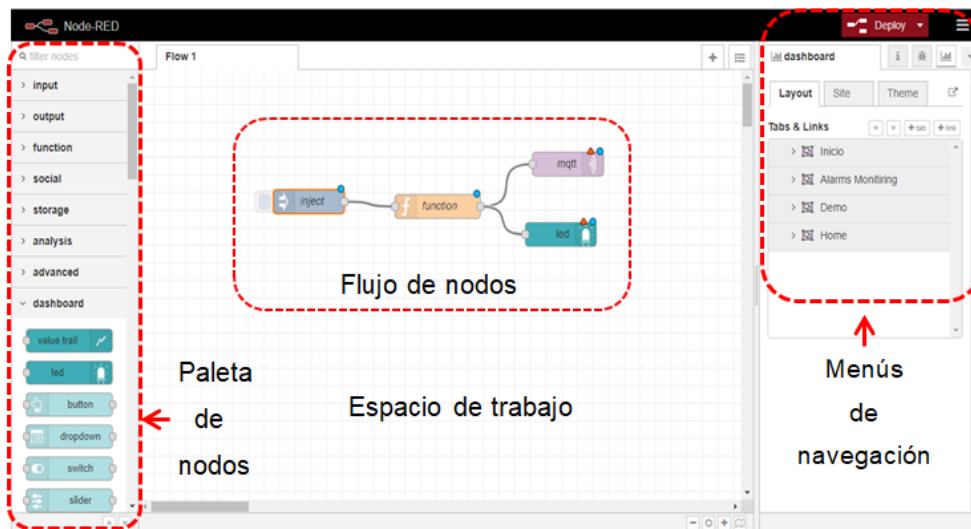


Figura 2.10 Entorno de trabajo de Node-RED

Dentro de los estándares de comunicación más importantes para Node-RED son: Modbus, Ethernet industrial, MQTT, HTTP, etc.

Node-RED tiene 3 categorías de nodos preprogramados que deben arrastrarse desde sus paletas al editor de flujos para ser programados con una conexión y la configuración correspondiente.

- **Nodos de entrada:** recibe información de los servicios locales y externos, los mismos servicios que envían información a los nodos de transición.
- **Nodos de transición:** recibe y procesa datos de los nodos de entrada para luego enviarlos a los nodos de salida.
- **Nodos de salida:** recibe datos de los nodos de transición y los envía a servicios externos o para su visualización.

Node-RED está desarrollado con un modelo de la comunidad de código abierto que permite agregar nodos a su repositorio gratuito de GitHub donde los usuarios pueden descargar a sus paletas.

2.6.4 Ubidots

Como se mencionó anteriormente, Ubidots ha sido seleccionada por ser una plataforma que ofrece una licencia gratuita para proyectos académicos, comparado con otras plataformas de la nube que el paquete más básico tiene un precio alrededor de los \$30 por mes; y dado que este proyecto no enviará una gran cantidad de datos hacia la nube, la capacidad de la licencia gratuita de Ubidots es suficiente para su implementación.

También, su selección ha sido debido a que la plataforma de Node-RED se encuentra dentro del ecosistema de socios de Ubidots para la gestión de dispositivos y conectividad directa a través del node “mqtt” de Node-RED.

En definitiva, Ubidots es una plataforma a través de la cual se gestionan y almacenan en la nube los datos recopilados por los controladores electrónicos, además de presentar los datos en línea a través de un SCADA remoto[29].



Figura 2.11 Estructura de la plataforma Ubidots [29]

2.7 Montaje de dispositivos electrónicos

2.7.1 Montaje de módulo XBee PRO S2C en CEMFER-SCI

El sistema contra incendios “SCI” cuenta con un radio enlace a CEMFER mediante antena WiFi de modelo Ubiquiti mediante conexión punto a punto previamente desarrollado por el departamento de ingeniería.

En el cuarto de bombas se tiene instalado sensores de temperatura tipo RTD desde cada uno de los dos motores al controlador PLC LOGO y en el otro extremo de la conexión está ubicado otro PLC LOGO para aviso de encendido.



Figura 2.12 RTD instalado en bomba del SCI

Debido a esto se está utilizando la conectividad previa y se están extrayendo los datos de la temperatura y activación del motor #1 y #2 desde el PLC LOGO.



Figura 2.13 PLC LOGO instalado en tablero eléctrico del SCI

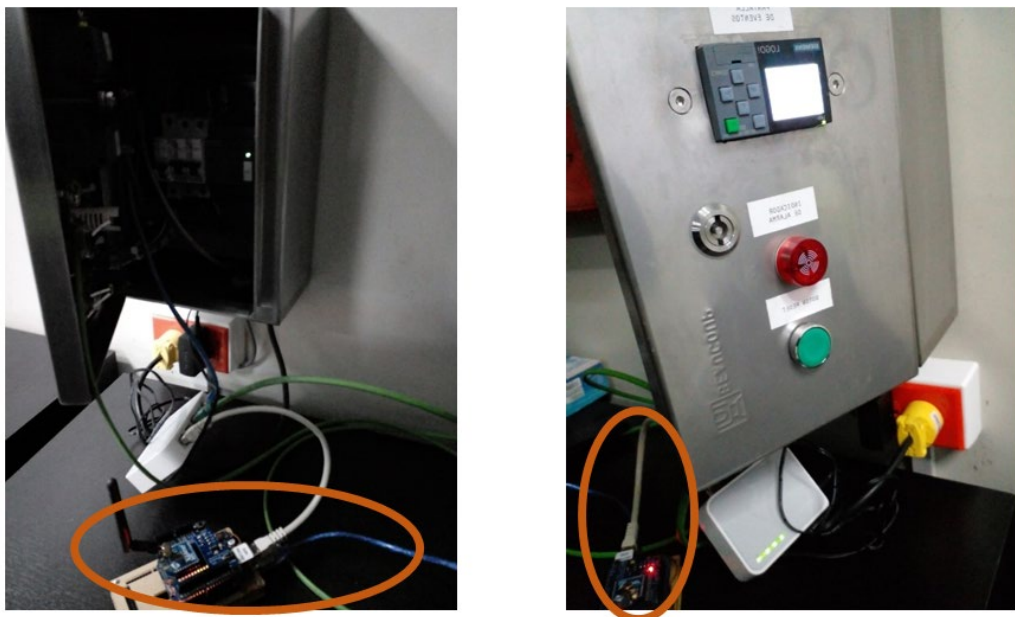


Figura 2.14 Instalación de módulo XBee PRO S2C en tablero eléctrico del SCI

2.7.2 Montaje de módulo XBee PRO S2C en Bodega #34

Para tener una temperatura relativa se instaló previamente un controlador de tipo NX4-03 al interior de la bodega junto a la puerta de acceso.



Figura 2.15 Controlador de temperatura NX4-03 [30]

Este controlador junto a un sensor tipo RTD está presentando la temperatura del área alrededor del tablero eléctrico.

En la Figura 2.16, se muestra el módulo XBee S2C instalado en el tablero eléctrico de la Bodega #34.

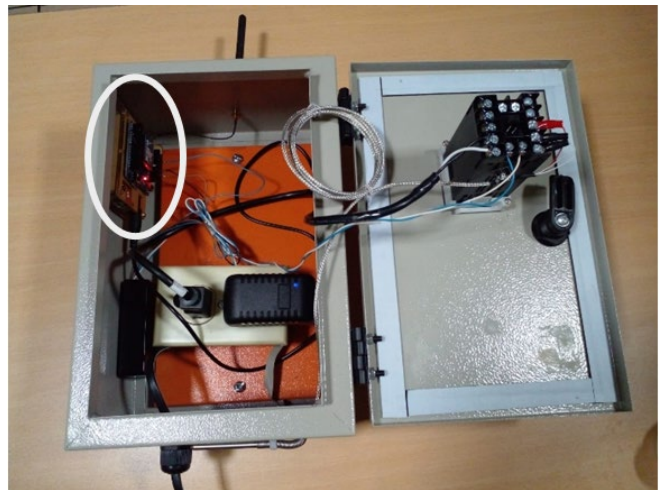


Figura 2.16 Instalación de módulo XBee S2C en tablero eléctrico de Bodega #34

2.7.3 Montaje de módulo XBee PRO S2C en Grúa Gottwald #2

En la grúa Gottwald #2 cuenta con un sistema de detección de humo de la marca Honeywell, dicho sistema es cerrado y cubre el área de la grúa únicamente.

La instalación del módulo XBee S2C se lo realizó junto al tablero eléctrico de la grúa Gottwald #2 como se muestra en la Figura 2.17.

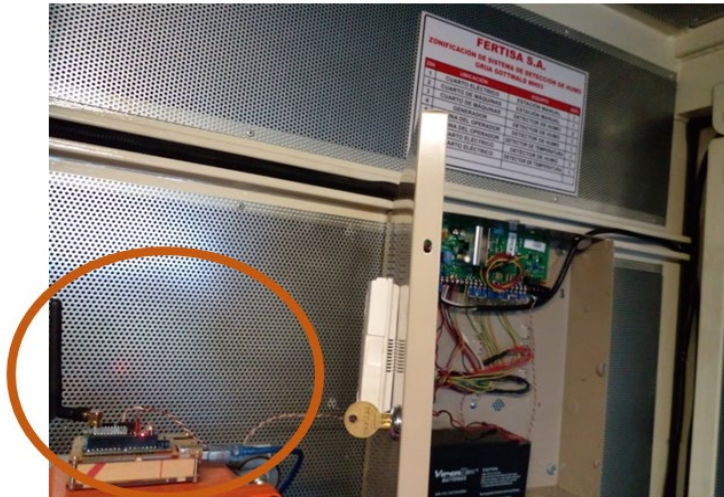


Figura 2.17 Instalación de módulo XBee S2C en grúa Gottwald #2

2.7.4 Montaje de módulo XBee PRO S2C en Grúa Gottwald #3

De similar forma a la grúa anterior, la grúa Gottwald #3 también dispone de un sistema de detección de humo de marca Honeywell instalado en un tablero ubicado en el cuarto eléctrico. En la Figura 2.18 se muestra el módulo XBee PRO S2C instalado junto al tablero eléctrico.

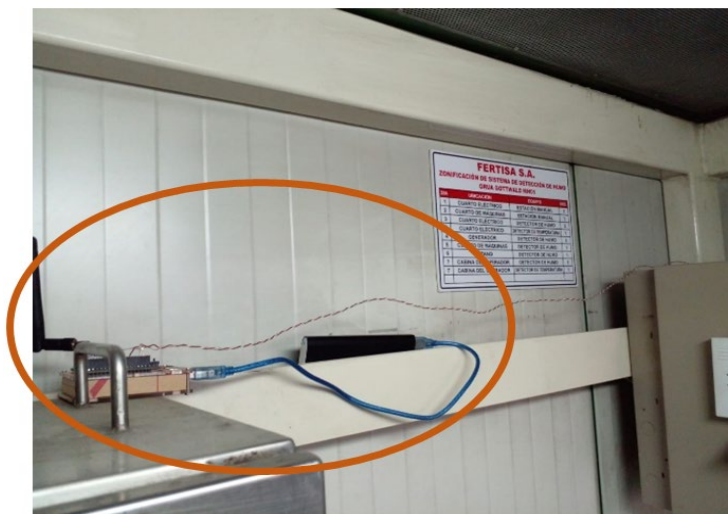


Figura 2.18 Instalación de módulo XBee S2C en Grúa Gottwald #3

2.7.5 Montaje de módulo XBee PRO S2C en zona Este de Fertisa

Para el monitoreo de la calidad de aire en la zona Este de Fertisa se implementó un sensor de calidad de aire PMS3003.

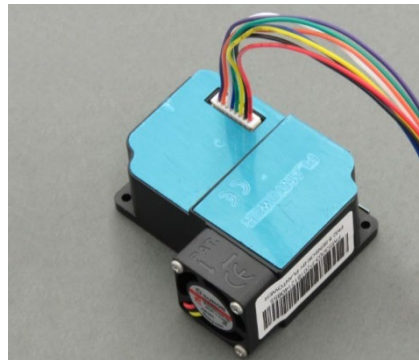


Figura 2.19 Sensor PMS3003 [31]

En la Figura 2.20 se muestra la instalación del sensor de polución PMS3003 junto al módulo XBee PRO S2C.



Figura 2.20 Instalación de módulo XBee S2C en zona Este de Fertisa

2.7.6 Montaje del gateway IOT2040 en CEMFER-SCI

Finalmente, se realiza el montaje del gateway IOT2040 con el conexionado para establecer la comunicación serial con el concentrador de la información, la tarjeta electrónica Arduino MEGA.

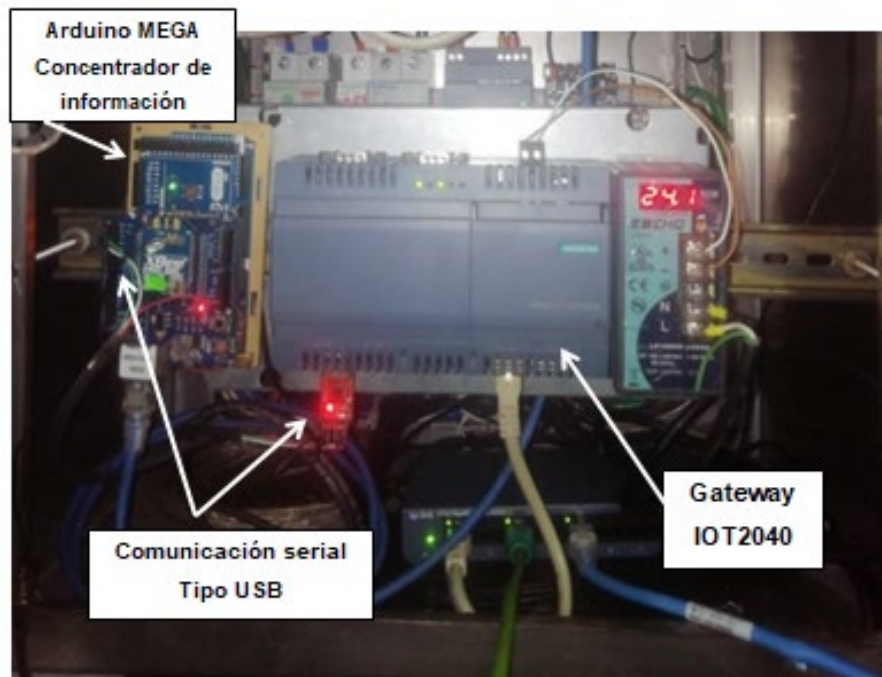


Figura 2.21 Instalación del Gateway IOT2040 en CEMFER-SCI

2.8 Diseño y programación del sistema de monitoreo

En esta sección se detallan los flujogramas y cierta parte de la programación utilizada en la lógica de funcionamiento del sistema de monitoreo. Teniendo en cuenta que, la programación se realizó respectivamente con los softwares de cada dispositivo electrónico, así también usando su lenguaje de programación correspondiente.

2.8.1 Definición de tramas de comunicación

Para la adquisición de las variables de interés se realiza mediante el funcionamiento en conjunto de las tarjetas electrónicas Arduino y módulos XBee, y con ello realizar la transmisión inalámbrica de los datos de los sensores.

Cabe mencionar que se implementarán dos tipos de tramas de comunicación, una trama entre el módulo XBee PRO S2C (concentrador) y los módulos XBee PRO S2C (nodos), y otra entre el módulo XBee PRO S2C (concentrador) y el gateway IOT2040.

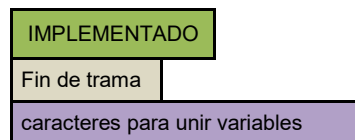
2.8.1.1 Trama de comunicación entre concentrador - nodos

Se ha definido una trama de comunicación para que el concentrador realice la consulta y los demás nodos respondan si y solo si la consulta lleva la dirección del nodo cuestionado.

Las consideraciones de la trama entre los módulos XBee PRO S2C como concentrador y nodos junto con la tarjeta electrónica Arduino Mega y Uno respectivamente, se muestra a continuación:

- El concentrador consulta con el ID del nodo de interés, ejemplo: #2R0@ tal que ID=2.
- La trama está planteada en miras a la escalabilidad; tres datos analógicos y uno digital, separados por caracteres a,b,c,d.
- El carácter de fin de trama es “@”.

Tabla 5.4 Trama de comunicación entre concentrador – nodos



Equipo	start byte	id	nodo		Variable 1		Variable 2		Variable 3		Variable 4	
BODEGA 34	#	0X31	1	a	Temperatura	b	ESPACIO	c	ESPACIO	d	ESPACIO	@
Sistema contra incendios	#	0X32	2	a	Temperatura Motor #1	b	Temperatura Motor #2	c	Estado de Encendido Motor #1	d	Estado de Encendido Motor #2	@
Grúa Gottwald #2	#	0X33	3	a	Estado de Activación Detector de humo Grúa Gottwald #2	b	ESPACIO	c	ESPACIO	d	ESPACIO	@
Grúa Gottwald #3	#	0X34	4	a	Estado de Activación Detector de humo Grúa Gottwald #3	b	ESPACIO	c	ESPACIO	d	ESPACIO	@
Lado Este Fertisa	#	0X35	5	a	Polución	b	ESPACIO	c	ESPACIO	d	ESPACIO	@

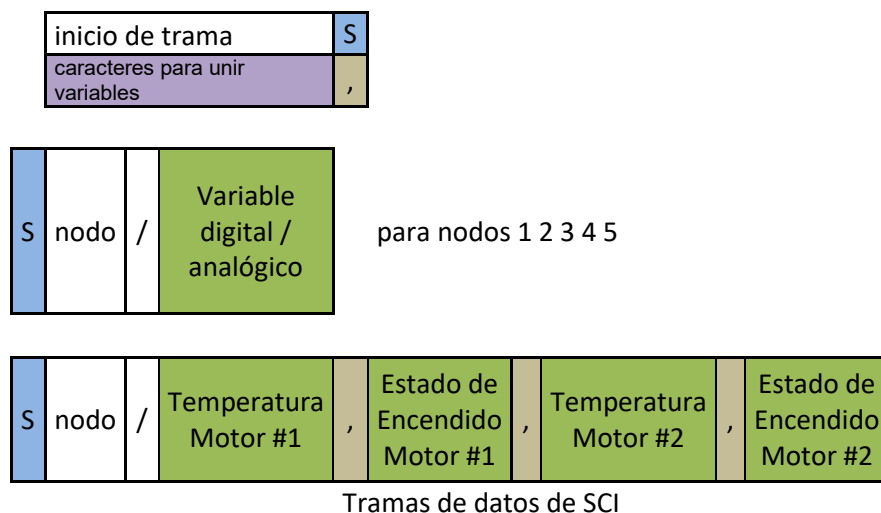
2.8.1.2 Trama de comunicación entre concentrador – gateway IOT2040

Se ha definido una trama de comunicación para que el concentrador realice el envío de hacia el gateway IOT2040 mediante comunicación serial tipo USB.

La trama de datos que se envía hacia el gateway IOT2040 tiene únicamente los datos de variables definidas en el alcance del proyecto y separado por comas y no tiene fin de trama.

A continuación, en la tabla se presenta un ejemplo de la estructura de la trama de datos del sistema contra incendios.

Tabla 6.5 Trama de comunicación entre concentrador – gateway IOT2040



Una vez presentadas las tramas de comunicación a enviar se prosigue con los flujogramas de la red inalámbrica tipo malla.

2.8.2 Flujograma de la red inalámbrica tipo malla basado en DigiMesh

Flujograma para los microcontroladores del sistema embebido para la consulta a nodos de la red de sensores y del propio concentrador que extrae la data del PLC LOGO del SCI.

El flujograma del concentrador es una aplicación sencilla de un sistema embebido, en la cual hay 4 tareas definidas: recepción de trama de datos / validación de trama e impresión por UART asignada para el gateway IOT2040.

