



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

**SEDE AZOGUES**

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y

CONSTRUCCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

---

Tesis previa a la obtención del grado académico de Ingeniero  
Electrónico

TEMA:

**“SISTEMA DE MONITOREO DEL CAUDAL Y TURBIDEZ EN LA ETAPA DE  
ENTRADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
MAHUARCAY PERTENECIENTE A LA EMPRESA EMAPAL-EP, BASADO EN  
LA TECNOLOGÍA WEB SERVER Y CONTROLADORES LÓGICOS  
PROGRAMABLES”**

**Autor:**

Edwin Gustavo Morquecho Chuqui

**Director:**

Ing. Jaime Eduardo Rojas Coronel. MSc

Azogues – Ecuador

2020

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Edwin Gustavo Morquecho Chuqui con documento de identidad Nro. 0302716691 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Católica de Cuenca la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor de trabajo de titulación: **“SISTEMA DE MONITOREO DEL CAUDAL Y TURBIDEZ EN LA ETAPA DE ENTRADA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MAHUARCAY PERTENECIENTE A LA EMPRESA EMAPAL-EP, BASADO EN LA TECNOLOGÍA WEB SERVER Y CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Católica de Cuenca, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Católica de Cuenca.

Azogues 2 de marzo del 2020

---

**Edwin Gustavo Morquecho Chuqui**

**C.I. 0302716691**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del trabajo de grado, presentado por el Sr. Edwin Gustavo Morquecho Chuqui para optar por el título de INGENIERO ELECTRÓNICO, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Azogues, a los 2 días del mes de marzo de 2020.

---

**Ing. Jaime Eduardo Rojas Coronel. MSc**

**C.I. 0301567137**

## CERTIFICADO DE AUTORÍA

El presente trabajo investigativo de proyecto profesional de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Electrónico, cuyo tema es “*Sistema de monitoreo del caudal y turbidez en la etapa de entrada de la planta de tratamiento de agua potable Mahuarcay perteneciente a la empresa EMAPAL-EP, basado en la tecnología web server y controladores lógicos programables*”, corresponden al trabajo de investigación del autor, además certifico que he cumplido con todas las observaciones realizadas por el tribunal evaluador, por lo que las ideas, opiniones vertidas en el presente, son de exclusiva responsabilidad del autor.

**Estudiante:**

---

**Edwin Gustavo Morquecho Chuqui**

**C.I. 0302716691**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme permitido cumplir uno mis propósitos anhelado, además de enseñarme los verdaderos valores y principios con los cuales se debe convivir con las personas.

A mi tutor de tesis, Ing. Jaime Rojas quien, con su experiencia y conocimientos supo ayudarme y guiarme en este proceso.

Al Ing. Álvaro Coronel Docente de la carrera de Ingeniería Electrónica, quien nos transmitió sus conocimientos en el ámbito laboral para adquirir experiencia en nuestro trabajo y realizarlo de la mejor manera, gracias por todas las experiencias y enseñanzas impartidas.

Finalmente agradezco a todos y cada uno de mis amigos y compañeros de clase, por su apoyo y colaboración a lo largo de toda la carrera además un grato agradecimiento a cada uno de los docentes que formaron parte de todo nuestro desarrollo educativo no solo en el ámbito educativo sino en el ámbito moral.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios por haberme dado la vida y haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional, gracias padre.

A mis padres Rubén Tixi y Doris Chuqui, por ser los pilares más importantes en mi vida, demostrándome siempre su amor incondicional y comprensión, que con sus sabios consejos me impulsaron a seguir adelante.

A mi hermano y hermanas Cristian, Ximena y Gabriela quienes con su apoyo y compañía me ayudaron a superar los momentos más duros y difíciles, demostrándome el verdadero significado de la familia.

# RESUMEN

Este trabajo de investigación orientado a los sistemas de monitoreo en los procesos de tratamiento de agua potable, presenta el diseño e implementación de un sistema de vigilancia web en la etapa de entrada de la Planta de tratamiento Mahuarcay perteneciente a la empresa municipal de agua potable y alcantarillado (EMAPAL-EP). El sistema permite capturar los valores de caudal y turbidez en la entrada de la planta a través de dispositivos de adquisición y transmisión como sensores y transmisores electrónicos, para ser visualizados en una interfaz gráfica web creada en base a tecnologías de desarrollo web como el entorno de ejecución multiplataforma Node.js y el lenguaje de programación JavaScript, que proporcionan al operador de herramientas necesarias para su alerta, así como la interacción amigable con las variables de entrada y el registro de su evolución que facilite la detección de sucesos inesperados con el fin de establecer criterios de ajuste y cambios dentro del proceso.

**Palabras clave:** tratamiento de agua potable, sistema de monitoreo, interfaz gráfica web.

## **ABSTRACT**

This research project, aimed at monitoring processes in the treatment of drinking water, includes the design and deployment of a web-based surveillance system during the input stage of the Mahuarcay treatment plant, which is part of the municipal public company EMAPAL-EP. The application is able to measure the flow rate and turbidity values in the plant input through electronic sensors and transmitters, to be displayed in a web GUI developed with web technologies such as the multi-platform runtime environment Node.js and the JavaScript programming language, providing the user with the necessary warning mechanisms, as well as a user-friendly interface with the input variables and a log of their progress to help detect unusual events in order to set up adjustment criteria and changes in the process.

**KEY WORDS:** drinking water treatment, monitoring system, web GUI.

# ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| RESUMEN .....                                     | VI   |
| ABSTRACT .....                                    | VII  |
| ÍNDICE GENERAL .....                              | VIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                           | XII  |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                             | XVI  |
| CAPÍTULO 1 .....                                  | 1    |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                             | 1    |
| 1.1. <i>Antecedentes</i> .....                    | 3    |
| 1.2. <i>Situación problemática</i> .....          | 5    |
| 1.3. <i>Línea de investigación</i> .....          | 6    |
| 1.3.1. <i>Ámbito</i> .....                        | 6    |
| 1.3.2. <i>Objeto de estudio</i> .....             | 6    |
| 1.3.3. <i>Campo de acción</i> .....               | 6    |
| 1.4. <i>Objetivos</i> .....                       | 7    |
| 1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....              | 7    |
| 1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....         | 7    |
| 1.5. <i>Hipótesis</i> .....                       | 7    |
| 1.6. <i>Justificación</i> .....                   | 8    |
| CAPÍTULO 2 .....                                  | 9    |
| 2. MARCO TEÓRICO .....                            | 9    |
| 2.1. <i>Autómatas Programables</i> .....          | 9    |
| 2.1.1. <i>Arquitectura del Autómata</i> .....     | 10   |
| 2.1.2. <i>Medios de programación</i> .....        | 11   |
| 2.2. <i>PLC S7-200</i> .....                      | 13   |
| 2.2.1. <i>Módulo de Ampliación EM-231</i> .....   | 13   |
| 2.2.2. <i>Módulo de Ampliación CP 243-1</i> ..... | 14   |