Flujograma del concentrador

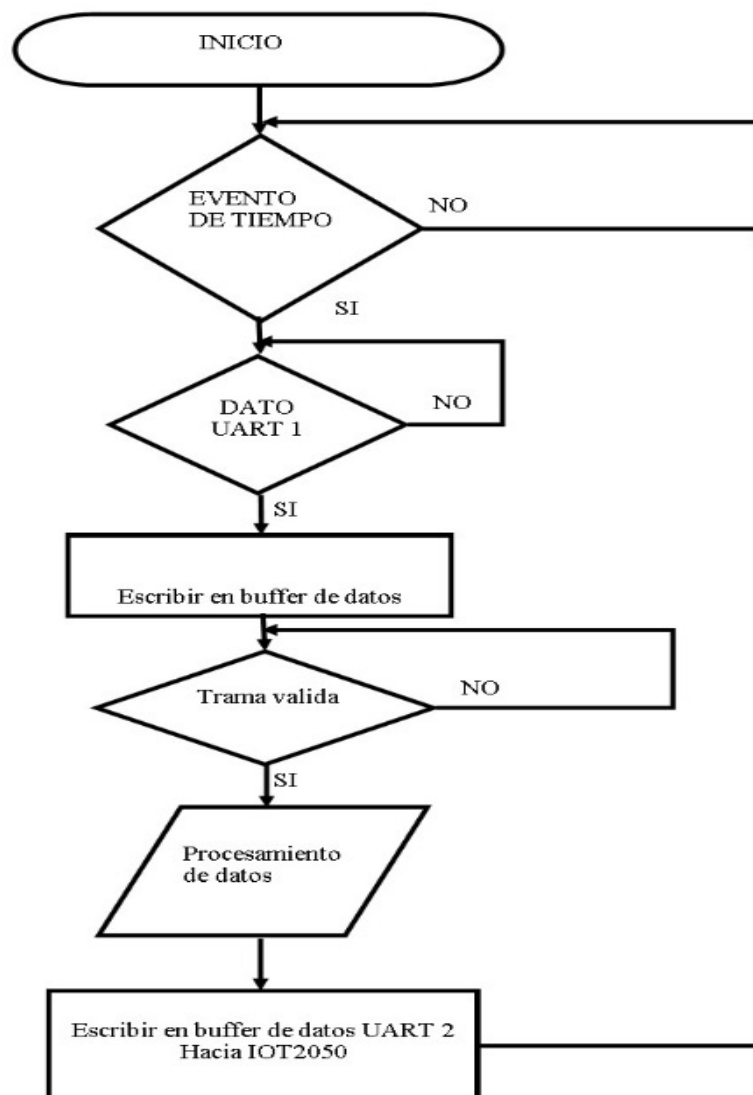


Figura 2.22 Flujograma del concentrador

```

}

//Envío de trama hacia IOT
mySerial.write('S');//inicio
mySerial.write(TramaOUT[2]);
mySerial.write("/");//inicio
if(TramaOUT[2]=='3' || TramaOUT[2]=='4')//nodos 3 y 4 correspondiente a grua gottwald
{
  if(TramaOUT[16]=='F') //UN SOLO BYTE //AVISO DIGITAL
    mySerial.write('0');
  else if(TramaOUT[16]=='N')
    mySerial.write('1');
}
if(TramaOUT[2]=='1' ||TramaOUT[2]=='5') //nodos 3 y 4 correspondiente a nodos de PM y temperatura de bodega
{
  for(k=4;k<9;k+=1) //5 BYTE// VALOR ANALOGICO
    mySerial.write(TramaOUT[k]);
}
mySerial.println();
}
estado=0;

```

Figura 2.23 Envió de datos desde el concentrador hacia el IIoT

Flujograma para realizar consulta de estado de nodos

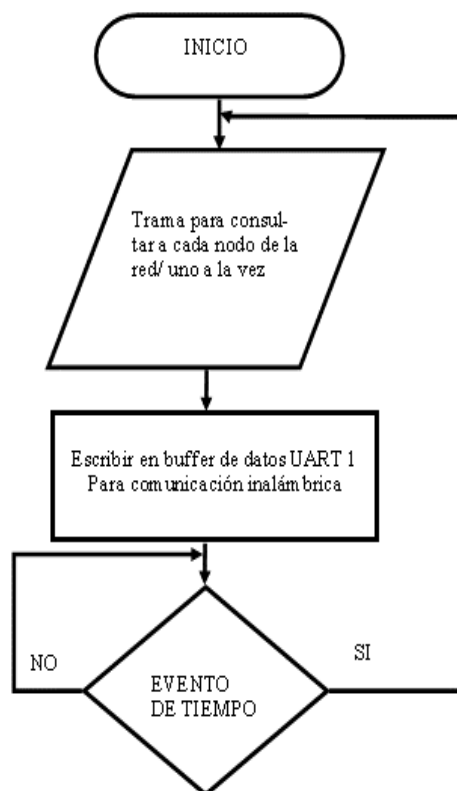


Figura 2.24 Flujograma para validación de nodos

```

Concentrador
}
void TaskASKnodeXbee(void *pvParameters) // This is a task.
{
while (1)
{ // #1R0@
for (nodo=1;nodo<6;nodo++)
{
Serial.write(0x23); // inicio
Serial.print(nodo); // ID nodo
Serial.write(0x52); // tarea
Serial.write(0x30); // 0
Serial.write(0x40); // @ checksum
Serial.println();
if (nodo==2)
vTaskResume(TaskPrintSCI_Handler);
Serial.flush();
vTaskDelay(2000/portTICK_PERIOD_MS); // cada 2 segundo
}
}
}
void TaskLogModbusReadSCI(void *pvParameters) // This is a Main task.
<

```

Figura 2.25 Tarea para consulta de nodos en la red inalámbrica

Flujograma para leer datos de dos valores analógicos y dos digitales del PLC LOGO del SCI mediante Modbus

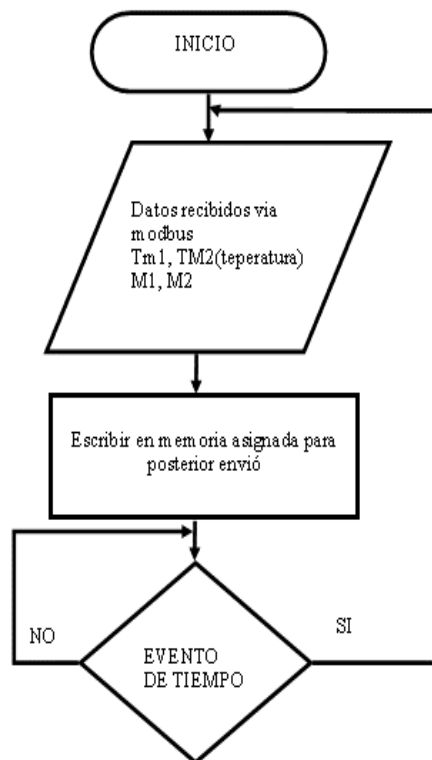


Figura 2.26 Flujograma de temperatura y activación de motores del SCI

```

Concentrador
}
}
void TaskLogoModbusReadSCI(void *pvParameters) // This is a Main task.
{
  for (;;)
  {
    Mb.MbsRun();
    M1=Mb.GetBit(Coil_7); //red NQ7
    M2=Mb.GetBit(Coil_8); //red NQ8
    Tm1=Mb.MbData[512]; //HR513
    Tm2=Mb.MbData[513]; //HR514
    vTaskDelay( 200 / portTICK_PERIOD_MS );
  }
}

void TaskSendDataSCItoIOT(void *pvParameters) // This is a Main task.
{
  for (;;) //Envio de trama con datos recibidos via modbus
  {
    mySerial.write("S2/");//inicio
    mySerial.print(Tm1);//Temperatura motor 1
  }
}

```

Figura 2.27 Leer datos mediante protocolo Modbus del PLC LOGO del SCI

Flujograma para enviar trama por UART asignada para IOT2040 de las variables del SCI

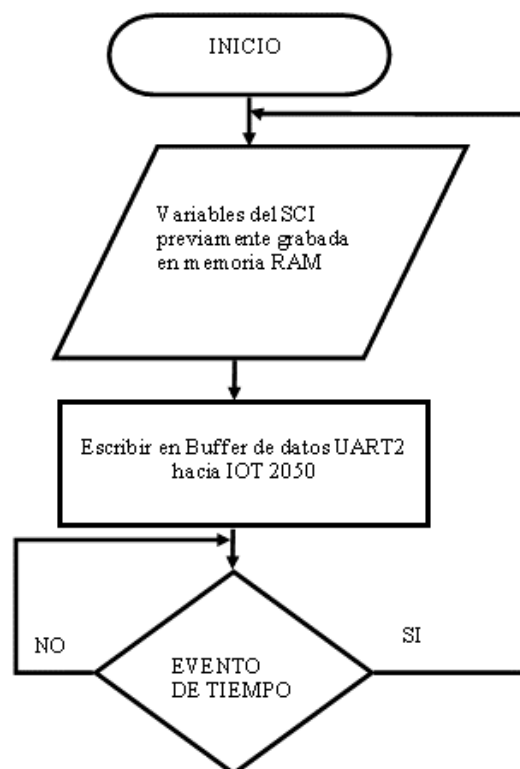


Figura 2.28 Flujograma para envío de la trama al IOT2040

2.8.3 Flujograma de la red de comunicación basado en arquitectura del IIoT

Para la presentación del flujograma de la red de comunicación basado en arquitectura del IIoT se vio necesario estructurarla por etapas para un mejor entendimiento y presentación de las mismas.

Las 5 etapas que la conforman son:

1. Etapa de comunicación y recolección de las tramas de datos.
2. Etapa de procesamiento de datos.
3. Etapa de alertas por correo electrónico.
4. Etapa de envío de datos al SCADA de acceso local en Node-RED.
5. Etapa de envío de datos al SCADA de acceso remoto en Ubidots.

Flujograma de la etapa de comunicación y recolección de las tramas de datos

El algoritmo considerado es esta etapa es el siguiente:

1. Establecer la comunicación por protocolo serial entre el Arduino Mega y el gateway IOT2040, mediante la configuración del nodo de entrada “serial in” en Node-RED y también de la conexión de manera alámbrica entre los 2 dispositivos.
2. El nodo “serial in” recibe la trama de datos enviados por el puerto USB del Arduino Mega.

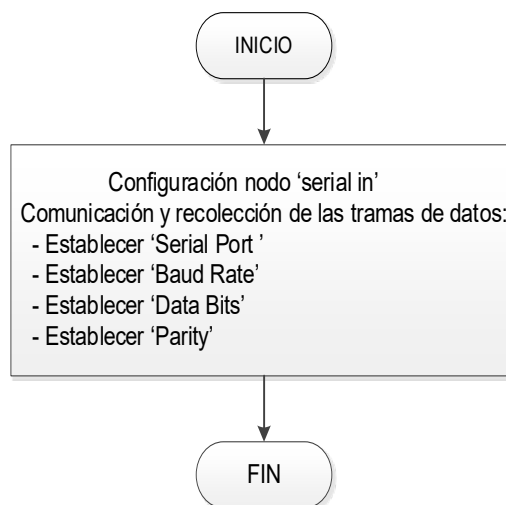


Figura 2.29 Diagrama de flujo para la comunicación y recolección de las tramas de datos

La Figura 2.30 muestra el inicio de la programación en Node-RED según el diagrama de flujo de esta sección. Cabe recordar que la programación en Node-RED se basa en la estrategia de programación de flujo de nodos.

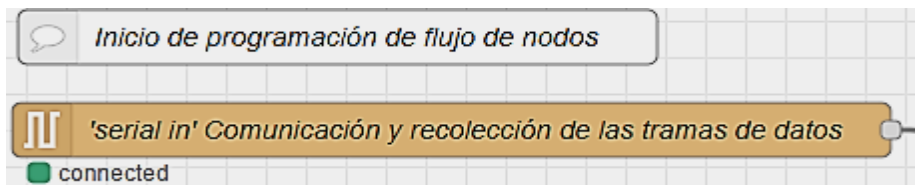


Figura 2.30 Flujo de nodo para la comunicación y recolección de las tramas de datos

Flujograma de la etapa de procesamiento de datos

La segunda etapa corresponde al procesamiento de la información recibida por el nodo "serial in", con la finalidad de identificar el valor numérico contenido en cada trama de datos recibida en el gateway IOT2040.

El algoritmo que se consideró para el procesamiento de datos fue el siguiente:

1. La información que recibe el nodo "serial in" se la dirige a través del nodo "switch" por 5 salidas distintas de acuerdo a los identificadores o cabeceras que han sido establecidas previamente ("S1/", "S2/", "S3/", "S4/", "S5/").
2. La trama de datos ingresa al nodo "split" y separa la trama de datos en dos partes, la primera parte contiene el identificador y la segunda parte contiene los datos de las variables separados cada valor con una coma.
3. Obtenidos los valores separados de cada trama de datos estos ingresan al nodo "change" para ser convertido de un carácter tipo string a un carácter del tipo numérico.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del procesamiento de datos para la trama con identificador "S1/" y "S2/".

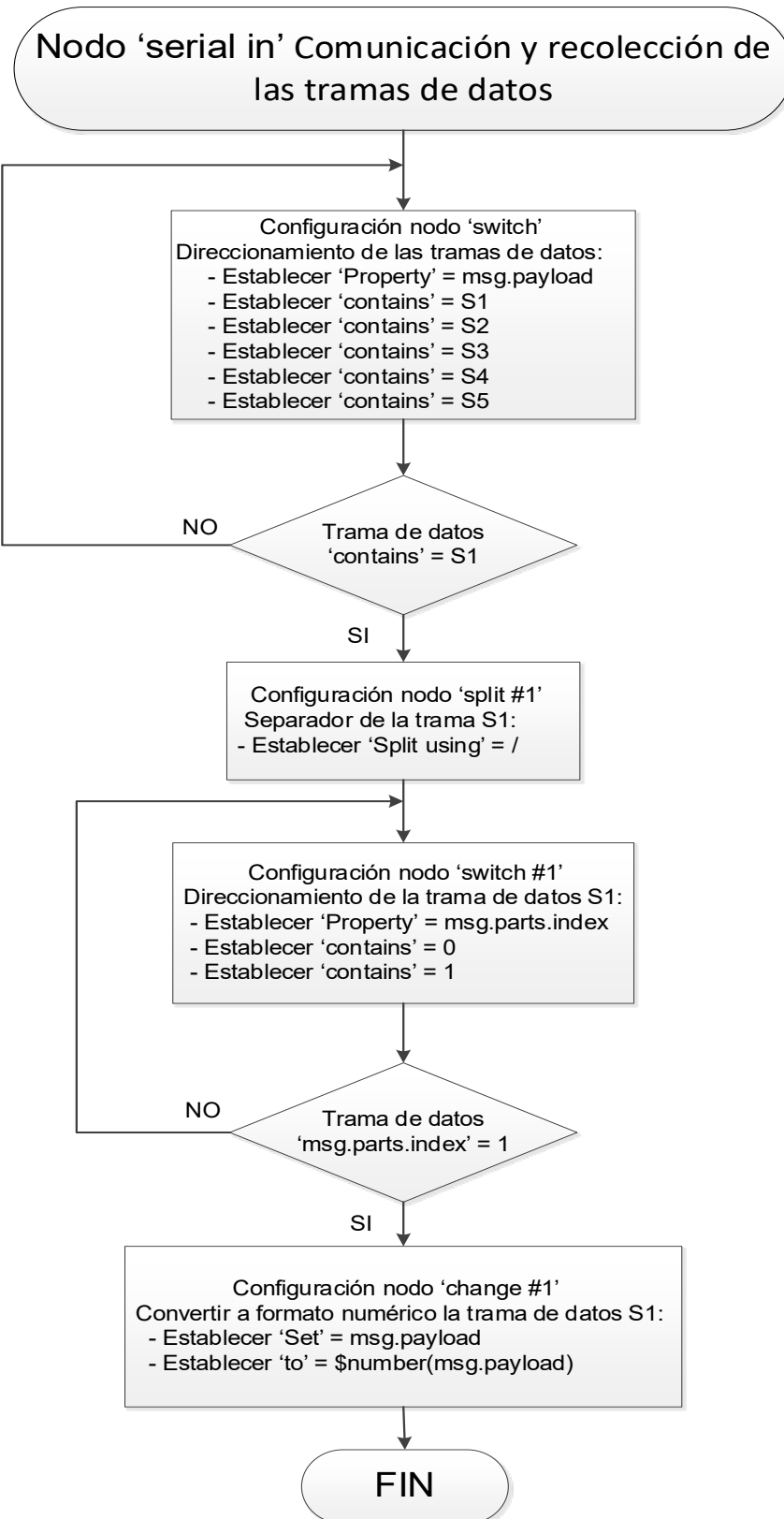


Figura 2.31 Diagrama de flujo para el procesamiento de datos de la trama de datos con identificador "S1"

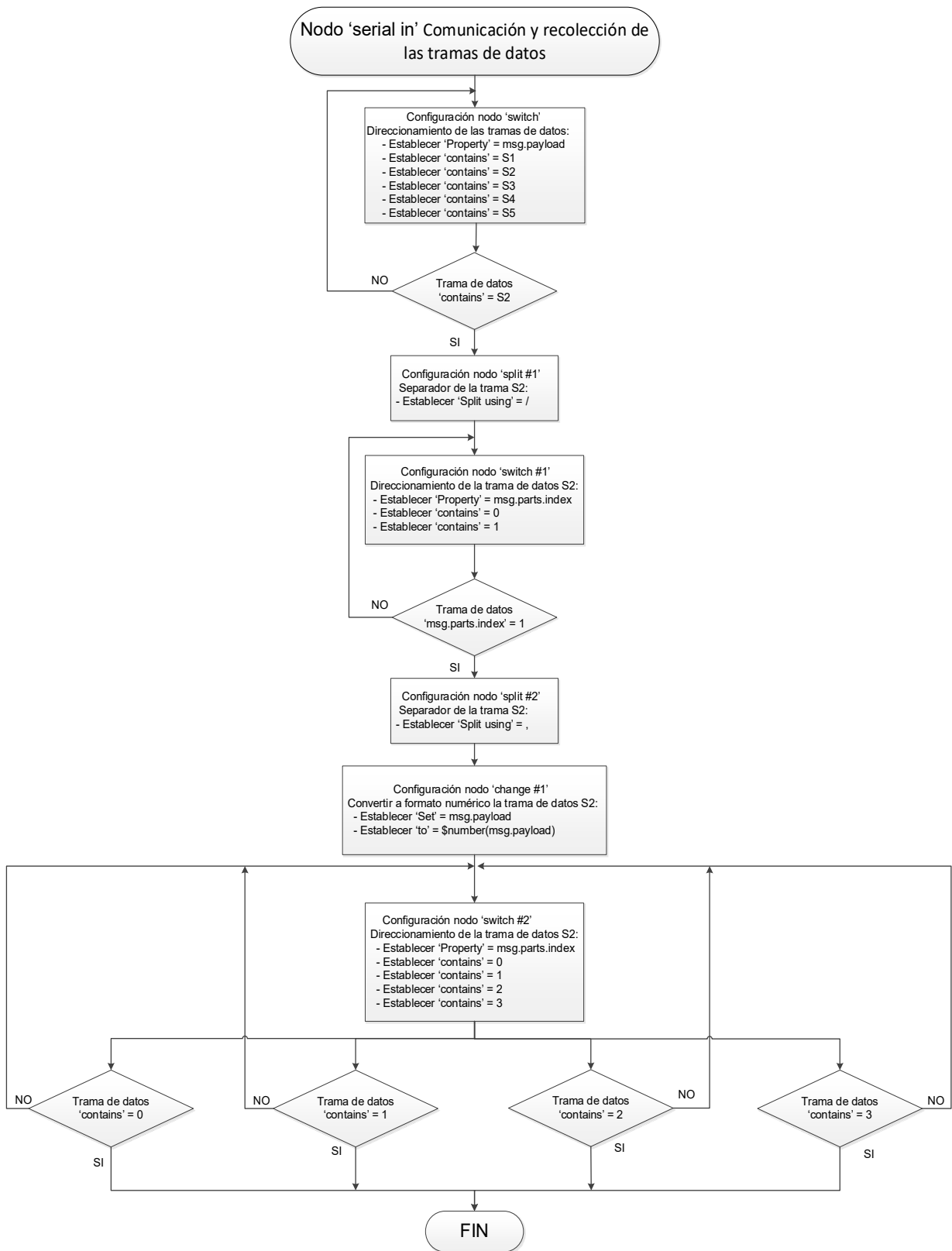


Figura 2.32 Diagrama de flujo para el procesamiento de datos de la trama de datos con identificador “S2/”

De manera similar al diagrama de flujo del procesamiento de datos de la trama con identificador “S1/” ocurre para las tramas con identificador “S3/”, “S4/” y “S5/”, teniendo su diferencia solo en comparación de que identificador contiene la trama de datos recibida.

La Figura 2.33 muestra los flujos de nodos programados en la etapa de procesamiento de datos de acuerdo con los diagramas de flujo presentados en esta sección, cabe señalar que esta etapa se programa conectando la conexión al nodo “serial in” de la etapa de comunicación y recolección de las tramas de datos.

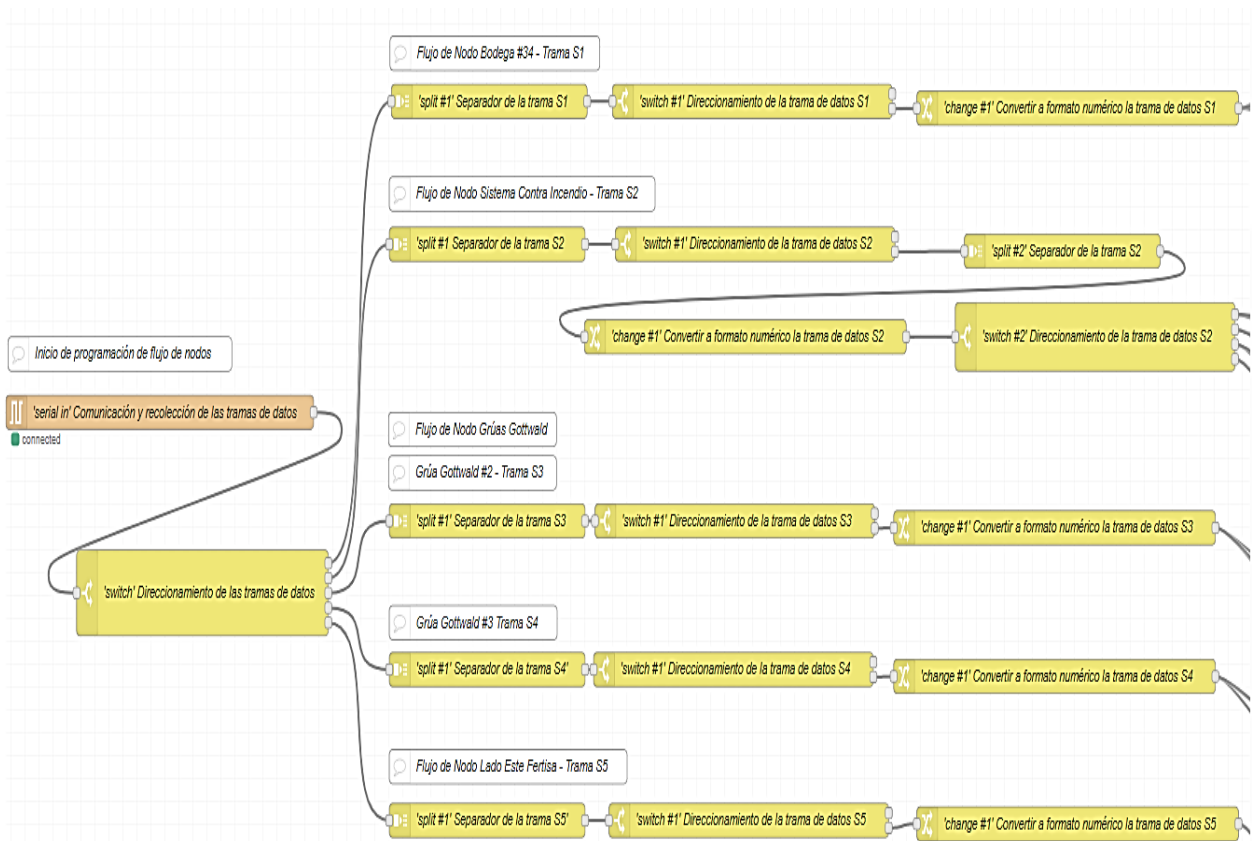


Figura 2.33 Flujo de nodos para el procesamiento de las tramas de datos

Flujograma de la etapa de alertas por correo electrónico

De acuerdo al requerimiento de la CEMFER, el algoritmo considerado para la alerta por correo electrónico de sobret temperatura en el motor #1 y #2 del sistema contra incendios fue el siguiente:

1. A partir de la salida del nodo “switch #2 Direccionamiento de la trama de datos S2” correspondiente a la temperatura y estado de activación de los motores del sistema contra incendios, los datos enviados a la entrada del nodo “rbe” serán continuamente comparados y al existir un valor diferente a otro del nodo “rbe” permitirá el paso del último valor recibido, caso contrario mantendrá el valor del anterior valor recibido.
2. El valor a la salida del nodo “rbe” será enviado al nodo “function” en el cual se ejecutan la función en JavaScript para realizar la comparación del valor recibido con el límite de operación de temperatura establecido. Si el valor de temperatura del motor #1 o #2 supera los 92°C se envía dos mensajes, el primero envía la alerta de la temperatura correspondiente al motor #1 o #2 de superación del límite establecido, y el segundo mensaje envía la hora y fecha de la alerta detectada.
3. Luego los dos mensajes serán enviados a la entrada del nodo “join” para convertirlo en un solo mensaje.
4. Finalmente, el mensaje se lo envía por correo electrónico mediante el nodo de salida “email”.