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| 2.3.             | <i>Sensores</i> .....  | 16 |
| 2.3.1.           | <i>Sensores de Caudal Electromagnéticos</i> .....                | 17 |
| 2.3.2.           | <i>Sensor Optoelectrónico de Turbidez</i> .....                  | 17 |
| 2.4.             | <i>Transmisores</i> .....  | 18 |
| 2.4.1.           | <i>Tipos de transmisores</i> .....                               | 19 |
| 2.5.             | <i>Sistemas de Monitorización</i> .....                          | 20 |
| 2.5.1.           | <i>Estructura de los Sistemas de Monitorización</i> .....        | 20 |
| 2.5.2.           | <i>Funciones de un sistema de monitorización</i> .....           | 22 |
| 2.5.2.1.         | <i>Adquisición de datos</i> .....                                | 22 |
| 2.5.2.2.         | <i>Registro de datos</i> .....                                   | 23 |
| 2.5.2.3.         | <i>Representación del proceso</i> .....                          | 23 |
| 2.5.2.4.         | <i>Generación de Alarmas</i> .....                               | 24 |
| 2.5.2.5.         | <i>Gráfica y Tendencias</i> .....                                | 24 |
| 2.5.2.6.         | <i>Históricos y bases de datos</i> .....                         | 25 |
| 2.6.             | <i>Redes de Comunicación Industrial</i> .....                    | 26 |
| 2.6.1.           | <i>Pirámide de automatización CIM</i> .....                      | 26 |
| 2.6.2.           | <i>Topología de redes industriales</i> .....                     | 27 |
| 2.6.2.1.         | <i>Topología de bus</i> .....                                    | 27 |
| 2.6.2.2.         | <i>Topología de anillo</i> .....                                 | 27 |
| 2.6.2.3.         | <i>Topología estrella</i> .....                                  | 28 |
| 2.7.             | <i>Protocolos de comunicación industrial</i> .....               | 29 |
| 2.7.1.           | <i>Modelo OSI</i> .....  | 29 |
| 2.7.2.           | <i>Hart (Highway Addressable Remote Transducer)</i> .....        | 29 |
| 2.7.3.           | <i>Ethernet</i> .....  | 30 |
| 2.7.4.           | <i>Servidores</i> .....  | 33 |
| CAPÍTULO 3 ..... |  | 37 |
| 3.               | <i>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO</i> .....    | 37 |
| 3.1.             | <i>Generalidades de la Planta de tratamiento Mahuarcay</i> ..... | 37 |
| 3.2.             | <i>Consideraciones del modelo</i> .....                          | 41 |
| 3.3.             | <i>Estructura General del sistema</i> .....                      | 42 |
| 3.4.             | <i>Montaje y Configuración de Componentes Hardware</i> .....     | 44 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.4.1. Sensores.....  | 44  |
| 3.4.2. Transmisores.....  | 46  |
| 3.4.3. Autómata programable y módulos de expansión.....                         | 51  |
| 3.4.4. Configuración y Programación del PLC S7-226.....                         | 54  |
| 3.5. <i>Diseño e implementación de la aplicación Web Server</i> .....           | 63  |
| 3.5.1. Diseño de la interfaz Gráfica (FRONTEND).....                            | 63  |
| 3.5.2. Diseño del Servidor Web (BACKEND).....                                   | 67  |
| 3.5.3. Base de Datos.....   | 72  |
| 3.5.4. Despliegue de aplicación en la nube.....                                 | 76  |
| CAPÍTULO 4.....   | 79  |
| 4. EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO.....                        | 79  |
| 4.1. <i>Pruebas de funcionamiento</i> .....                                     | 79  |
| 4.1.1. Pruebas de funcionamiento de generación y almacenamiento de alarmas..... | 82  |
| 4.2. <i>Pruebas y verificación de resultados de conexión</i> .....              | 86  |
| 4.2.1. Prueba de enlace de transmisión remota.....                              | 86  |
| 4.2.2. Análisis de resultados.....  | 88  |
| CAPÍTULO 5.....   | 89  |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 89  |
| 5.1. <i>Conclusiones</i> .....  | 89  |
| 5.2. <i>Recomendaciones</i> .....   | 90  |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 91  |
| ANEXO A.....  | 94  |
| ANEXO B.....  | 96  |
| ANEXO C.....  | 99  |
| ANEXO D.....  | 101 |
| ANEXO E.....  | 102 |
| ANEXO F.....  | 103 |