Con base a lo anterior, en la Figura 2.34 muestra el diagrama de flujo de la alerta de sobretemperatura del motor #1 del SCI.

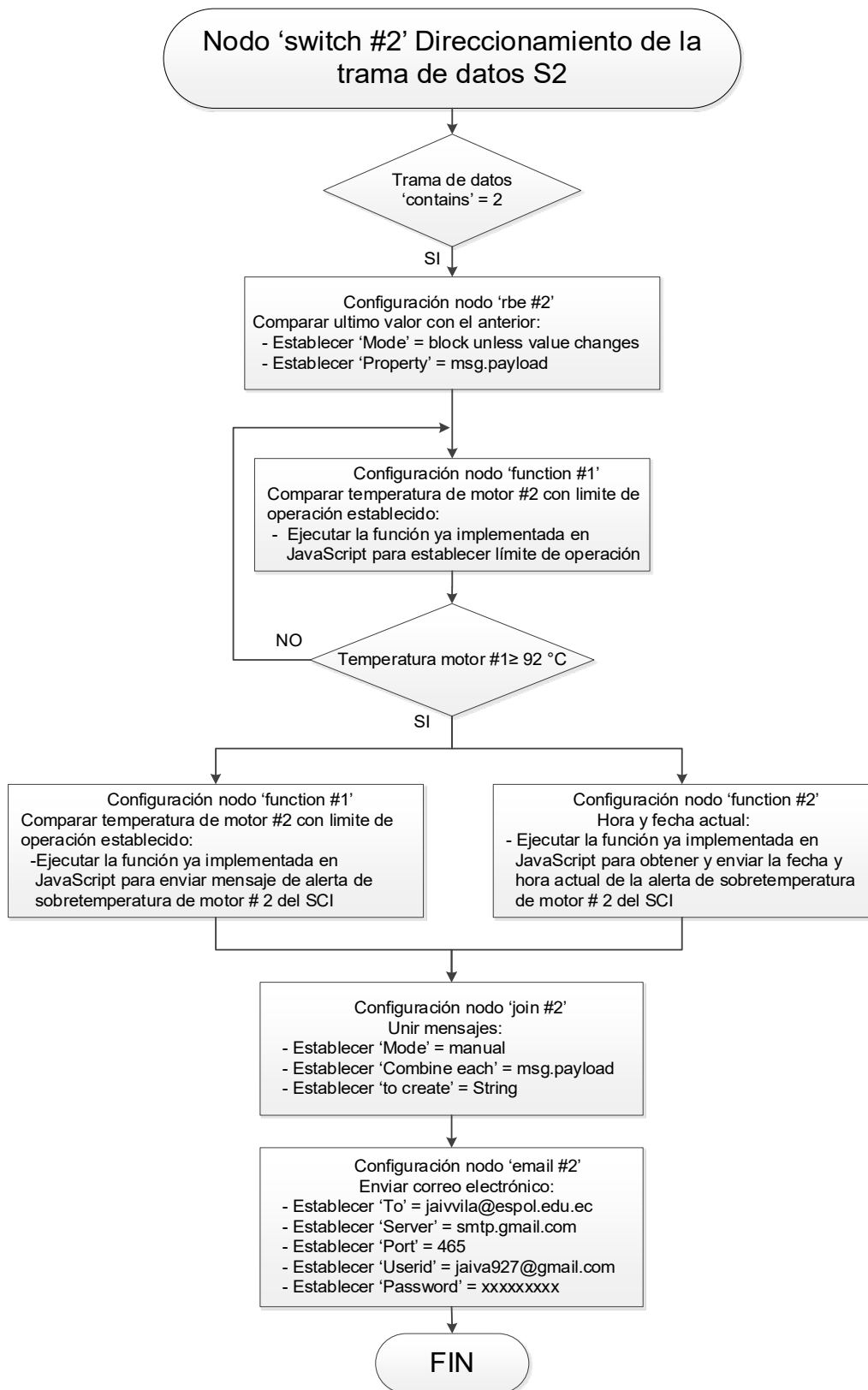


Figura 2.34 Diagrama de flujo para la alerta por correo electrónico de sobretemperatura del motor #1 del SCI

Lo mismo ocurre con el diagrama de flujo para la alerta de sobret temperatura del motor #2 del SCI, solo se diferencia al diagrama de flujo del motor #1 que la comparación de sobret temperatura se lo hace con la variable de la temperatura del motor #2 y no con la temperatura del motor #1.

La Figura 2.35 muestra así el flujo de nodos programados para alertas por correo electrónico de sobret temperatura del motor #1 del SCI, cabe mencionar que la programación se la realiza desde la primera salida de conexión del nodo “switch #2 Direcccionamiento de la trama de datos S2”.

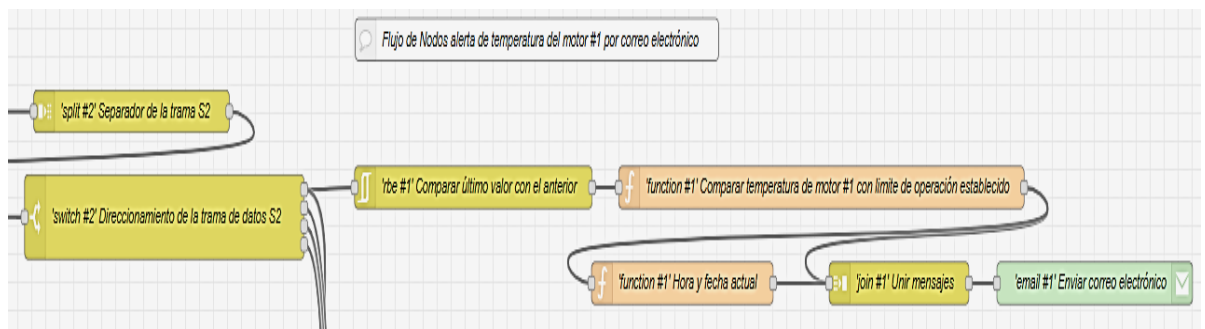


Figura 2.35 Flujo de nodos para la alerta por correo electrónico de sobret temperatura del motor #1 del SCI

La programación del flujo de nodos de alerta de temperatura del motor #2 es igual que el flujo de nodos de la Figura 2.34, pero desde la tercera salida de conexión del nodo “switch #2 Direcccionamiento de la trama de datos S2”.

Flujograma de la etapa de envió de datos al SCADA de acceso local en Node-RED

Cabe señalar en este apartado que los flujos de nodos programados para cada página del SCADA local requieren una conexión previa a los flujos de nodos de la etapa de procesamiento de las tramas de datos, lo que permite transferir los datos procesados de cada parámetro a su widget de visualización dentro de las páginas del SCADA local.

Por otro lado, dado que cada página utiliza elementos con un formato de visualización idéntico y su programación visual a través de flujos de nodos también es similar en cada elemento idéntico, se decidió presentar solo el algoritmo y el diagrama de flujo correspondiente a la trama de datos de la temperatura de la Bodega #34 el cual tiene como identificador “S1”.

El algoritmo para la visualización local de las alertas detectadas y de los valores de la trama de datos de la Bodega #34 es el siguiente:

1. A partir de la salida del nodo “change #1 Convertir a formato numérico la trama de datos S1”, los datos son enviados a un nodo de salida de la paleta “dashboard” para su representación gráfica y alfanumérica en el SCADA local.
2. Por otro lado, la programación para presentar los mensajes de alertas detectadas en el SCADA local se inicia de igual forma a partir del nodo “change #1 Convertir a formato numérico la trama de datos S1”, y con ello los valores continuamente ingresarán al nodo “rbe” para ser comparados y si la comparación muestra que los 2 últimos valores recibidos son diferentes, el nodo “rbe” permitirá el paso del ultimo valor recibido, caso contrario mantendrá el anterior valor recibido.
3. El valor enviado por el nodo “rbe” entra al nodo “function” en el cual se ejecutan la función en JavaScript para realizar la comparación del valor recibido con el límite de operación de temperatura establecido. Si el valor de temperatura de la Bodega #34 iguala o supera los 50°C se envía dos mensajes, el primero envía la alerta de sobretemperatura en la Bodega #34, y el segundo mensaje envía la hora y fecha de la alerta detectada.
4. Los dos mensajes anteriores se envían al nodo “join” para unirlos y convertirlo en un solo mensaje.
5. Luego, el mensaje se lo envía a un nodo “function” para dar un formato de presentación al mensaje de la alerta de sobretemperatura.
6. Finalmente, el mensaje se envía al nodo “template” para la visualización en el SCADA local.

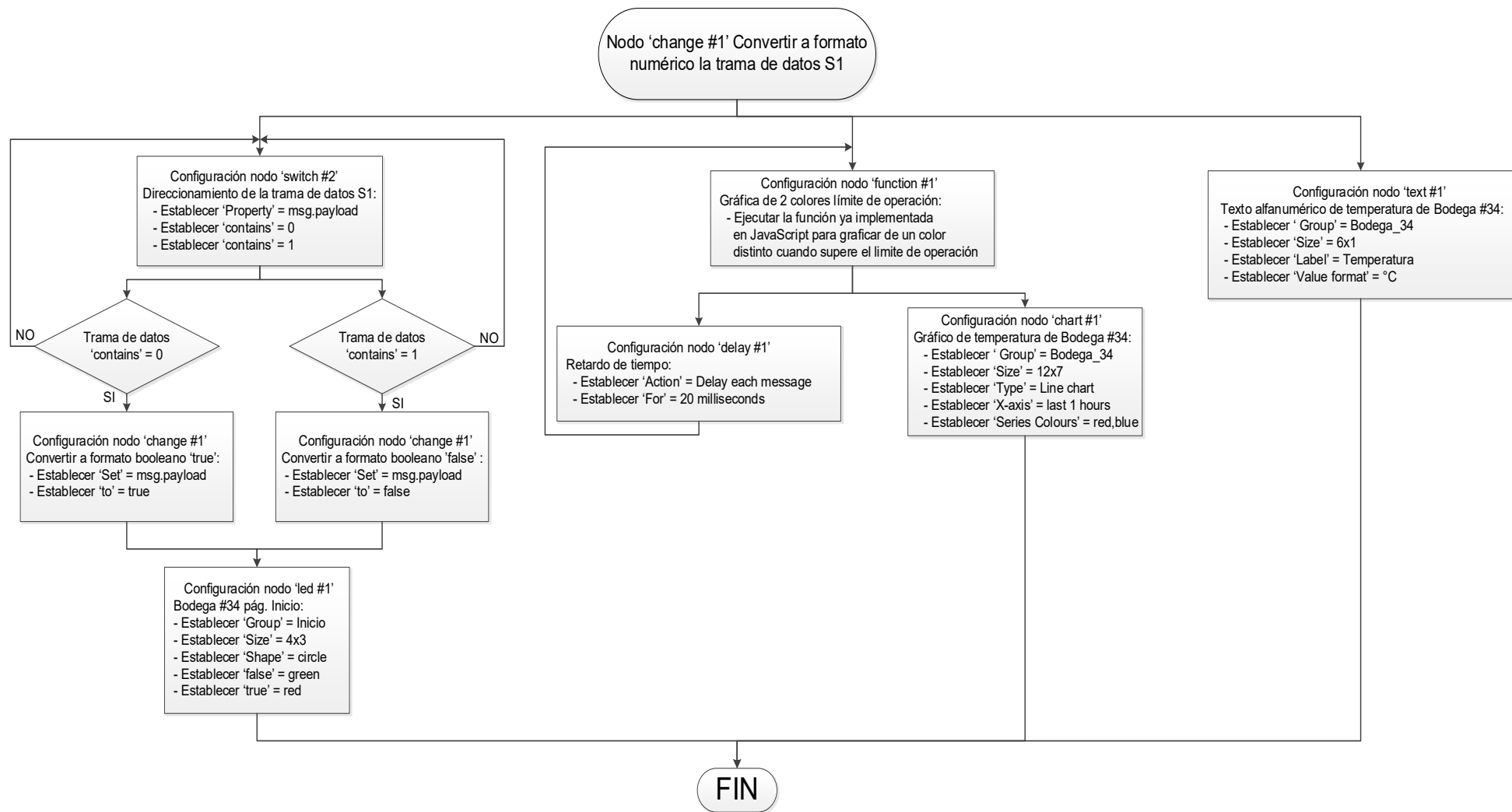


Figura 2.36 Diagrama de flujo para la visualización de la temperatura de la Bodega #34 de la trama de datos con identificador “S1/”

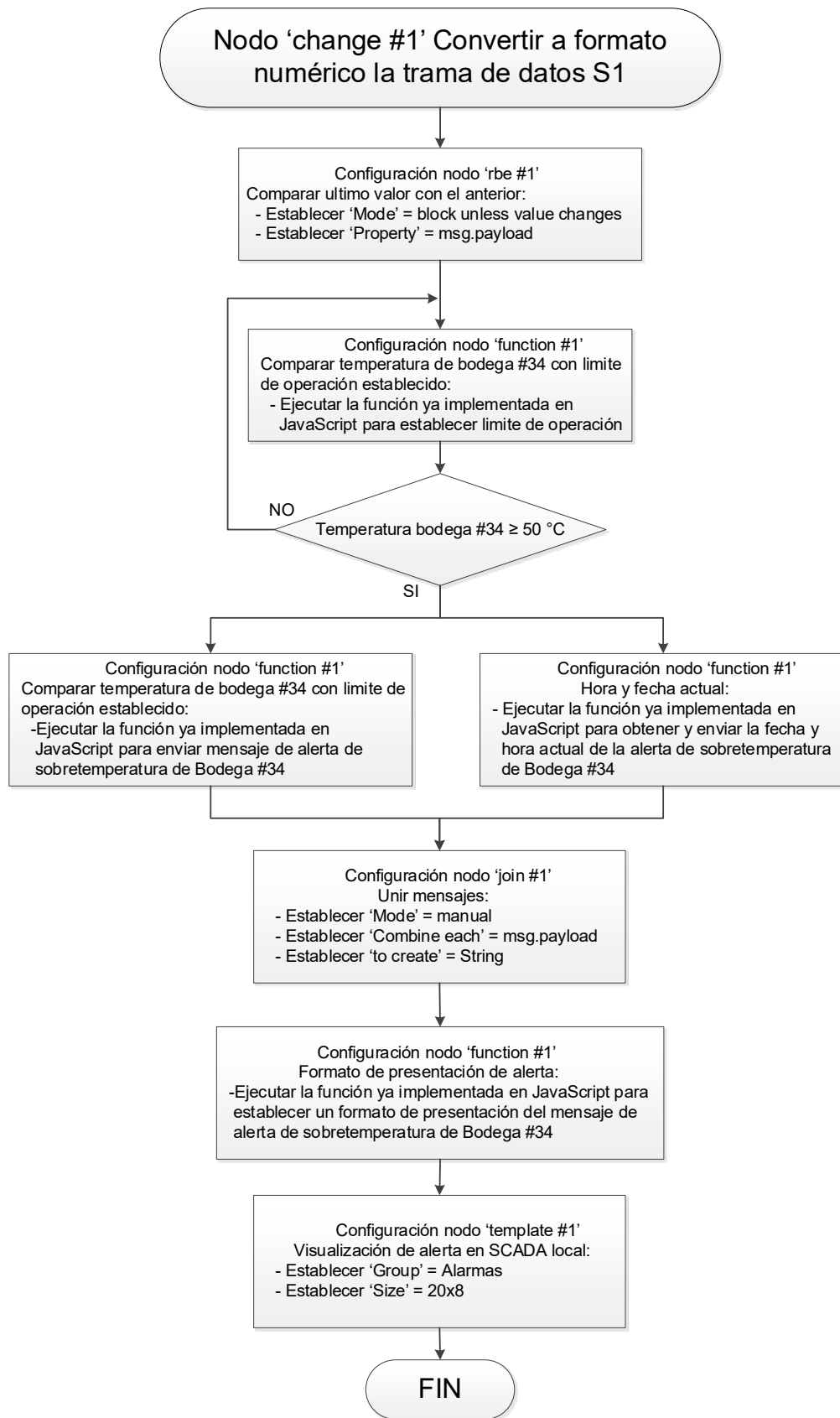


Figura 2.37 Diagrama de flujo para la visualización de la temperatura y alerta de sobretemperatura de la Bodega #34 en el SCADA de acceso local

A continuación, la Figura 2.38 muestra el flujo de nodos programados para mostrar la temperatura de la Bodega #34 y de su alerta de sobretemperatura.

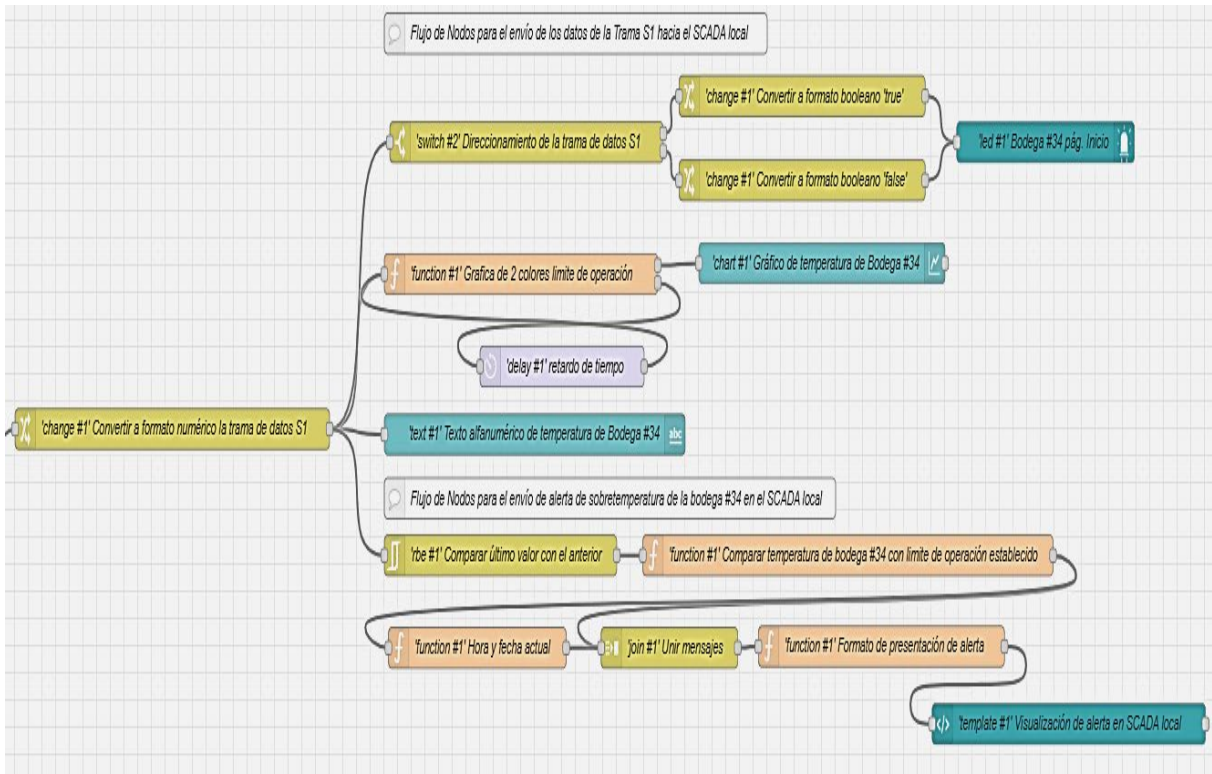


Figura 2.38 Flujo de nodos para la visualización de la temperatura y alerta de sobretemperatura de la Bodega #34 en el SCADA de acceso local

Flujograma de la etapa de envió de datos al SCADA de acceso remoto en Ubidots

Similar a la etapa de envió de datos al SCADA de acceso local, la programación del flujo de nodos se realiza desde el enlace con el último nodo de la etapa de procesamiento de las tramas de datos, lo que permite la transferencia continua de datos para su posterior visualización en el SCADA remoto.

El algoritmo que se consideró para el envió de datos al SCADA de acceso remoto, es el siguiente:

1. El valor obtenido en la salida del nodo final de la etapa de procesamiento de las tramas de datos será enviado al nodo “function”, en el cual se

ejecutan la función en JavaScript para asignar el valor y la nomenclatura de la variable a enviar y el tópic de la comunicación.

2. Luego el nodo "function" enviará el mensaje con la información programada hacia el nodo de salida "mqtt", para luego configurar el nodo "mqtt" y establecer la comunicación a través del protocolo MQTT entre el gateway IOT2040 y la nube de Ubidots.

Considerando que la programación del flujo de nodos se realiza a través de los nodos "function" y "mqtt" para cada valor de salida de la etapa de procesamiento de tramas de datos, se decidió presentar solo el diagrama de flujo correspondiente al envío de la temperatura de la Bodega #34 con identificador "S1/" hacia Ubidots.

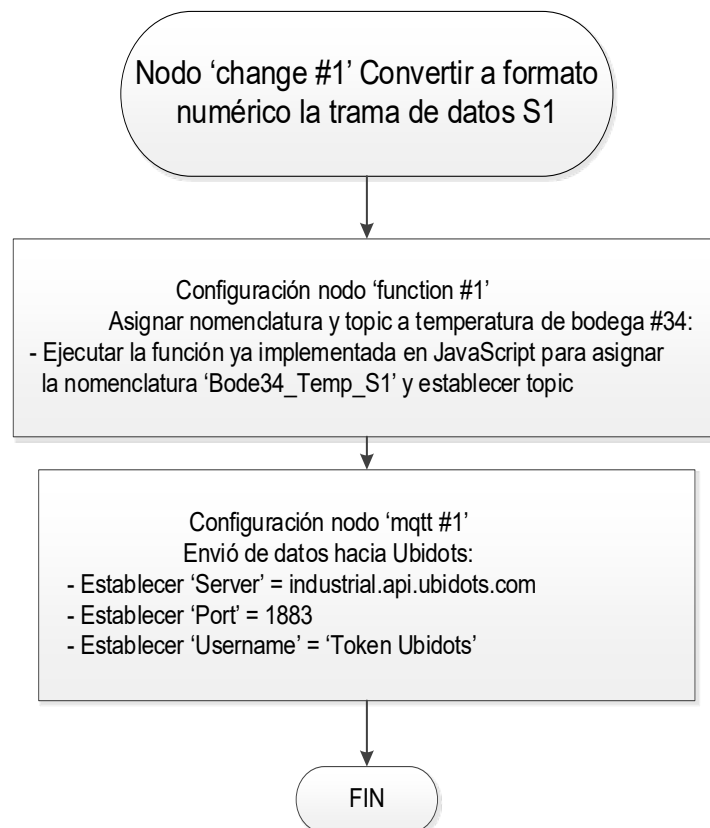


Figura 2.39 Diagrama de flujo para el envío de datos hacia Ubidots de la temperatura de la Bodega #34 de la trama de datos con identificador "S1/"

Y el flujo de nodos programado se presenta en la Figura 2.40.

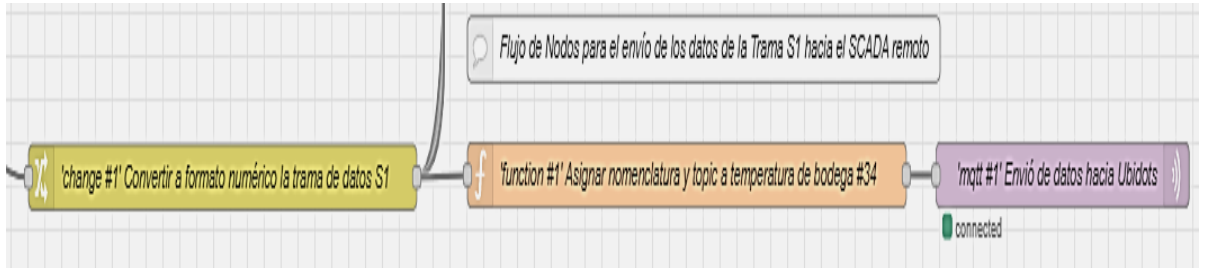


Figura 2.40 Flujo de nodos para el envío de datos hacia Ubidots de la temperatura de la Bodega #34 de la trama de datos con identificador “S1”

2.8.4 Configuración de los dispositivos electrónicos

A continuación, se presentan las configuraciones realizadas para la interconexión entre los dispositivos electrónicos del sistema de monitoreo.

2.8.4.1 Configuración de PLC LOGO para extracción de información de SCI

Se inicia con la configuración de la comunicación Modbus TCP dentro del software LOGO Soft como se muestra en la Figura 2.41.

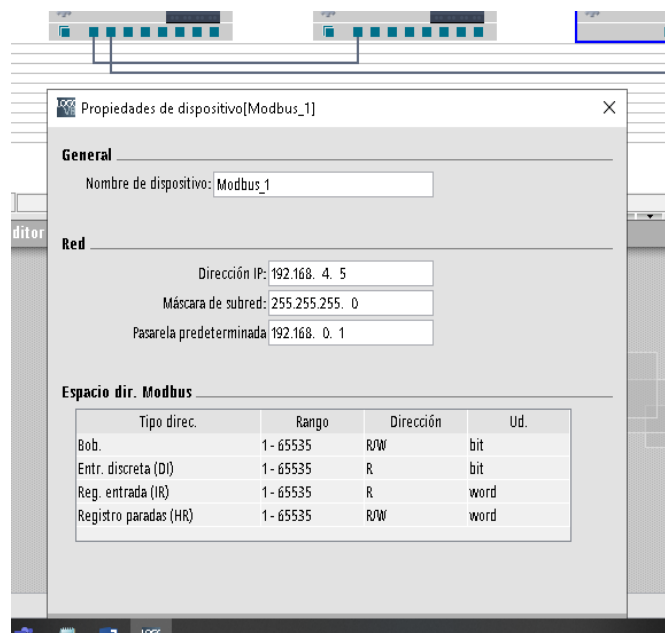


Figura 2.41 Configuración de la comunicación Modbus TCP del PLC LOGO

Luego, en la Figura 2.42 se presenta la configuración para el envío en red de la señal digital.

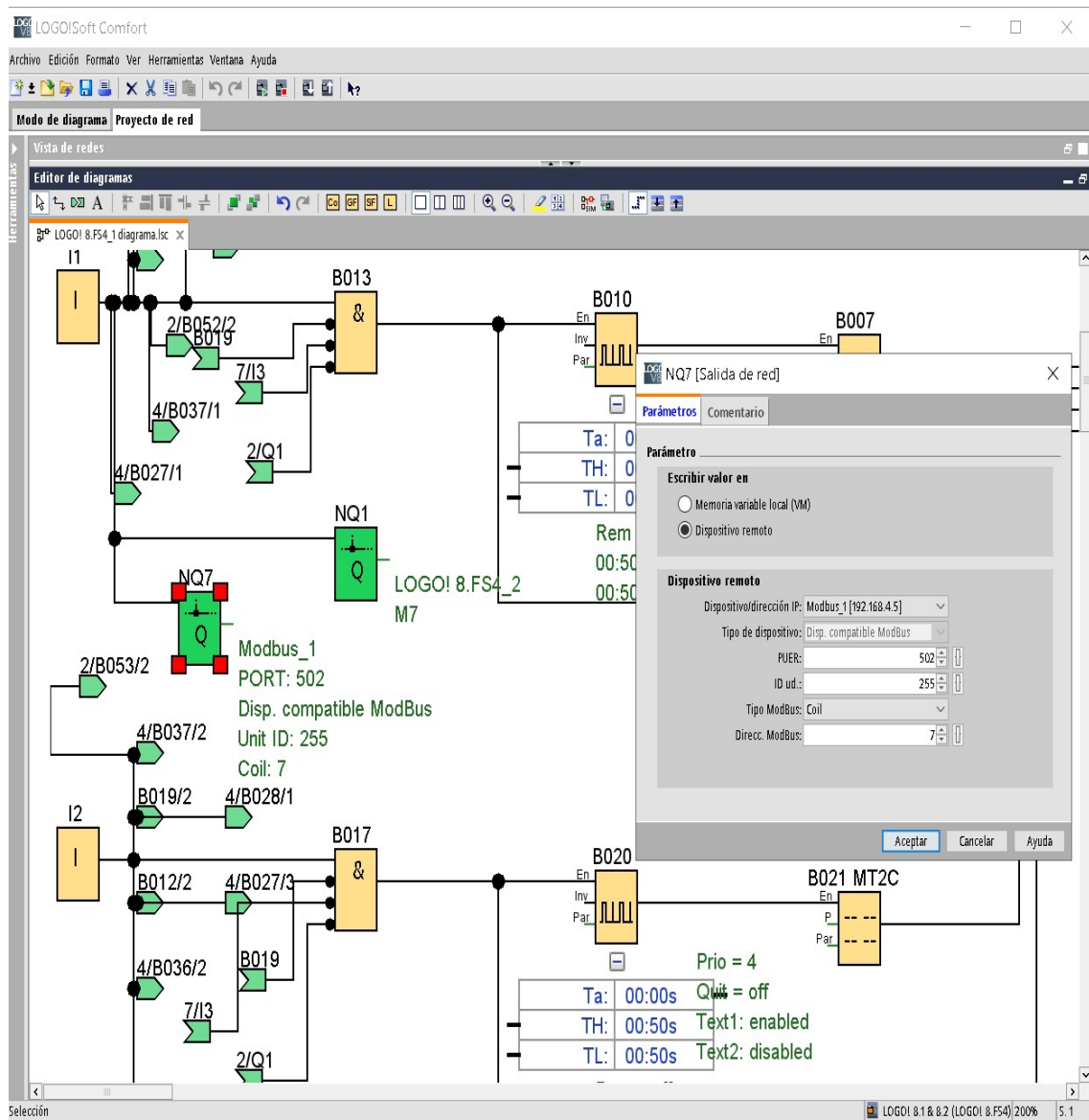


Figura 2.42 Configuración para envío en red de la señal digital

Y finalmente se presenta la configuración para envío en red de la señal analógica.

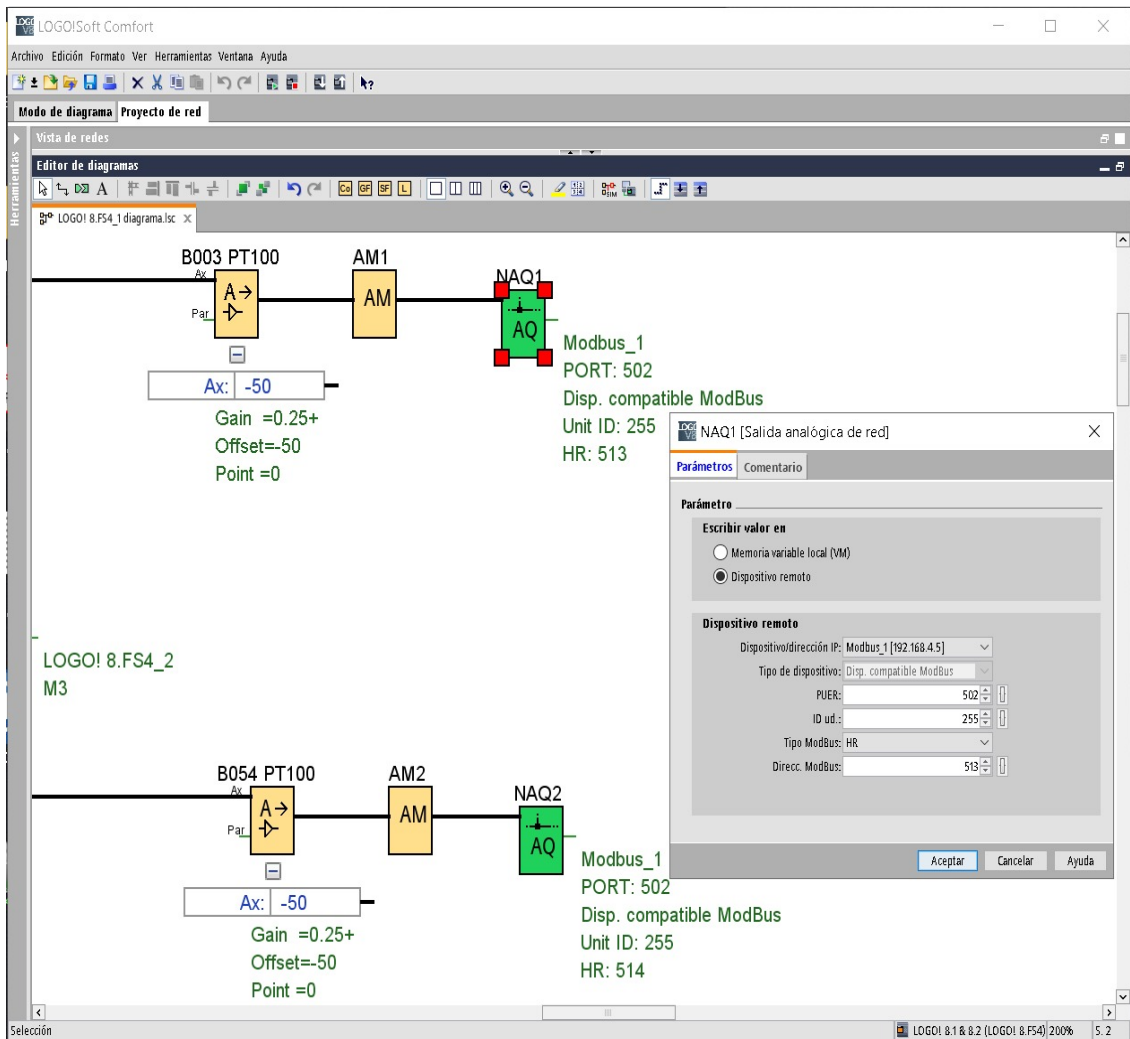


Figura 2.43 Configuración para envío en red de la señal analógica

2.8.4.2 Configuración de los módulos XBee PRO S2C

La configuración de los nodos pertenecientes a la red inalámbrica tipo malla basada en DigiMesh se lo realizó mediante su software llamado "XCTU", siendo así en la Tabla se muestran los principales parámetros configurados para el módulo XBee PRO S2C situado en el equipo Grúa Gottwald #3.

Tabla 7.6 Configuración de parámetros en módulo XBee PRO S2C situado en G. Gottwald #3

NI node identifier	Grúa Gottwald #3
Function	DigiMesh 2.4 TH PRO
CH channel	17
ID network	8
PL network	4
Ce coord - ED	Standard Router [0]
DH destination Address H	0
DH destination Address L	FFFF
BD Baud rate	9600
AP API enable	Transparente
EE Encrypton enable	1
KYA Encrypton key	AAABBBCCC

Cabe indicar que este tipo de configuraciones también fueron realizadas de forma similar en el resto de módulos XBee PRO S2C.

2.8.4.3 Configuración del gateway IOT2040

Para establecer la comunicación entre el gateway IOT2040 y un computador del área del CEMFER del puerto de Fertisa, se requiere el ingreso previo a la interfaz de configuración del gateway IOT2040 mediante el software PuTTY.

Se asigna la dirección IP '192.168.43.125' al puerto X1 del gateway IOT2040, y al puerto X2 se mantiene con el servidor 'dhcp', tal como se muestra en la Figura 2.44. Esta configuración ha sido realizada con el fin de establecer la comunicación dentro de la red de dispositivos del puerto de Fertisa y a su vez que el servidor dhcp asigne dinámicamente una dirección IP para habilitar la conexión del internet al gateway IOT2040.

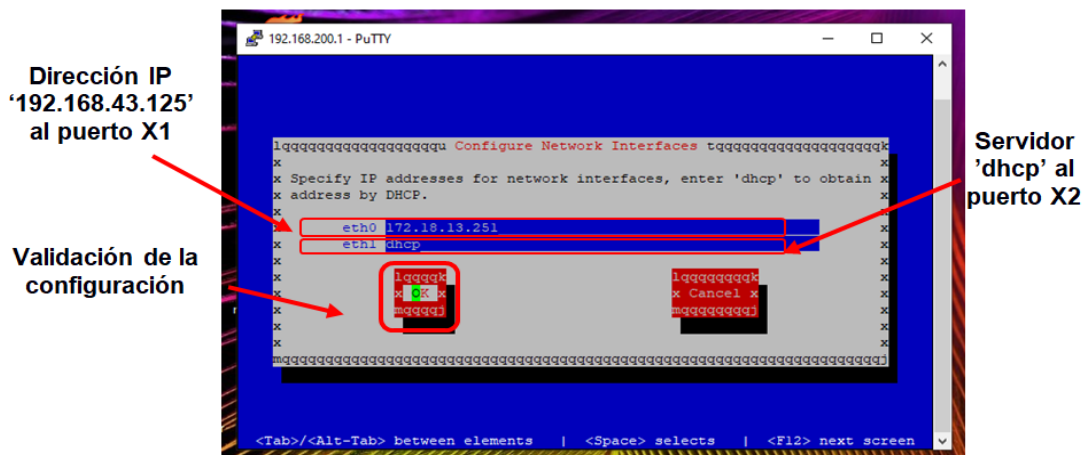


Figura 2.44 Configuración para envío en red de la señal digital

2.9 Desarrollo de los SCADA's

2.9.1 Diseño del SCADA de acceso local

Las pantallas del SCADA de acceso local será creado mediante el software Node-RED, las mismas contendrán la información de la trama de datos que han sido programadas en las secciones anteriores.

El diseño del SCADA local contempla las siguientes pantallas:

- Inicio.
- Bodega #34.
- Grúas Gottwald.
- Sistema contra incendios.
- Lado Este Fertisa.
- Alarmas.

2.9.1.1 Diseño de la pantalla “Inicio”

Para la pantalla “Inicio” se ha considerado una imagen de encabezado, una columna de 6 botones para el menú de navegación entre pantallas, y 4 imágenes de cada zona de interés junto a un led que se encenderá cuando las zonas están en alerta de emergencia.

A continuación, se presenta la distribución de los elementos antes mencionados.

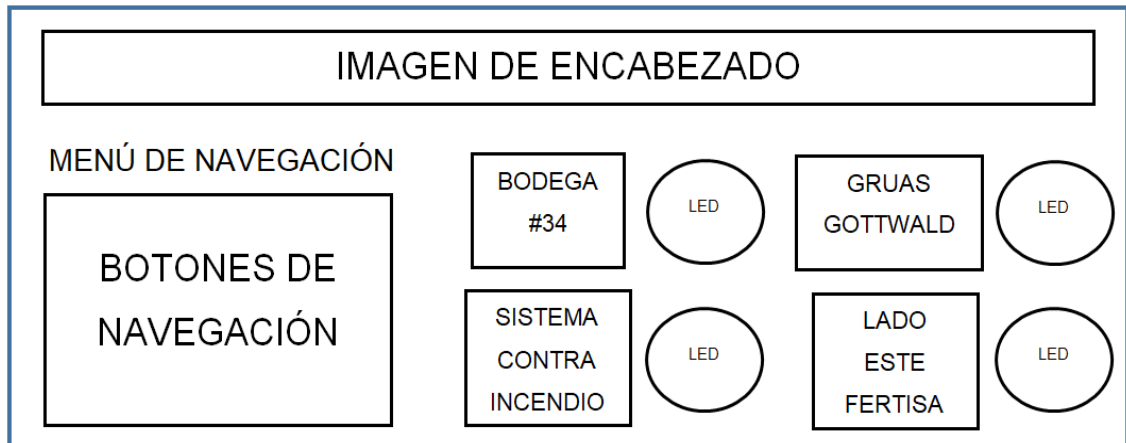


Figura 2.45 Pantalla “Inicio” del SCADA local en Node-RED

2.9.1.2 Diseño de la pantalla “Bodega #34”

El desarrollo de la pantalla “Bodega #34” presenta valores de temperatura en el interior de la bodega #34 y esta pantalla cuenta con las siguientes características: una imagen de encabezado y otra de la bodega #34, un indicador alfanumérico, 6 botones de acceso al resto de pantallas y un gráfico tipo “chart”.

En la Figura 2.46 se presenta la pantalla “Bodega #34”.

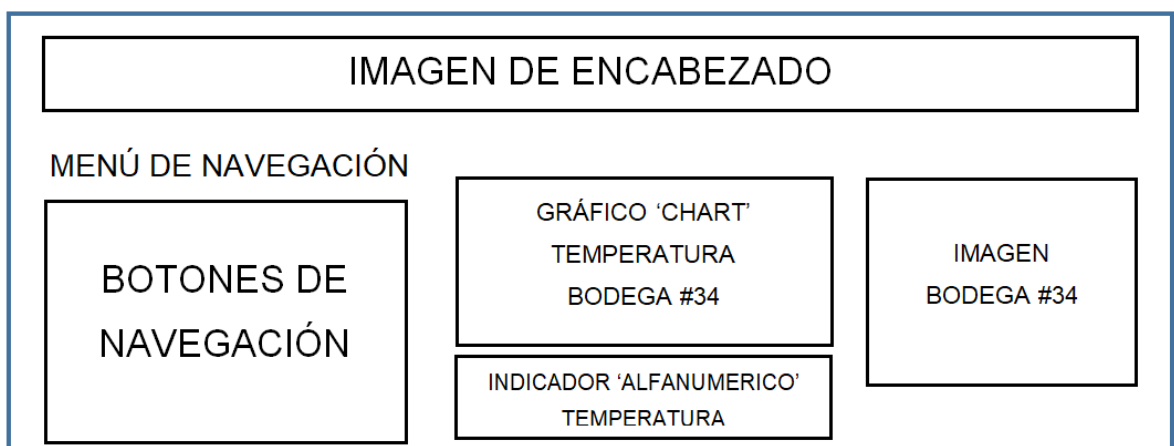


Figura 2.46 Pantalla “Bodega #34” del SCADA local en Node-RED

2.9.1.3 Diseño de la pantalla “Grúas Gottwald”

La pantalla “Grúas Gottwald” permite la visualización del estado de activación del detector de humos tanto de la grúa Gottwald #2 como de la grúa Gottwald #3. Esta pantalla consta de: una imagen de encabezado, dos imágenes correspondientes a las grúas Gottwald #2 y #3, 2 Leds y 6 botones de acceso al resto de pantallas.

La pantalla desarrollada se presenta en la Figura 2.47.

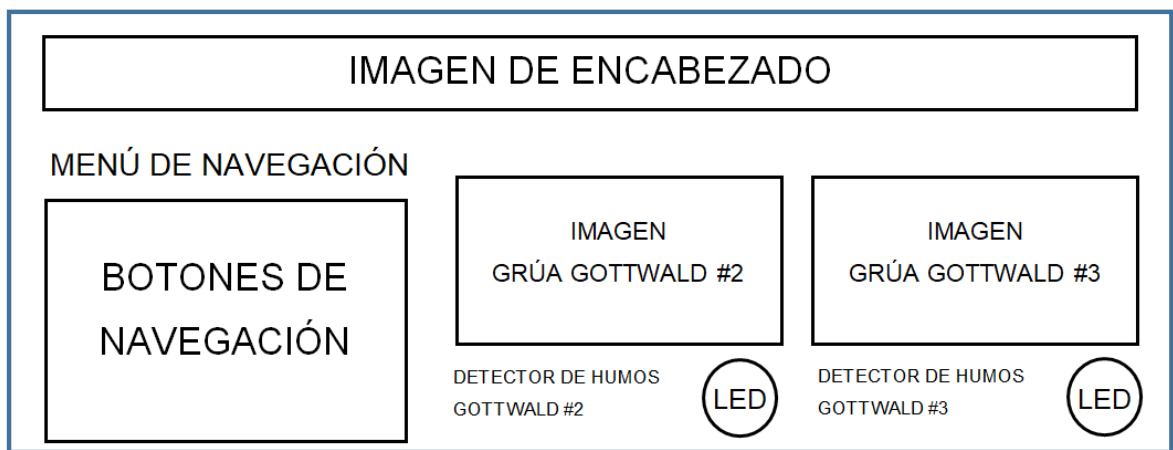


Figura 2.47 Pantalla “Grúas Gottwald” del SCADA local en Node-RED

2.9.1.4 Diseño de la pantalla “Sistema contra incendios”

Esta pantalla permite el monitoreo de la temperatura del motor #1 y motor #2 del sistema contra incendios, también permite monitorear el estado de encendido de los 2 motores. Para el desarrollo de esta pantalla se contempló las siguientes características: una imagen de encabezado, dos gráficos tipo “gauge”, dos leds y 6 botones de navegación entre pantallas.

En la Figura 2.48 se presenta la pantalla “Sistema contra incendios”.

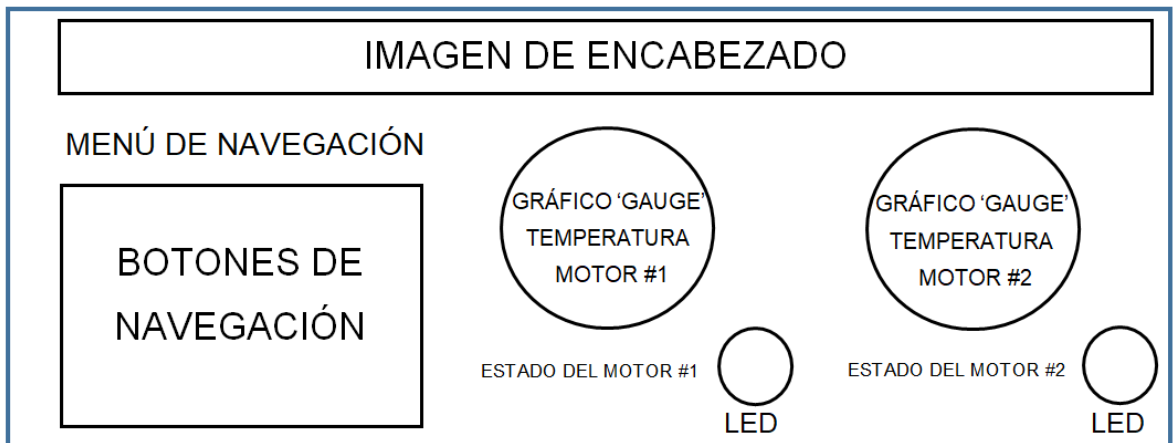


Figura 2.48 Pantalla “Sistema contra incendios” del SCADA local en Node-RED

2.9.1.5 Diseño de la pantalla “Lado Este Fertisa”

Para el caso de la pantalla “Lado Este Fertisa” su desarrollo contempla la presentación visual de los valores de polución generados en la zona Este de Fertisa con las siguientes características: una imagen de encabezado y de la zona Este de Fertisa, un indicador alfanumérico , 6 botones de navegación entre pantallas y un gráfico tipo “chart”.

Siendo así, en la Figura 2.49 se presenta la pantalla “Lado Este Fertisa”.

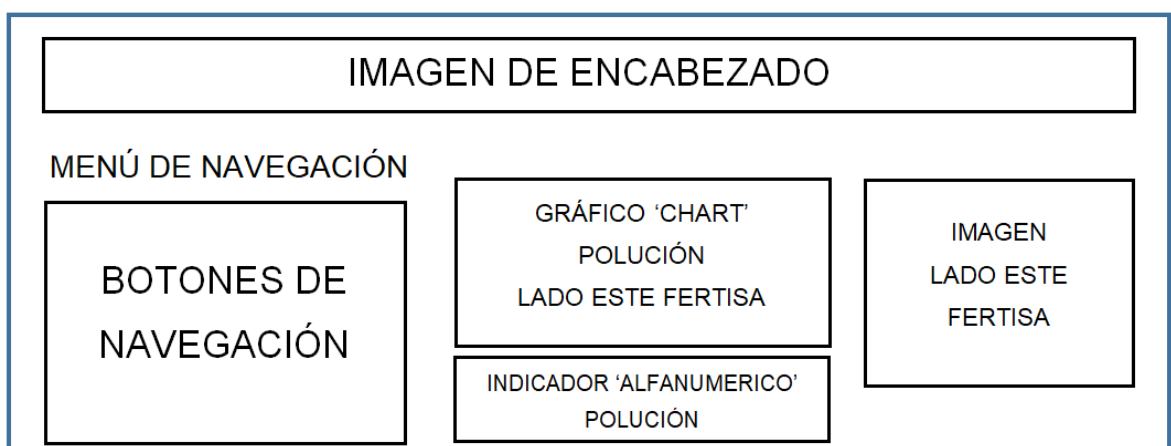


Figura 2.49 Pantalla “Lado Este Fertisa” del SCADA local en Node-RED

2.9.1.6 Diseño de la pantalla “Alarmas”

La pantalla “Alarmas” permite visualizar al usuario mediante el nodo “template” los históricos de las alertas presentes de sobrettemperatura del motor #1 y #2 del SCI, así como también de la bodega #3; también alertas de encendido de los motores del SCI, activación del detector de humos de las grúas Gottwald #2 y #3 y nivel alto de polución en el lado Este de Fertisa.

Por lo tanto, la pantalla (ver Figura 2.50) cuenta con su imagen de portada, una tabla de históricos y 6 botones de acceso a las demás pantallas.

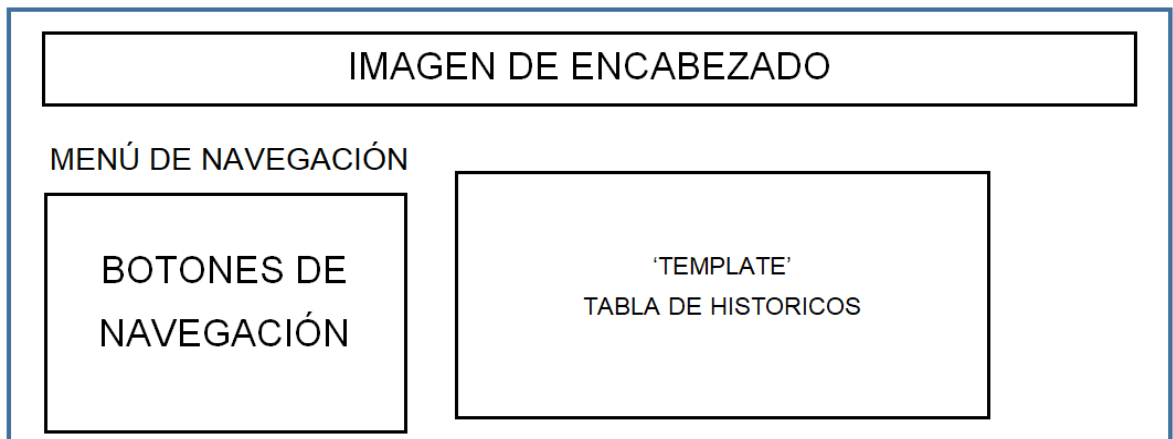


Figura 2.50 Pantalla “Alarmas” del SCADA local en Node-RED

2.9.2 Diseño del SCADA de acceso remoto

En el diseño del SCADA de acceso remoto se consideró trabajar en conjunto con la plataforma Ubidots, debido a que es una plataforma que permite la visualización remota de los datos a través de la página web que brinda esta plataforma.

Ubidots requiere previamente recibir datos de aplicaciones externas con las que se quiere comunicarse. Por lo tanto, fue necesario agregar la programación de flujo de nodos a Node-RED para enviar datos continuamente al servidor web de Ubidots a través del protocolo de comunicación MQTT.

Para iniciar con el desarrollo de las pantallas del SCADA remoto se presentan la conformación de las mismas:

- Bodega #34.
- Grúas Gottwald.
- Sistema contra incendios.
- Lado Este Fertisa.

A continuación, se presentan las características de cada una de las pantallas que conforman el SCADA remoto teniendo en cuenta que su diseño está establecido por la plantilla que por default presenta la plataforma Ubidots para la visualización de los datos.

2.9.2.1 Diseño de la pantalla “Bodega #34”

El desarrollo de la pantalla “Bodega #34” presenta valores de temperatura en el interior de la bodega #34 y esta pantalla cuenta con las siguientes características: un gráfico tipo “chart” y un indicador tipo “termómetro”.

En la Figura 2.51 se presenta la pantalla “Bodega #34”.

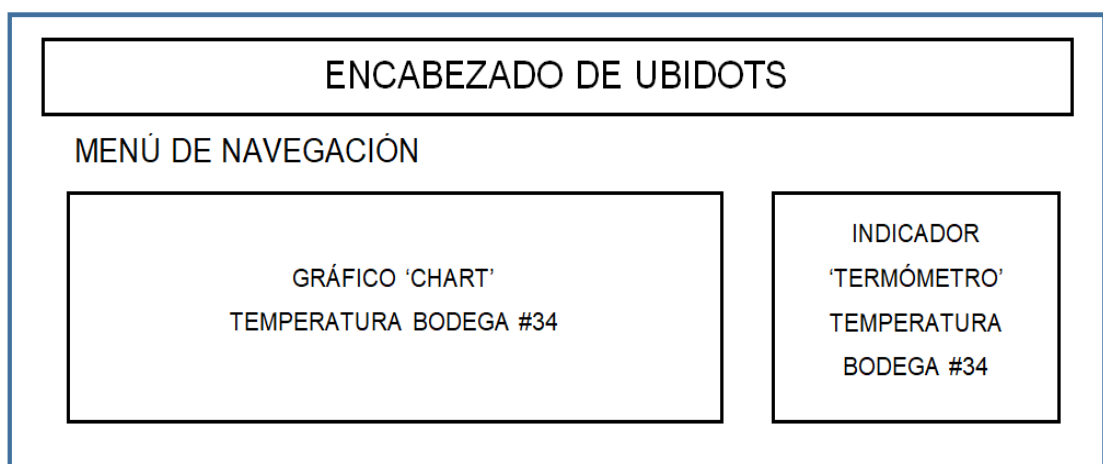


Figura 2.51 Pantalla “Bodega #34” del SCADA remoto en Ubidots

2.9.2.2 Diseño de la pantalla “Grúas Gottwald”

La pantalla “Grúas Gottwald” permite la visualización del estado de activación de los detectores de humos que se encuentran instalados en la grúa Gottwald #2 y #3.

En la Figura 2.52 se presenta la pantalla “Grúas Gottwald” que consta de dos leds indicadores de activación.

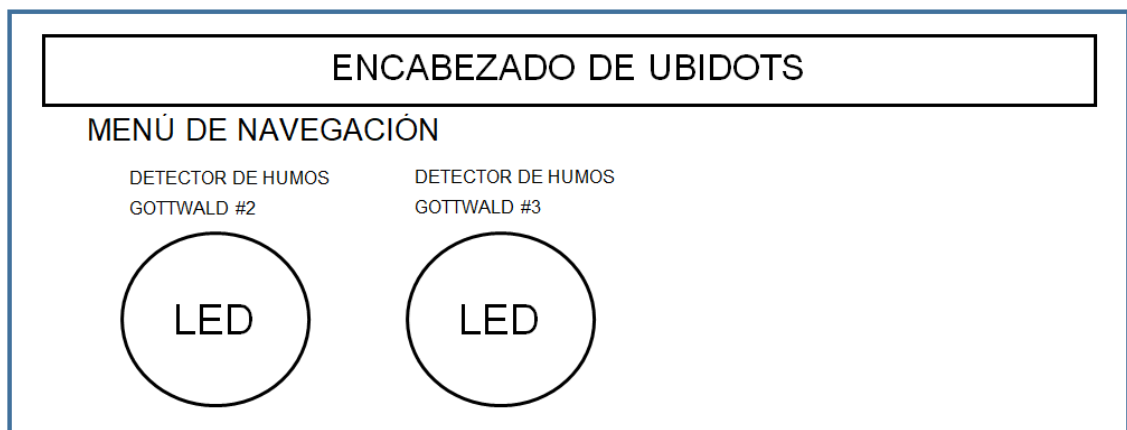


Figura 2.52 Pantalla “Grúas Gottwald” del SCADA remoto en Ubidots

2.9.2.3 Diseño de la pantalla “Lado Este Fertisa”

Para el caso de la pantalla “Lado Este Fertisa” su desarrollo contempla la presentación visual de los valores de polución producidos en el lado Este de Fertisa, con las siguientes características: un gráfico tipo “chart” y un “gauge” (ver Figura 2.53).

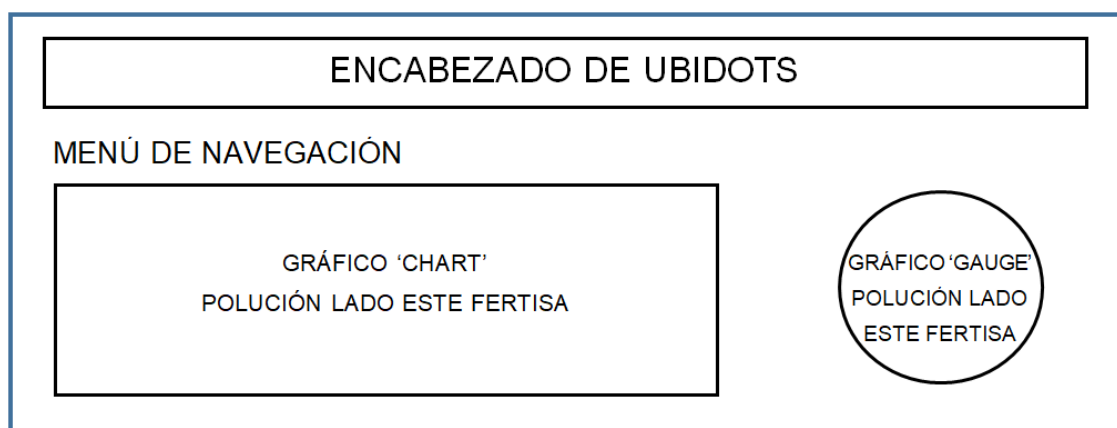


Figura 2.53 Pantalla “Lado Este Fertisa” del SCADA remoto en Ubidots

2.9.2.4 Diseño de la pantalla “Sistema contra incendios”

Para la pantalla del monitoreo del estado de encendido del motor #1 y #2 del SCI y de su temperatura respectivamente, se ha considerado las siguientes características: dos indicadores tipo “termómetro” y dos leds indicadores de estado encendido.

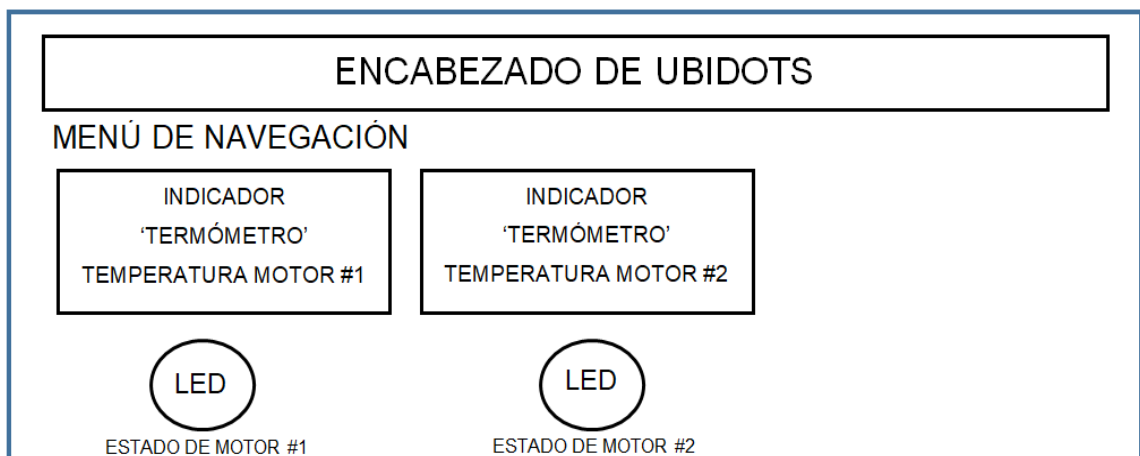


Figura 2.54 Pantalla “Sistema contra incendios” del SCADA remoto en Ubidots

2.9.3 Implementación del SCADA de acceso local

Antes de comenzar con la implementación del SCADA local, es adecuado mencionar que cada pantalla utiliza elementos de visualización y navegación idénticos, por lo que se decidió presentar solo los diagramas de flujo de la pantalla “Inicio”, así como sus correspondientes flujos de nodos programados.

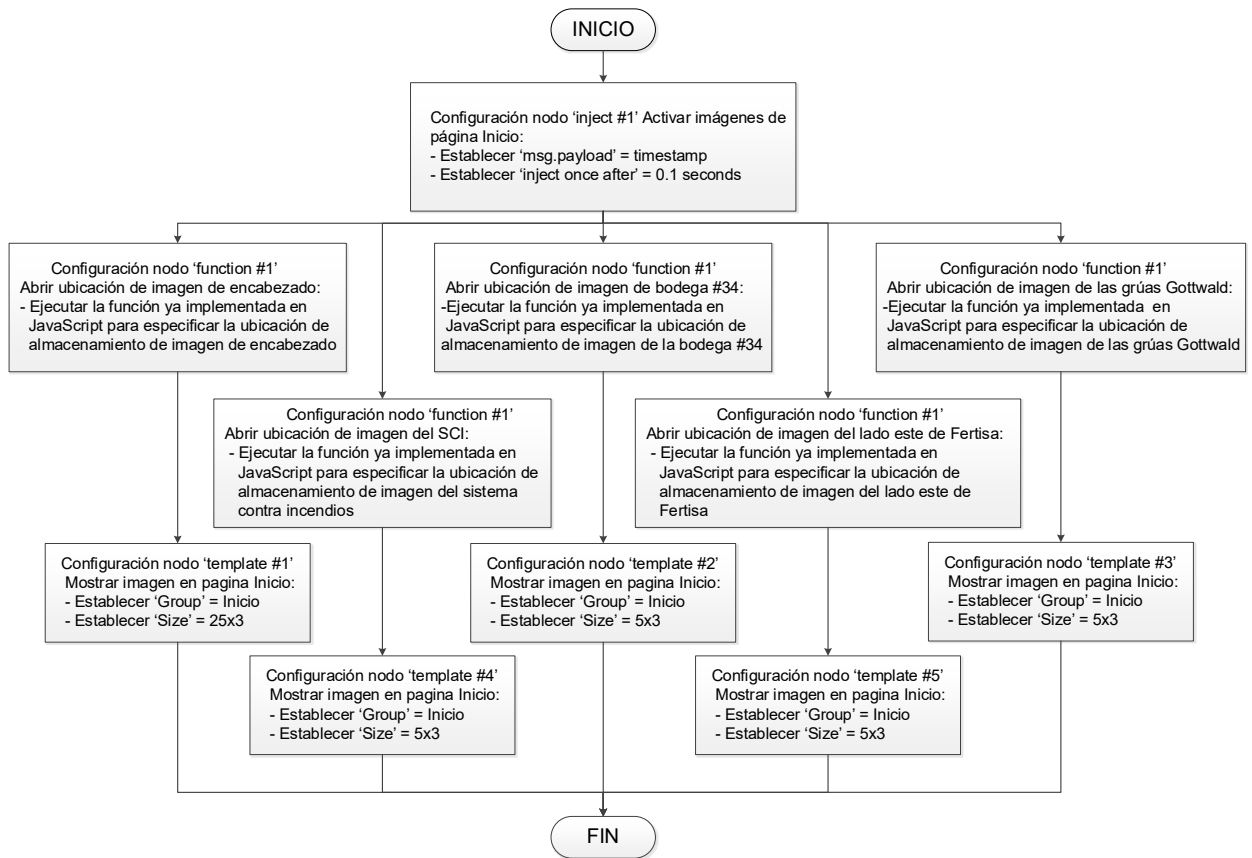


Figura 2.55 Diagrama de flujo para insertar imágenes en la pantalla “Inicio” del SCADA local en Node-RED

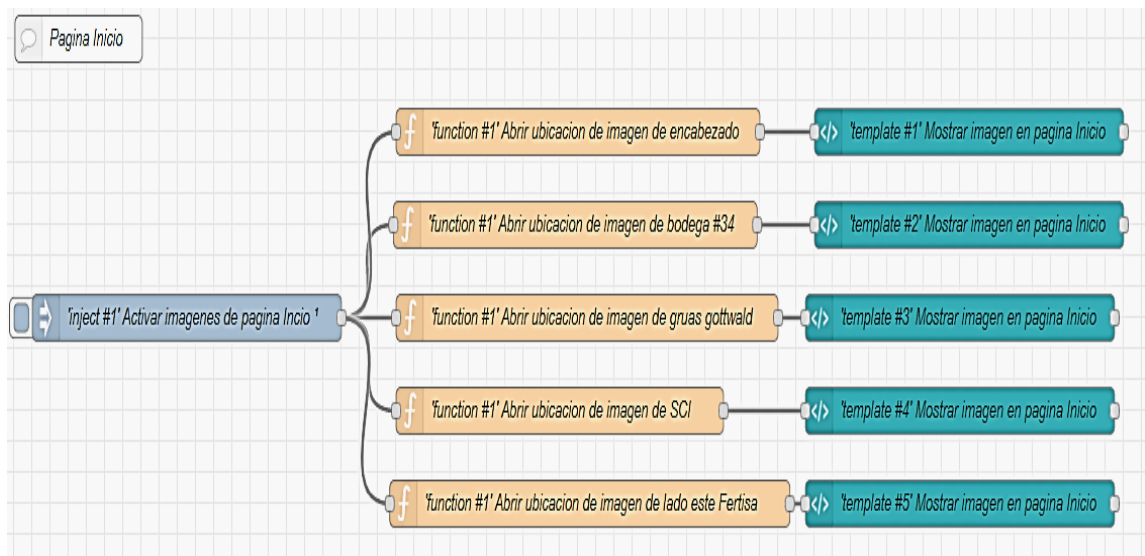


Figura 2.56 Flujo de nodos para insertar imágenes en la pantalla “Inicio” del SCADA local en Node-RED

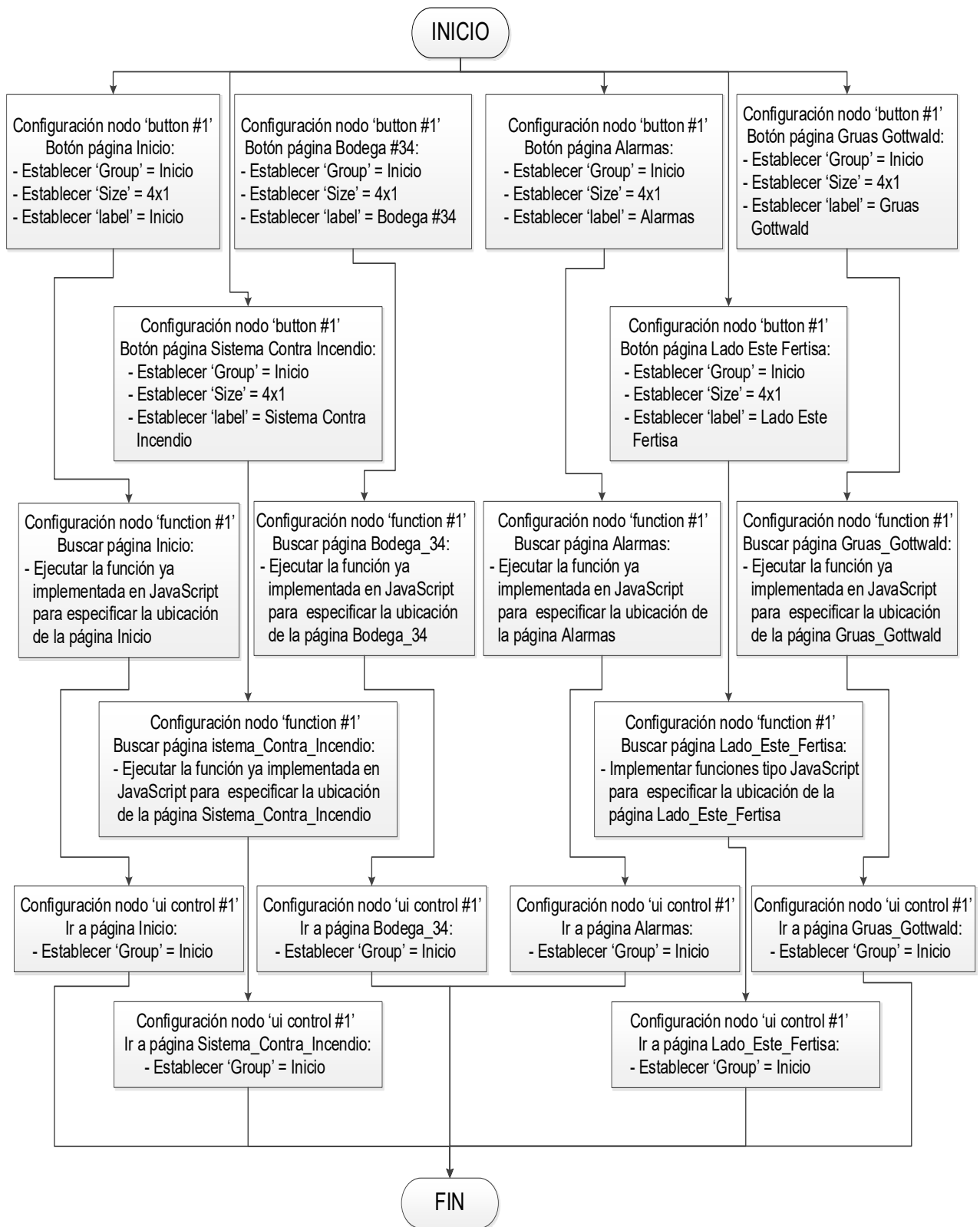


Figura 2.57 Diagrama de flujo para insertar botones de navegación en la pantalla “Inicio” del SCADA local en Node-RED

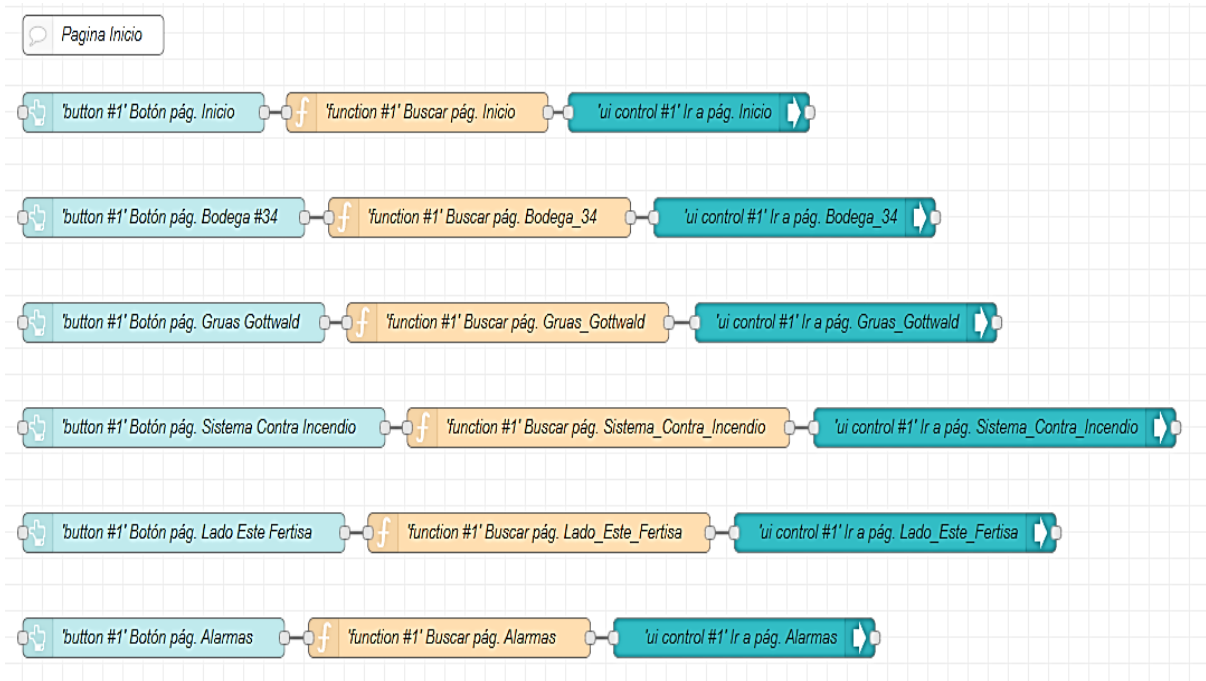


Figura 2.58 Flujo de nodos para insertar botones de navegación en la pantalla “Inicio” del SCADA local en Node-RED

El resultado de la programación realizada para la pantalla “Inicio” se presenta en la Figura 2.59.

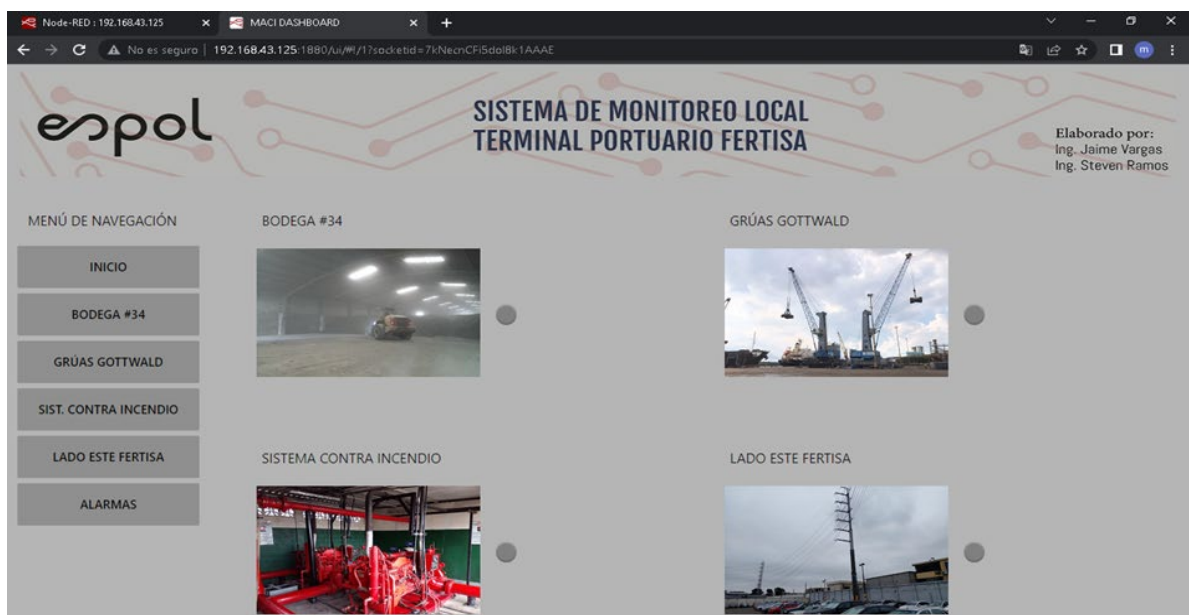


Figura 2.59 Pantalla “Inicio” del SCADA local en Node-RED

2.9.4 Implementación del SCADA de acceso remoto

Luego de realizada la programación para la etapa “Envío de datos al SCADA de acceso remoto en Ubidots”, el siguiente paso es implementar las pantallas de visualización remotas comenzando por vincular las variables enviadas desde el gateway IOT2040 (ver Figura 2.60) con los indicadores visuales, también conocidos como “widget” (ver Figura 2.61), disponibles en Ubidots.

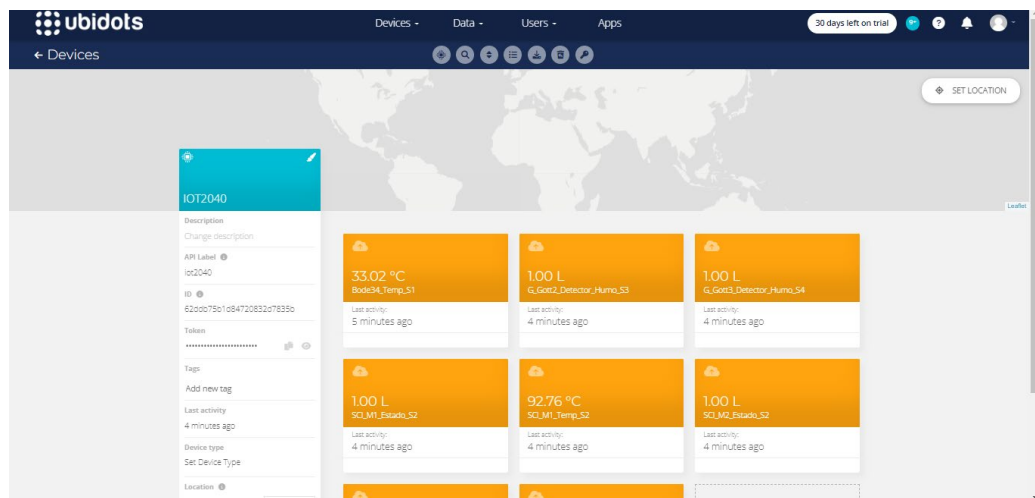


Figura 2.60 Variables enviadas desde el gateway IOT2040 hacia Ubidots

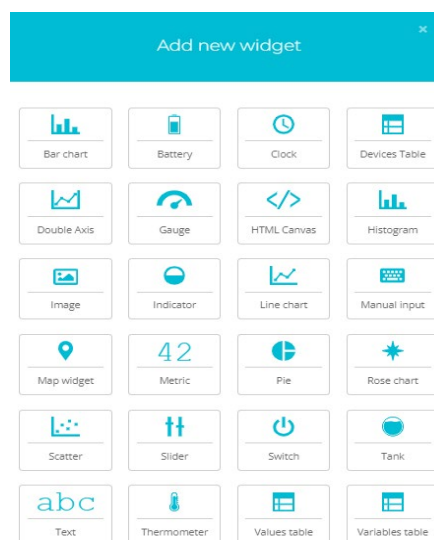


Figura 2.61 Indicadores visuales de Ubidots

Resumiendo, en este apartado se presentará sola la implementación de la pantalla “Bodega #34”, ya que para las demás páginas se realiza de similar forma con sus respectivos indicadores visuales.

Siendo así, para la pantalla “Bodega #34” se ha considerado un gráfico tipo “chart” y un indicador tipo “termómetro”, en la Figura 2.62 se presenta la pantalla de visualización remota de la temperatura de la bodega #34 en Ubidots.

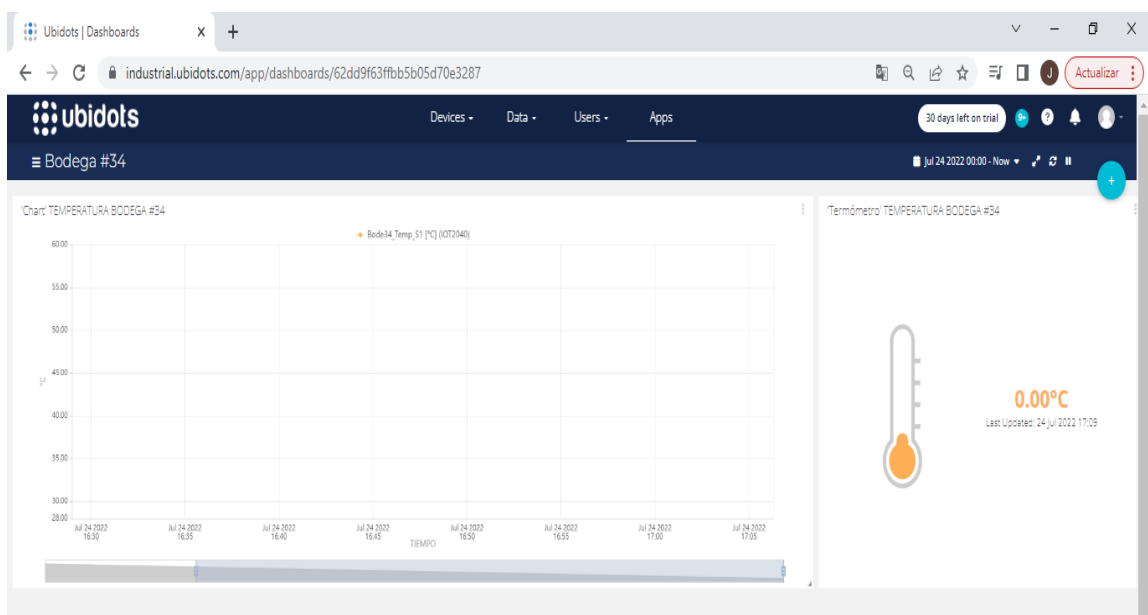


Figura 2.62 Pantalla “Bodega #34” del SCADA remoto en Ubidots

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos mediante las pruebas de conexión y envío de información de los elementos constitutivos del sistema de monitoreo, validando y comparando la información visualizada entre el SCADA local en Node-RED y el SCADA remoto en Ubidots. Además, se realizará una prueba del sistema de alertas mediante el envío de correos electrónicos y finalmente se detallará un estudio de los costos de la propuesta implementada.

3.1 Pruebas del sistema de monitoreo

Para probar el funcionamiento del sistema de monitoreo, esto se hace básicamente desplazándose por las pantallas del SCADA local y remoto con el objetivo de mostrar la transmisión/recepción de la información a través de la visualización de los datos de las variables y estados de interés que han sido recolectados desde los dispositivos electrónicos. Luego, la otra prueba de funcionamiento consta de la comparación entre los datos que se muestran entre el SCADA local (Node-RED) y el SCADA remoto (Ubidots) con el fin de validar que los valores presentados en ambos SCADA's sean similares.

3.1.1 Recepción de información en SCADA de acceso local en Node-RED

A continuación, se presentan las pantallas que componen el SCADA local en Node-RED junto a la información que ha sido recolectada en el gateway IOT2040.

3.1.1.1 Pantalla “Inicio”

Para ingresar directamente a la pantalla “Inicio” del SCADA local se lo realiza mediante el navegador web del computador e ingresando la dirección IP (192.168.43.125:1880/ui) del gateway IOT2040 que ha sido configurada previamente.

A continuación, la pantalla que se despliega se muestra en la Figura 3.1.



Figura 3.1 Pantalla “Inicio” del SCADA local en Node-RED

Dónde:

1. El menú de navegación muestra los botones que permiten el ingreso a las 6 pantallas disponibles del SCADA local.
2. El “led” de la Bodega #34 se encuentra en estado “normal” de operación (color verde).
3. El “led” de la Grúas Gottwald se encuentra en estado “normal” de operación (color verde).
4. El “led” del Sistema contra incendios se encuentra en estado “normal” de operación (color verde).
5. El “led” del Lado Este de Fertisa se encuentra en estado “alerta” (color rojo).

3.1.1.2 Pantalla “Bodega #34”

En la Figura 3.2 se presenta la pantalla “Bodega #34” con los valores recibidos en la prueba de transmisión de información.



Figura 3.2 Pantalla “Bodega #34” del SCADA local en Node-RED

Dónde:

1. El gráfico tipo “chart” muestra los valores de temperatura de la Bodega #34 en función del tiempo.
2. El indicador tipo “alfanumérico” muestra los valores instantáneos de la temperatura de la Bodega #34.

3.1.1.3 Pantalla “Grúas Gottwald”

La pantalla “Grúas Gottwald” muestra el estado de activación del detector de humos de la Grúa Gottwald #2 y #3.



Figura 3.3 Pantalla “Grúas Gottwald” del SCADA local en Node-RED

Dónde:

1. El “led” del detector de humos en Grúa Gottwald #2 se encuentra en estado “desactivado” (color verde).
2. El “led” del detector de humos en Grúa Gottwald #3 se encuentra en estado “activado” (color rojo).

3.1.1.4 Pantalla “Sistema contra incendios”

A continuación, en la Figura 3.4 se presenta la pantalla “Sistema contra incendios” con los valores instantáneos de temperatura del motor #1 y #2, así también el estado de funcionamiento de los 2 motores.

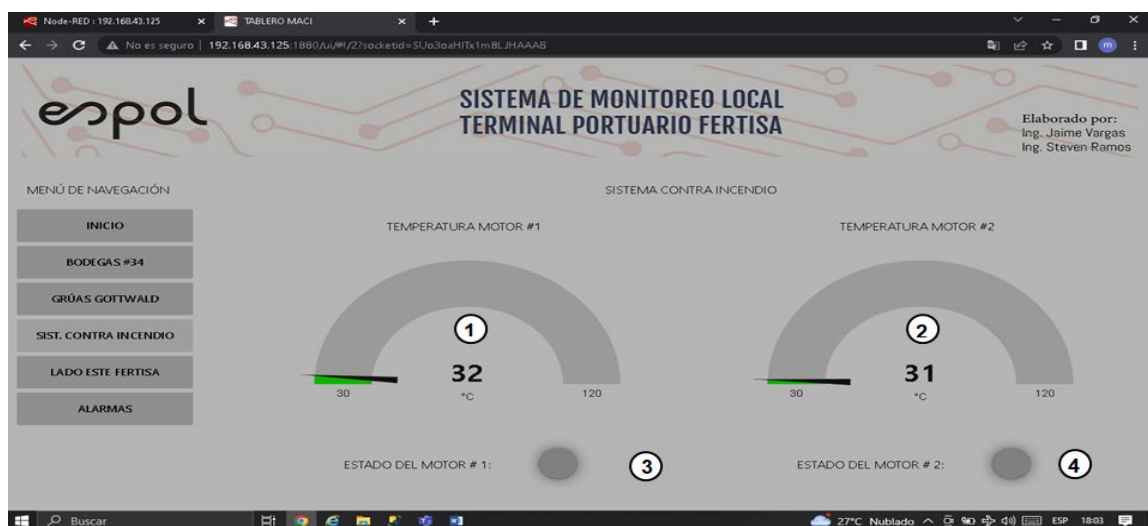


Figura 3.4 Pantalla “Sistema contra incendios” del SCADA local en Node-RED

Dónde:

1. El gráfico tipo “gauge” muestra los valores instantáneos de la temperatura del motor #1 del sistema contra incendios.
2. El gráfico tipo “gauge” muestra los valores instantáneos de la temperatura del motor #2 del sistema contra incendios.
3. El “led” del motor #1 del sistema contra incendios se encuentra en estado “apagado” (sin color).
4. El “led” del motor #2 del sistema contra incendios se encuentra en estado “apagado” (sin color).

3.1.1.5 Pantalla “Lado Este Fertisa”

La pantalla “Lado Este Fertisa” que se muestra en la Figura 3.5, se visualiza los valores del nivel de polución del lado Este de Fertisa.



Figura 3.5 Pantalla “Lado Este Fertisa” del SCADA local en Node-RED

Dónde:

1. El gráfico tipo “chart” muestra los valores de polución del Lado Este de Fertisa en función del tiempo.
5. El indicador tipo “alfanumérico” muestra los valores instantáneos de polución del Lado Este de Fertisa.

3.1.1.6 Pantalla “Alarmas”

Finalmente, la pantalla “Alarmas” se presenta en la Figura 3.6, publicando las diferentes alertas detectadas de las variables y zonas de interés de Fertisa.

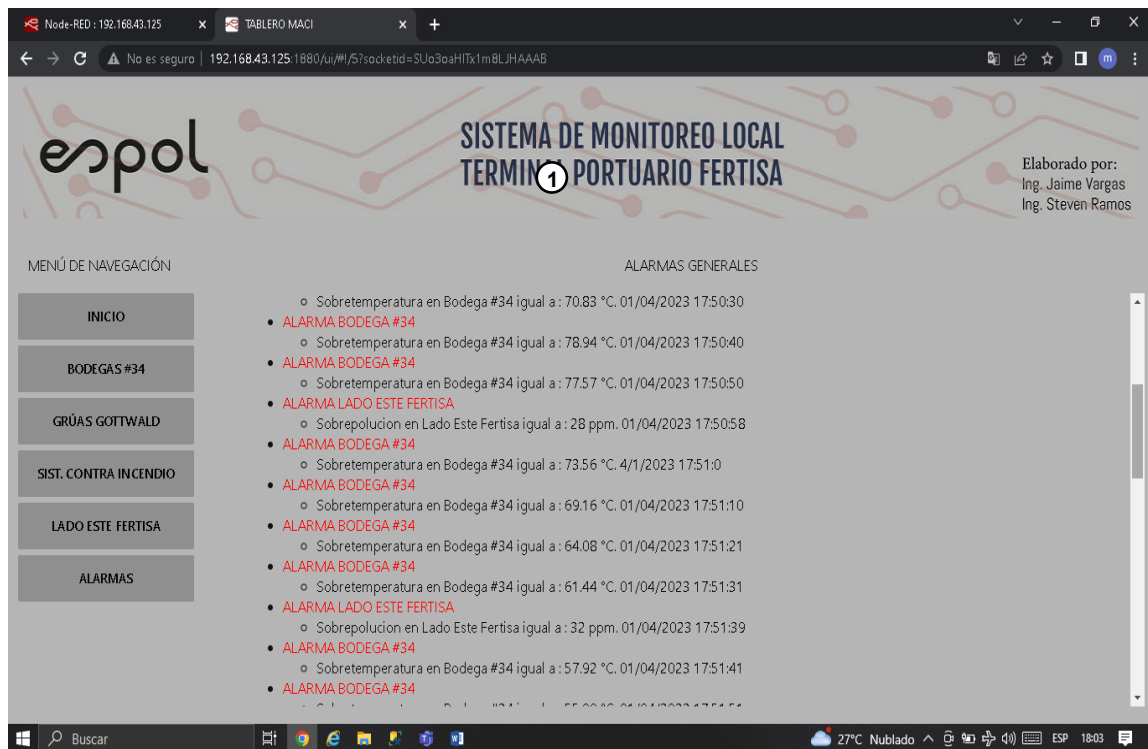


Figura 3.6 Pantalla “Alarmas” del SCADA local en Node-RED

Dónde:

1. El gráfico tipo “template” muestra las alarmas detectadas con el estado o valor, hora y fecha suscitada.

3.1.2 Recepción de información en SCADA de acceso remoto en Ubidots

La prueba de recepción de información en el SCADA de acceso remoto se lo realizó mediante el uso de un dispositivo móvil (tablet) e ingresando a través de un navegador de internet a la plataforma de Ubidots.

Siendo así, se presenta las capturas de pantallas obtenidas en la tablet con las pantallas implementadas en Ubidots.

3.1.2.1 Pantalla “Bodega #34”

En la Figura 3.7 se presenta la pantalla que monitorea la temperatura de la Bodega #34.

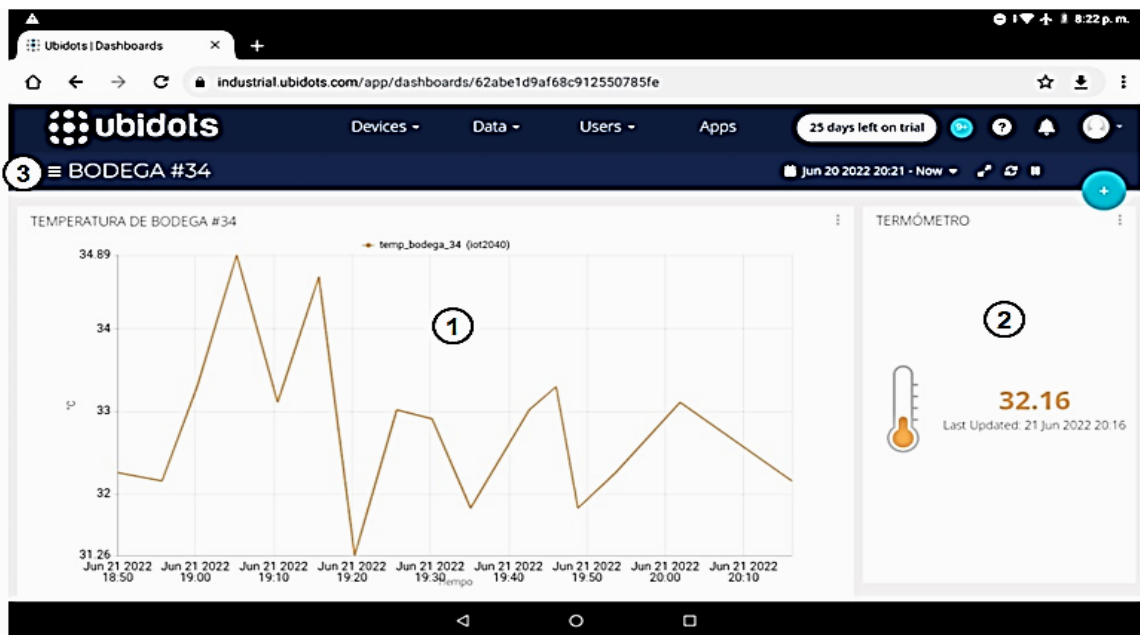


Figura 3.7 Pantalla “Bodega #34 del SCADA local en Ubidots

Dónde:

1. El gráfico tipo “chart” muestra los valores de temperatura en función del tiempo de la Bodega #34.
2. El gráfico tipo “termómetro” muestra los valores instantáneos de la temperatura de la Bodega #34.
3. El “menú de navegación” entre las pantallas implementadas en Ubidots.

3.1.2.2 Pantalla “Grúas Gottwald”

A continuación, se presenta la pantalla “Grúas Gottwald” que permite monitorear el estado de activación del sistema de detección de humo de la grúa Gottwald #2 y #3.

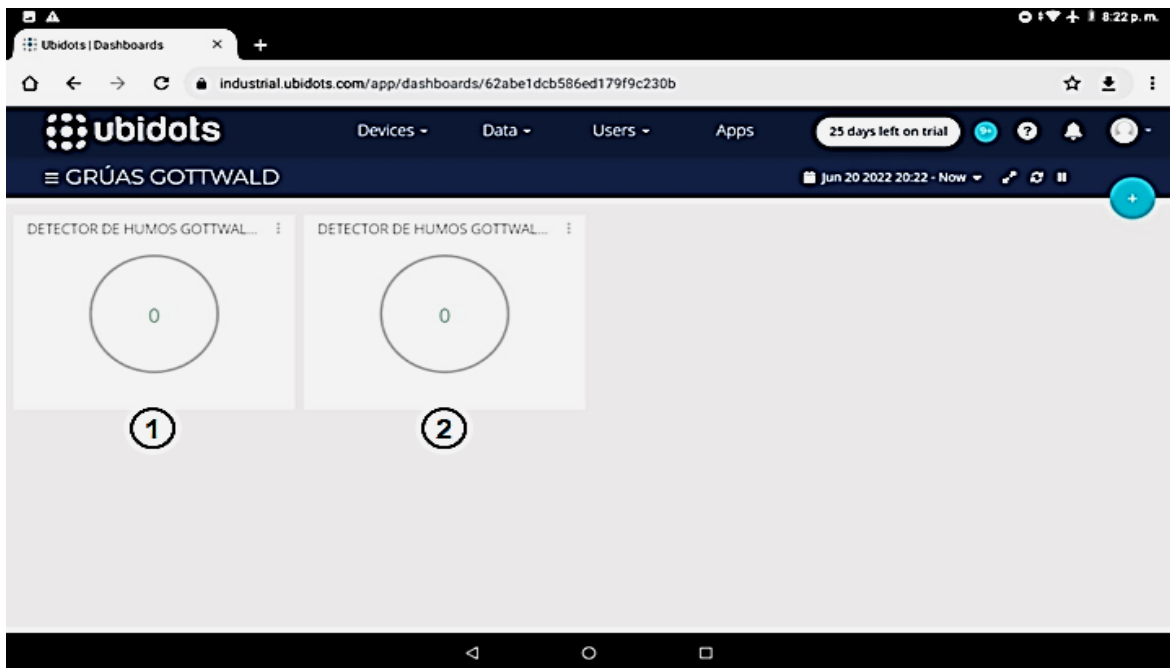


Figura 3.8 Pantalla “Grúas Gottwald” del SCADA remoto en Ubidots

Dónde:

1. El “led” del detector de humo de la grúa Gottwald #2 se encuentra en estado “desactivado” (0 lógico).
2. El “led” del detector de humo de la grúa Gottwald #3 se encuentra en estado “desactivado” (0 lógico).

3.1.2.3 Pantalla “Lado Este Fertisa”

La pantalla “Lado Este Fertisa” se muestra en la Figura 3.9, la misma que monitorea el nivel de polución presente en la zona Este del Puerto de Fertisa.

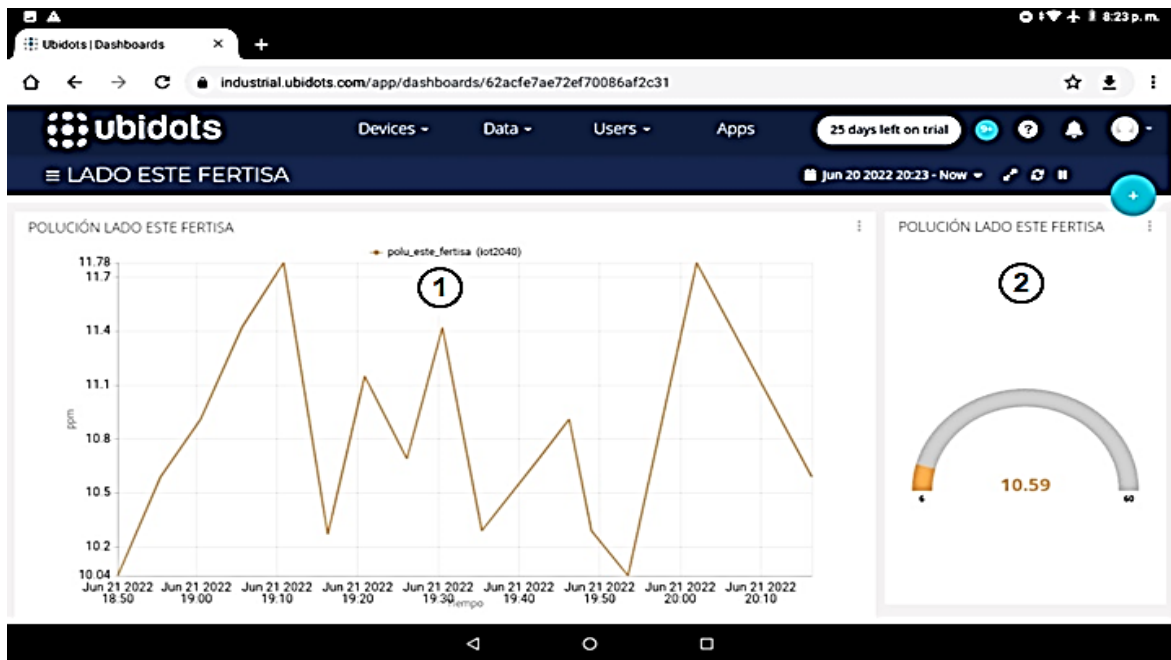


Figura 3.9 Pantalla “Bodega #34” del SCADA remoto en Ubidots

Dónde:

1. El gráfico tipo “chart” muestra los valores de la polución en función del tiempo de la zona Este del Puerto de Fertisa.
2. El gráfico tipo “gauge” muestra los valores instantáneos de la polución existente en la zona Este del Puerto de Fertisa.

3.1.2.4 Pantalla “Sistema contra incendios”

Finalmente, la pantalla de la Figura 3.10 presenta los valores de temperatura y estado de funcionamiento tanto del motor #1 y #2 del sistema contra incendios.

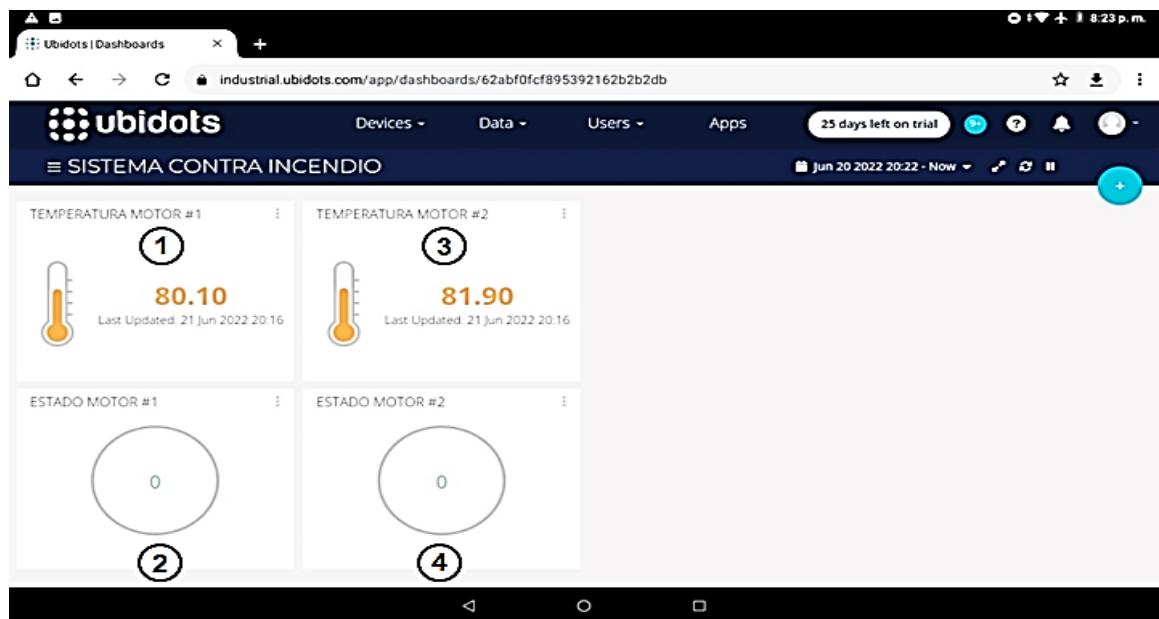


Figura 3.10 Pantalla “Sistema contra incendios” del SCADA remoto en Ubidots

Dónde:

1. El gráfico tipo “termómetro” muestra los valores instantáneos de la temperatura del motor #1 del sistema contra incendios.
2. El “led” del estado de funcionamiento del motor # 1 del sistema contra incendios se encuentra en estado “apagado” (0 lógico).
3. El gráfico tipo “termómetro” muestra los valores instantáneos de la temperatura del motor #2 del sistema contra incendios.
4. El “led” del estado de funcionamiento del motor # 2 del sistema contra incendios se encuentra en estado “apagado” (0 lógico).

3.1.3 Comparación entre las mediciones obtenidas en los SCADA’s

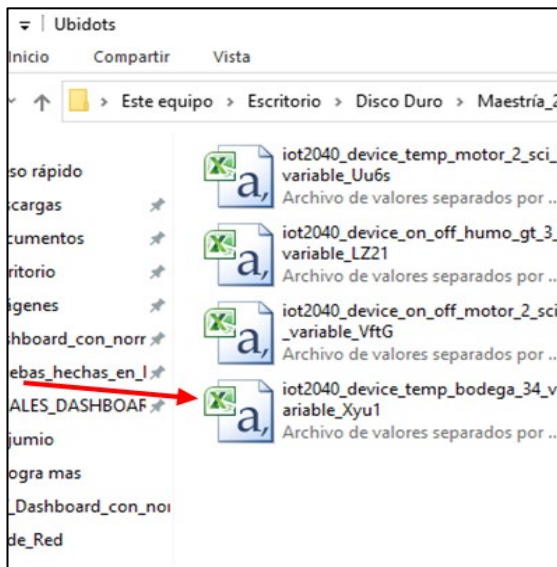
A continuación, en esta prueba se comparó en tablas los valores recibidos tanto en el SCADA local (Node-RED) como en el SCADA remoto (Ubidots), con el objetivo de verificar que los valores o estados de las variables de interés sean similares en una misma hora y fecha.

Por lo tanto, las muestras tomadas en Node-RED serán a través de la captura de pantalla en Node-RED y las muestras tomadas en Ubidots será descargando los

registros almacenados en Ubidots, en la Figura 3.11 y 3.12 se presenta un ejemplo de las muestras tomadas respectivamente.



Figura 3.11 Captura de pantalla del SCADA local en Node-RED



	B12			
				A
1	timestamp,	temp_bodega_34,	context,	temp_bo
2	165586057000,	32.16,	{},	2022-06-21 20:16:10.070
3	1655859713890,	33.11,	{},	2022-06-21 20:01:53.8960
4	1655859220980,	32.26,	{},	2022-06-21 19:53:40.9860
5	1655858931110,	31.83,	{},	2022-06-21 19:48:51.1500
6	1655858764500,	33.3,	{},	2022-06-21 19:46:04.5400
7	1655858558470,	33.02,	{},	2022-06-21 19:42:38.4730
8	1655858109188,	31.83,	{},	2022-06-21 19:35:09.1880

Figura 3.12 Registros tipo “Excel” que contienen los valores del SCADA remoto en Ubidots

Teniendo en cuenta lo anterior, y mencionando que las mediciones de los valores se realizaron el viernes 30 de diciembre del 2022, tomando en cuenta que para cada variable un total de 10 muestras y una muestra tomada cada 5 minutos, a continuación se presenta los resultados obtenidos.

3.1.3.1 Medición de la temperatura de la Bodega #34

En la Tabla 3.1 se muestra los resultados obtenidos de la temperatura de la Bodega #34.

Tabla 8.1 Comparación de los valores de temperatura de la Bodega #34

Hora	Temperatura Bodega #34 SCADA local Node-Red [°C]	Temperatura Bodega #34 SCADA remoto Ubidots [°C]
18:50:43	32.26	32.26
18:55:35	32.16	32.16
19:00:28	33.30	33.30
19:05:32	34.89	34.89
19:10:29	33.11	33.11
19:15:36	34.63	34.63
19:20:29	31.26	31.26
19:25:43	33.02	33.02
19:30:39	32.91	32.91
19:35:45	31.83	31.83

3.1.3.2 Estado de los detectores de humo de las Grúas Gottwald

De modo similar a la anterior sección, en la Tabla 3.2 se presenta los estados de activado (1L) o desactivado (0L) de los detectores de humo ubicados en las grúas Gottwald #2 y #3 respectivamente.

Tabla 9.2 Comparación del estado activado/desactivado de los detectores de humo en las grúas Gottwald

Hora	Estado Detector de humo en grúa Gottwald # 2 SCADA local Node-Red [Activado/Desactivado]	Estado Detector de humo en grúa Gottwald #2 SCADA remoto Ubidots [1L/OL]	Estado Detector de humo en grúa Gottwald # 3 SCADA local Node-Red [Activado/Desactivado]	Estado Detector de humo en grúa Gottwald #3 SCADA remoto Ubidots [1L/OL]
18:50:31	Desactivado	0L	Activado	1L
18:55:32	Desactivado	0L	Desactivado	0L
19:00:33	Activado	1L	Desactivado	0L
19:05:27	Desactivado	0L	Activado	1L
19:10:35	Activado	1L	Desactivado	0L
19:15:17	Activado	1L	Desactivado	0L
19:20:23	Desactivado	0L	Desactivado	0L
19:25:18	Desactivado	0L	Activado	1L
19:30:31	Activado	1L	Desactivado	0L
19:35:23	Desactivado	0L	Activado	1L

3.1.3.3 Medición de la temperatura y estado de funcionamiento de los motores del Sistema contra incendios

En este apartado se presentan la Tablas 3.3 y 3.4 con las mediciones de temperatura obtenidas del motor #1 y # 2, así también, el estado de funcionamiento de encendido (1L) o apagado (OL) de cada motor del SCI.

Tabla 10.3 Comparación de los valores de temperatura de los motores del Sistema contra incendios

Hora	Temperatura Motor # 1 - SCI SCADA local Node-Red [°C]	Temperatura Motor # 1 - SCI SCADA remoto Ubidots [°C]	Temperatura Motor # 2 - SCI SCADA local Node-Red [°C]	Temperatura Motor # 2 - SCI SCADA remoto Ubidots [°C]
18:50:31	81.00	81.00	81.00	81.00
18:55:32	80.10	80.10	81.9	81.9
19:00:33	79.90	79.90	79.10	79.10
19:05:27	78.98	78.98	79.71	79.71
19:10:35	79.80	79.80	80.27	80.27
19:15:17	78.81	78.81	79.81	79.81
19:20:23	79.33	79.33	78.96	78.96
19:25:18	78.79	78.79	78.91	78.91
19:30:31	79.88	79.88	78.97	78.97
19:35:23	78.88	78.88	Apagado	OL

Tabla 11.4 Comparación del estado encendido/apagado de los motores del Sistema contra incendios

Hora	Estado Motor #1 SCI SCADA local Node-Red [Encendido/Apagado]	Estado Motor #1 SCI SCADA remoto Ubidots [1L/OL]	Estado Motor #2 SCI SCADA local Node-Red [Activado/Desactivado]	Estado Motor #2 SCI SCADA remoto Ubidots [1L/OL]
18:50:31	Apagado	OL	Apagado	OL
18:55:32	Apagado	OL	Apagado	OL
19:00:33	Apagado	OL	Apagado	OL
19:05:27	Apagado	OL	Apagado	OL
19:10:35	Apagado	OL	Apagado	OL
19:15:17	Apagado	OL	Apagado	OL
19:20:23	Apagado	OL	Apagado	OL
19:25:18	Apagado	OL	Apagado	OL
19:30:31	Apagado	OL	Apagado	OL
19:35:23	Apagado	OL	Apagado	OL

3.1.3.4 Medición de la polución del lado Este de Fertisa

Por último, en la Tabla 3.5 se presenta los valores de polución obtenidos en el lado Este del Puerto de Fertisa.

Tabla 12.5 Comparación de los valores de polución en el lado Este de Fertisa

Hora	Polución Lado Este Fertisa SCADA local Node-Red [ppm]	Polución Lado Este Fertisa SCADA remoto Ubidots [ppm]
18:50:22	10.04	10.04
18:55:24	10.59	10.59
19:00:24	10.91	10.91
19:05:27	11.42	11.42
19:10:31	11.78	11.78
19:15:28	10.27	10.27
19:20:25	11.15	11.15
19:25:29	10.69	10.69
19:30:33	11.42	11.42
19:35:32	10.29	10.29

Finalizando la presentación de las pruebas de funcionamiento del sistema de monitoreo, se puede evidenciar una correcta transmisión de información desde los dispositivos electrónicos de campo hasta los SCADA's en Node-RED y Ubidots, logrando que la cantidad de información transmitida en este proyecto sea de forma continua y sin pérdida de datos durante la visualización en las pantallas implementadas.

Además, se verifico que el muestro simultaneo tanto en el SCADA de acceso local como en el remoto, si coinciden su valor y estado en ambos SCADA's, de modo que, se logra implementar un sistema de monitoreo confiable para el uso del personal del departamento de la CEMFER.

3.2 Pruebas de funcionamiento del sistema de alertas

En esta sección para las pruebas en el sistema de alertas, se consideró validar en dos partes, la primera parte es la validación del funcionamiento de la pantalla de alarmas del SCADA local para dos variables distintas y estas son:

- La alerta de sobretemperatura en la Bodega #34 ($> 50^{\circ}\text{C}$)
- La alerta de detección de humo en la grúa Gottwald #2.

Y la segunda parte, es validar el sistema de alerta por correo electrónico de sobretemperatura de los motores del sistema contra incendios ($> 92^{\circ}\text{C}$).

3.2.1 Alerta de sobretemperatura en la Bodega #34 en el SCADA local

En esta prueba ha consistido en aumentar la temperatura del terminal del RTD mediante una pistola de calor, de manera que la temperatura en la RTD supere los 50°C .

En la Figura 3.13 se muestra la prueba realizada para forzar el calentamiento del RTD.



Figura 3.13 Prueba para aumentar la temperatura del RTD

Mencionado lo anterior, en la Figura 3.14 se muestra el controlador con la temperatura de la Bodega #34 y en la Figura 3.15 se visualiza la alerta detectada en la pantalla del SCADA de acceso local en Node-RED.



Figura 3.14 Temperatura de la Bodega #34



Figura 3.15 Alerta de sobrettemperatura detectada en el SCADA local en Node-RED

3.2.2 Alerta de detección de humo en Grúa Gottwald #2 en SCADA local

En este apartado algo similar ocurre con la prueba de alerta de detección de humo, pero su activación es mediante un aerosol especial para que el detector active su señal de alerta.

En la Figura 3.16 se muestra la prueba realizada para activar la señal de activación del detector de humo.



Figura 3.16 Prueba para activar la señal de detección de humo en Grúa Gottwald #2

En consecuencia, en la Figura 3.17 se muestra la señal luminosa activada del detector de humo de la grúa Gottwald #2.



Figura 3.17 Detector de humo activado en grúa Gottwald #2

Luego, en la Figura 3.18 se visualiza la alerta detectada en el SCADA local de Node-RED.

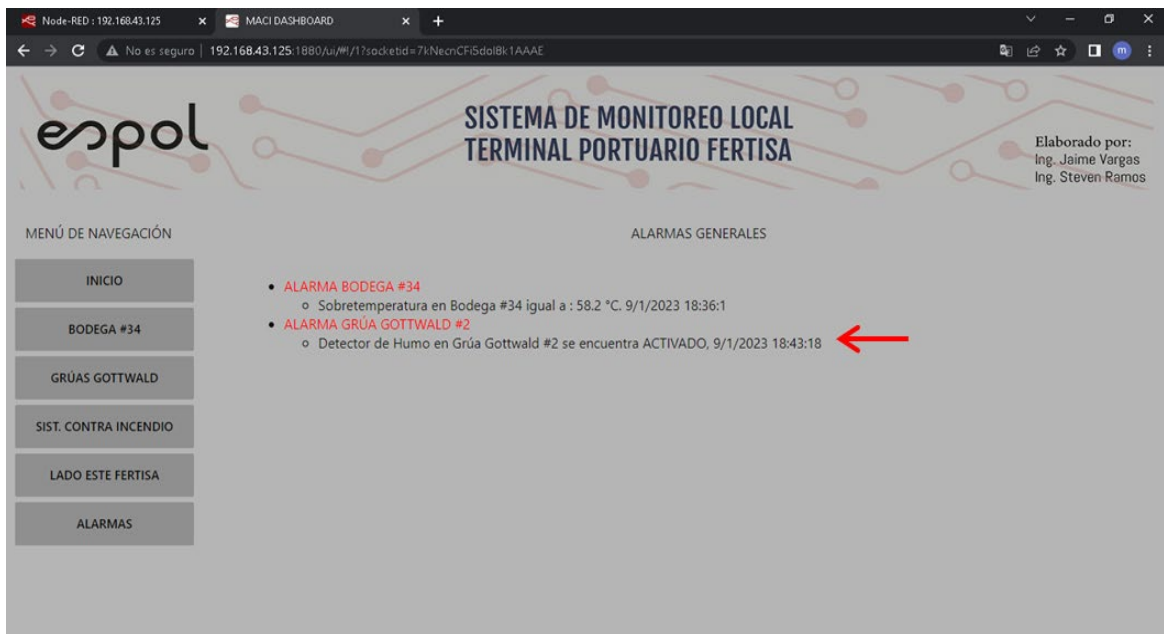


Figura 3.18 Alerta de detección de humo activada en grúa Gottwald #2 en el SCADA local en Node-RED

Más resultados conseguidos en esta prueba realizada se presentan en la Figura 3.19.

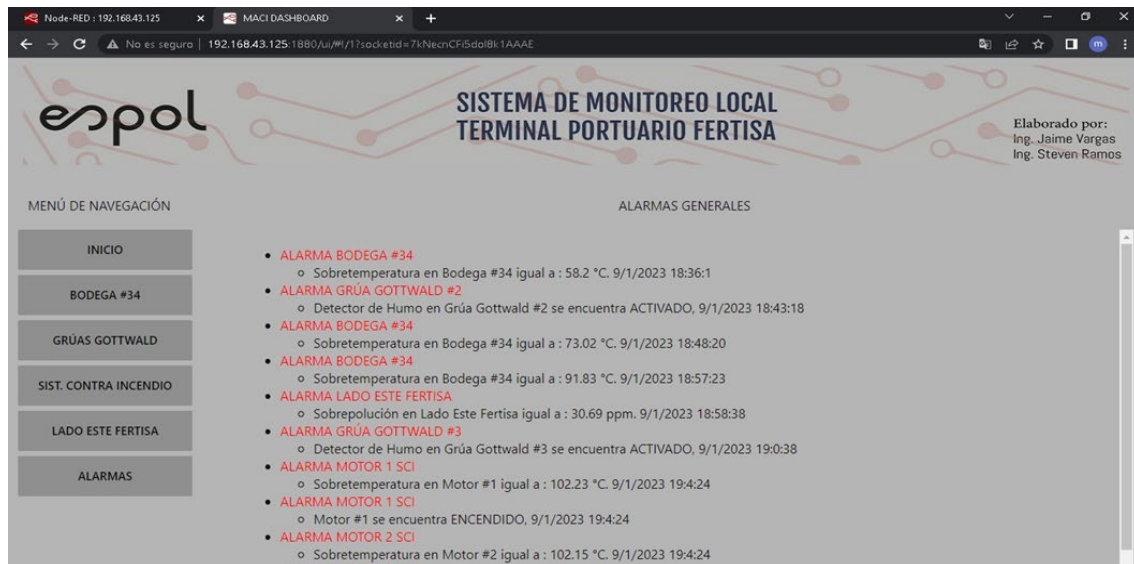


Figura 3.19 Alertas detectadas en el SCADA local en Node-RED

3.2.3 Alerta de correo electrónico de sobretemperatura de motores de SCI

Para validar el envío de la alerta por correo electrónico de una sobretemperatura en los motores del sistema contra incendios, se ha considerado en Node-RED simular un valor que supere los 92°C, ya que por temas de seguridad las RTD no se les puede exponer a un aumento de temperatura mediante una pistola de calor ya que se encuentran sumergidas en refrigerante en sus respectivos motores.

En la Figura 3.20 se muestra la trama correspondiente a los motores del sistema contra incendio con los valores a simular para el envío de la alerta por correo electrónico.

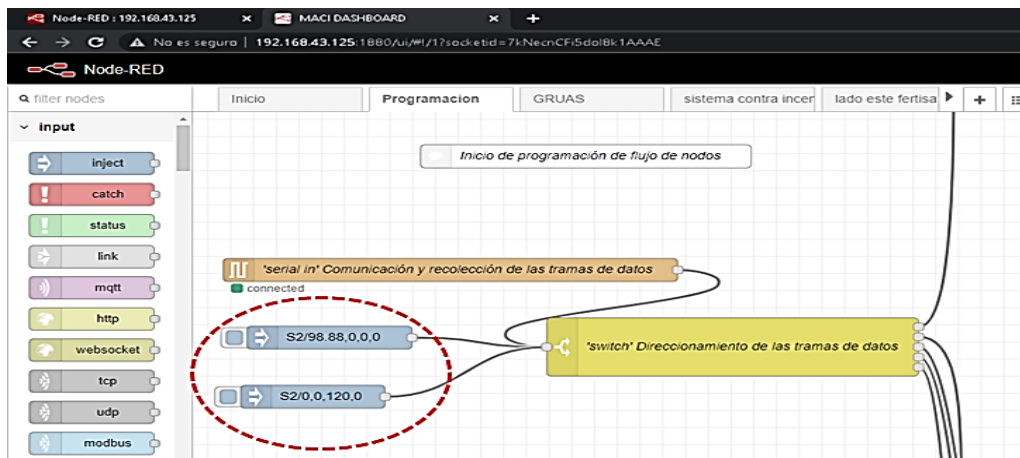


Figura 3.20 Prueba para activar la señal de detección de humo en Grúa Gottwald #2

Siendo así, en la Figura 3.21 se presenta los correos electrónicos recibidos por las alertas de sobretemperatura del sistema contra incendios.

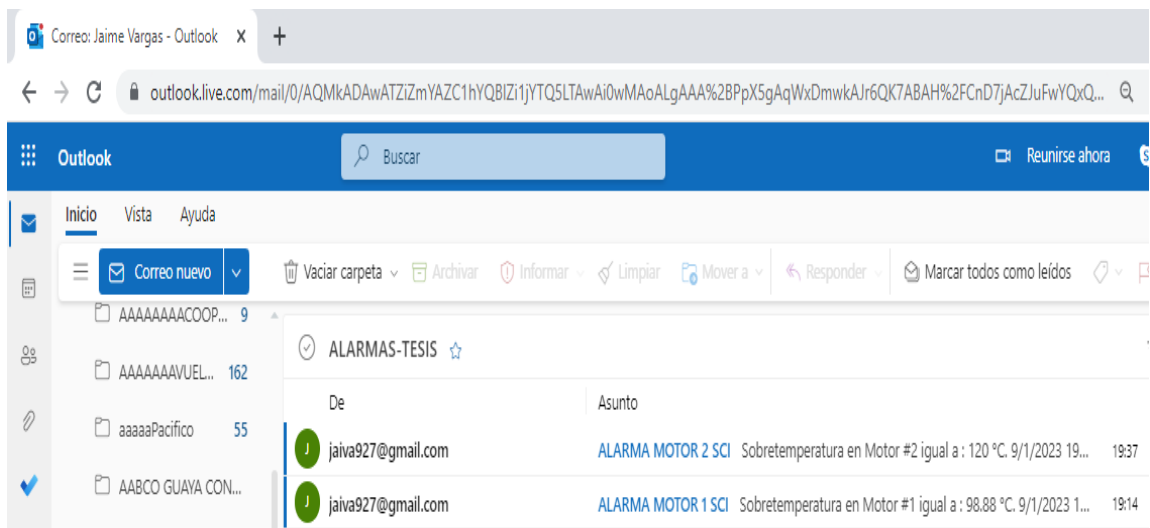
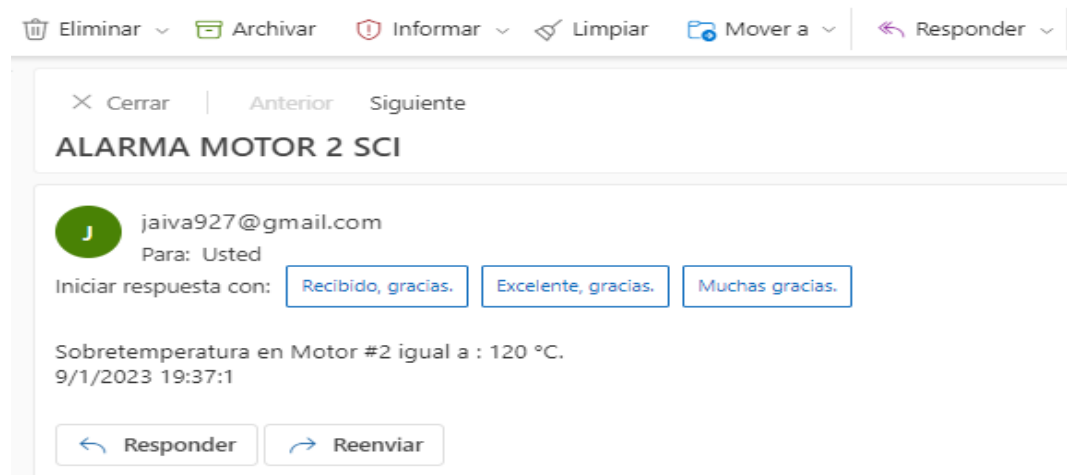


Figura 3.21 Alertas de sobretemperatura recibidas por correo electrónico

Y en la Figura 3.22 a) y 3.22 b) se muestran el mensaje que contiene cada correo electrónico.



a)



b)

Figura 3.22 Mensajes de los correos electrónicos

3.3 Análisis de costo de la propuesta

A continuación, se presenta el costo del desarrollo del presente proyecto mediante tablas que desglosan los materiales utilizados, del mismo modo una valoración aproximada de las horas de mano de obra de programación y montaje del hardware.

Tabla 13.6 Costo de componentes de Hardware

Item	Descripción	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
1	Gateway Simatic IOT2040	1	\$ 541,00	\$ 541,00
2	Adaptador de corriente 110vac/24v	1	\$ 78,43	\$ 78,43
3	Modulo XBee ZB PRO S2C RPSMA	7	\$ 35,00	\$ 245,00
4	Arduino Xbee Shield	5	\$ 8,00	\$ 40,00
5	Arduino Ethernet Shield	1	\$ 12,00	\$ 12,00
6	Arduino Uno r3	4	\$ 17,00	\$ 68,00
7	Arduino Mega 2560 R3	1	\$ 45,00	\$ 45,00
8	Antena omnidireccional 2,4GHz rpsma 10 dbi	1	\$ 20,00	\$ 20,00
9	Antena omnidireccional 2,4GHz rpsma 6 dbi	6	\$ 12,00	\$ 72,00
10	Cable extencion 20m RPSMA	3	\$ 20,00	\$ 60,00
11	Modulo XBee explorer	2	\$ 7,00	\$ 14,00
12	Adaptador de corriente 9v	7	\$ 5,00	\$ 35,00
13	Banco de batería 10000mA Samsung	1	\$ 75,00	\$ 75,00
14	Controlador de tempertura NX4-03	1	\$ 187,00	\$ 187,00
15	Sonda tipo ptc	1	\$ 65,00	\$ 65,00
16	Sensor de concentracion de particulas PMS 1003	1	\$ 45,00	\$ 45,00
17	Tarjeta 4 a 20mA A Voltaje	1	\$ 15,00	\$ 15,00
18	Convertor FT232usbUART	1	\$ 9,00	\$ 9,00
17	Cajas para instalacion/ nodos 1 y 5	5	\$ 8,00	\$ 40,00
			Total general	\$1.666,43

Tabla 14.7 Costo de mano de obra del proyecto

Item	Descripción	Horas	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
1	Investigación de información para desarrollo de proyecto	40	\$ 5,00	\$ 200,00
2	Desarrollo de programación en IOT2040	65	\$ 15,00	\$ 975,00
3	Desarrollo de programación para módulos arduino	120	\$ 8,00	\$ 960,00
4	Desarrollo programación de PLC LOGO 8- comunicación ethernet	25	\$ 10,00	\$ 250,00
5	Armado de nodos 1 y 5	16	\$ 6,00	\$ 96,00
6	Instalación de nodos y antenas	24	\$ 6,00	\$ 144,00
7	Pruebas y comisionado de implementación	40	\$ 10,00	\$ 400,00
			Total general	\$ 3.025,00

Tabla 15.8 Costo total de proyecto

Item	Descripción	Costo (USD)
1	Costo de componentes de Hardware	\$1.666,43
2	Costo de mano de obra del proyecto	\$3.025,00
	Costo total Proyecto	\$4.691,43

La solución propuesta que cumple con los objetivos solicitados por la empresa Fertisa tiene un costo total de \$4691,43, siendo un costo que está libre del uso de softwares con licencias, que normalmente son costosas sus membresías, y que brindan similares beneficios para la supervisión y monitoreo de las variables y áreas de interés en Fertisa.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En este proyecto con la integración de varios sensores y controladores con tarjetas de desarrollo Arduino y XBee, junto con el módulo del IIoT “Gateway IOT2040 de Siemens”, se ha demostrado cómo puede introducirse un sistema de monitorización enfocado a la Industria 4.0, a través de la monitorización, recolección, procesamiento y almacenamiento de datos en la nube de las diferentes áreas de Fertisa (Bodega, Grúas, SCI y Zona Este) y con ello, facilitar su análisis y toma de decisiones respectivo en cada nivel jerárquico de la empresa.

Se diseñó e implementó un SCADA de acceso local y remoto, con el uso de las plataformas Node-RED y Ubidots, y empleando sus protocolos de comunicación serial (tipo USB) y MQTT respectivamente, con la finalidad que las variables como: la temperatura de la Bodega #34 y de los motores del SCI, el nivel de polución del lado Este de Fertisa, así mismo, los estados de interés como: detección de humo en las Grúas Gottwald y encendido de motores del SCI puedan ser monitoreadas en línea a través de una PC local y en un dispositivo móvil con acceso a internet y así prescindir de su sistema tradicional de vigilancia, el cual un operario era delegado para verificar de forma presencial las variables y estados de interés ubicadas en distintas zonas del Puerto de Fertisa.

La implementación del sistema de alertas en el SCADA local, se validó exitosamente, gracias a las diferentes pruebas realizadas por medio de la manipulación de la temperatura de la Bodega #34 y a la activación de detección de humo en la Grúa Gottwald #2, con el fin de que sus valores o estados superen o cambien sus límites de operación y con ello, una alerta sea presentada en la pantalla de Alertas del SCADA local y otra sea notificada por correo electrónico, lo cual lo convierte a este sistema en una alternativa muy

confiable para acortar tiempos de respuesta y salvaguardar la integridad de los equipos.

Se realiza satisfactoriamente la implementación de red con módulos inalámbricos de tecnología Zigbee integrándolos a dispositivos embebidos dedicados a una tarea específica de acuerdo a los requerimientos de cada nodo. Se ha utilizado software open source tanto para la configuración de dispositivos XBee y Arduino; X-CTU, Arduino IDE.

La integración con dispositivos industriales y dispositivos tipo Arduino es factible debido a los diferentes protocolos de comunicación que disponen las tarjetas de desarrollo Arduino; específicamente el nodo concentrador Arduino mega extrae la data de un plc Logo 8 mediante protocolo de comunicación Ethernet.

Para el desarrollo de la implementación no se han realizado modificaciones sustanciales a nivel hardware únicamente se han ubicado dispositivos tipo relé o utilizado comunicación industrial para no afectar la originalidad de las instalaciones actuales.

Recomendaciones

Utilizar sensor más robusto de tipo industrial (RK300-02), para el nodo de concentración de partículas el actual modulo presenta datos constantes pero aleatoriamente se dispara su lectura.

Realizar una mini red de sensores de temperatura en la bodega #34 debido a las dimensiones de la misma en este apartado únicamente se registra la temperatura del umbral de la bodega.

Validar la criticidad de algún nodo adicional incluido a la red. En este proyecto el nodo concentrador realiza consulta cada 2 segundos a cada nodo de forma secuencial N1, N2 hasta N5 pero si se aumentan nodos se debería validar

reducir el tiempo de consulta o realizar una variación en la programación y que pueda alertar al concentrador de alguna alarma crítica.

Es recomendable ubicar las antenas físicas respetando la línea de vista y la ganancia descrita respecto al alcance de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Santos Cardama, “Historia de las grúas del Puerto de Málaga: en la época contemporánea (parte I),” *Rev. Ing. y Humanidades*, vol. I, pp. 1–14, 2011.
- [2] L. Mora García, “Gestión logística en centros de distribución, bodegas y almacenes, Primera edición,” *Bogota Bibl. Nac. Colomb.*, 2011.
- [3] Hidromec, “¿Qué es un sistema contra incendios?,” 2018. <https://hidromecingenieros.com/que-es-un-sistema-contra-incendios/>.
- [4] Organización Mundial de la Salud, “Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire,” *Resum. Ejec.*, pp. 4–7, 2021, [Online]. Available: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [5] P. Basco, A; Beliz, D;Coatz, D;Garnero, *Industria 4.0: Fabricando el Futuro*. 2018.
- [6] J. Pizarro Peláez, *Internet de las cosas (IOT) con ESP*. 2020.
- [7] A. Semle, “Protocolos IIoT para considerar,” *AADECA Rev.*, pp. 32–35, 2006.
- [8] A. Moreano, “Diseño e implementación de un sistema distribuido empleando protocolo de comunicación industrial enfocado a los objetos (IIoT), para el control y monitoreo remoto en tiempo real (RT) a través de la web en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Uni,” Universidad de las Fuerzas Armadas, 2019.
- [9] J. Salazar, “Redes Inalámbricas,” *TechPedia*, [Online]. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf.
- [10] D. Gislason, “Zigbee Wireless Networking,” vol. 00448, 2007.
- [11] H. Romero Mestre, “Ciberseguridad en Sistemas de Control Industrial o ICSS,” *España*, 2018. <http://hdl.handle.net/10609/73007>.
- [12] H. Vallejo, “PLC Los Controladores Lógicos Programables,” *Artículo Tapa*, vol. 166, pp. 1–9, [Online]. Available: <https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/349/1259/6572/6620/78618.pdf>.
- [13] R. Concepción, “Tarjetas de Desarrollo (Episodio #8),” 2019. <https://www.rjconcepcion.com/podcast/tarjetas-de-desarrollo-episodio-8/>.
- [14] Aprendiendo Arduino, “Gateways IoT,” 2018. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/21/gateways-iot/>.
- [15] infoPLC, “Gateways con Microsoft Azure IoT Edge para aplicaciones industriales

- inteligentes,” 2018. <https://www.infoplcn.net/noticias/item/105599-moxa-gateways-microsoft-azure-iot-edge-industria>.
- [16] Centro de formación técnica para la Industria, “Que es un sistema SCADA, para qué sirve y cómo funciona.” <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>.
- [17] A. Giros, “Desarrollo e implementación de una red de sensores Zigbee mediante el dispositivo Xbee de Digi,” Universitat Rovira Virgili, 2012.
- [18] Digi, “Zigbee vs. Bluetooth: Cómo elegir el protocolo adecuado para su aplicación IoT,” 2021. <https://es.digi.com/blog/post/zigbee-vs-bluetooth-choosing-the-right-protocol>.
- [19] M. Cázarez, G; Rodríguez, A; Ramírez, “Sistema de Telemedición de consumo de agua potable para aplicaciones residenciales y comerciales,” Chihuahua, 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/273134928_SISTEMA_DE_TELEMEDICION_DE_CONSUMO_DE_AGUA_POTABLE_PARA_APLICACIONES_RESIDENCIALES_Y_COMERCIALES.
- [20] Digi, “¿Cuáles son las diferencias entre DigiMesh y ZigbeeMesh?,” 2020. <https://es.digi.com/blog/post/what-are-the-differences-between-digimesh-and-zigb>.
- [21] DIGI, “Digi XBee Zigbee.” <https://es.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/rf-modules/2-4-ghz-rf-modules/xbee-zigbee>.
- [22] R. Suarez, “ARDUINO,” 2023. <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/rsuagued/arduino/>.
- [23] Arduino Stack Exchange, “Arduino Mega,” 2017. <https://arduino.stackexchange.com/questions/25254/arduino-mega-2560-stacked-with-ethernet-sd-card-shield-heat-up>.
- [24] Siemens, “Simatic IoT2000- The intelligent gateway for industrial IoT solutions,” 2016. <https://www.innovation4.cn/library/r38678>.
- [25] Siemens, “The intelligent Gateway for Industrial IoT solutions Simatic IOT2000,” p. 31.
- [26] cliArduino Arduino, “IDE - Aprendiendo Arduino,” *Jan. 27, 2018*. <https://www.aprendiendoarduino.com/tag/ide/>.

- [27] Digi, “Plataforma de configuración de próxima generación para soluciones XBee/RF,” *Digi International Inc.* <https://es.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/digi-xbee-tools/xctu>.
- [28] Node-Red, “Node-RED.” <https://nodered.org/> .
- [29] Ubidots, “IoT and Cloud tools to build your business.” <https://ubidots.com/platform/>.
- [30] REDCOIN, “NX4-03 CONTROLADOR DE TEMPERATURA.” <https://redcoind.pe/producto/nx4-03-controlador-de-temperatura-digital-48x48mm-4-dig-out-rele-3-pid-com-rs485-100-240vac/>.
- [31] KAMAMI, “Plantower PMS3003.” <https://kamami.pl/en/air-quality-sensors/563980-plantower-pms3003-laser-dust-sensor.html>.

APÉNDICES

APÉNDICE A