ANEXO G ..... 104

# ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 2.1 AUTÓMATA PROGRAMABLE. ....  | 9  |
| FIGURA 2.2 ARQUITECTURA DE LOS AUTÓMATAS PROGRAMABLES.....                             | 10 |
| FIGURA 2.3 EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE KOP. ....                               | 12 |
| FIGURA 2.4 EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE FUP. ....                               | 12 |
| FIGURA 2.5 EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE AWL.....                                | 12 |
| FIGURA 2.6 ELEMENTOS DEL PROGRAMADOR LÓGICO CONTROLABLE S7-200.....                    | 13 |
| FIGURA 2.7 MODULO DE EXPANSIÓN ANALÓGICO EM-231.....                                   | 14 |
| FIGURA 2.8 RANGO DE REPETIBILIDAD Y PRECISIÓN DEL MÓDULO.....                          | 14 |
| FIGURA 2.9 8 MODULO ETHERNET CP-243-1. ....  | 15 |
| FIGURA 2.10 GAMA DE SENSORES MARCA ENDRESS-HAUSER. ....                                | 16 |
| FIGURA 2.11 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE CAUDAL<br>ELECTROMAGNÉTICO. .... | 17 |
| FIGURA 2.12 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE TURBIDEZ POR<br>DISPERSIÓN. .... | 18 |
| FIGURA 2.13 EVOLUCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN. ....                                      | 18 |
| FIGURA 2.14 TRANSMISOR DE PH Y TEMPERATURA. ....                                       | 19 |
| FIGURA 2.15 SOFTWARE DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL SIMTCO.....                           | 20 |
| FIGURA 2.16 ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN.....                            | 21 |
| FIGURA 2.17 FUNCIONES DE LOS ENTORNOS DE MONITORIZACIÓN. ....                          | 22 |
| FIGURA 2.18 PROCESO DE ADQUISICIÓN DE SEÑALES .....                                    | 23 |
| FIGURA 2.19 HMI PLATAFORMA SIMATIC IT. ....  | 23 |
| FIGURA 2.20 PANEL DE ALARMAS SOFTWARE LABVIEW. ....                                    | 24 |
| FIGURA 2.21 GRAFICA DE TENDENCIAS Y PUNTOS INESTABLES. ....                            | 25 |
| FIGURA 2.22 BASE DE DATOS MONGO DB. ....   | 25 |
| FIGURA 2.23 PIRÁMIDE CIM. ....   | 26 |
| FIGURA 2.24 ESTRUCTURA DE LA RED TIPO BUS. ....  | 27 |
| FIGURA 2.25 ESTRUCTURA DE UNA RED ANILLO.....  | 28 |
| FIGURA 2.26 TOPOLOGÍA DE RED ESTRELLA.....   | 28 |
| FIGURA 2.27 CONEXIÓN HART EN UNA RED MULTIPUNTO.....                                   | 30 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 2.28 CAPAS DEL MODELO OSI. ....   | 31 |
| FIGURA 2.29 CONEXIÓN PUERTOS DEL SWITCH.....   | 32 |
| FIGURA 2.30 MODELO DE CAPAS OSI PARA EL ROUTER.....  | 33 |
| FIGURA 2.31 ARQUITECTURA DE SERVIDOR WEB .....   | 34 |
| FIGURA 3.1 PLANTA DE TRATAMIENTO MAHUARCAY SECTOR LEGABUGA. ....                               | 37 |
| FIGURA 3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO<br>MAHUARCAY, ..... | 38 |
| FIGURA 3.3 MEZCLA DE COAGULANTE CON EL AGUA CRUDA.....   | 39 |
| FIGURA 3.4 DIAGRAMA GENERAL DE LOS PROCESOS DE PLANTA. ....                                    | 40 |
| FIGURA 3.5 ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA DE MONITOREO .....                                   | 41 |
| FIGURA 3.6 ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA DE MONITOREO .....                                 | 42 |
| FIGURE 3.7 ESTRUCTURA DE RED DEL SISTEMA.....  | 43 |
| FIGURA 3.8 DISPOSICIÓN DE LOS SENSORES DE CAUDAL Y TURBIDEZ .....                              | 44 |
| FIGURA 3.9 CAUDALÍMETRO ELECTRÓNICO. ....  | 45 |
| FIGURA 3.10 TURBIDÍMETRO ELECTRÓNICO.....  | 45 |
| FIGURA 3.11 DIAGRAMA DE ALIMENTACIÓN DEL TRANSMISOR DE CAUDAL .....                            | 46 |
| FIGURA 3.12 CONEXIÓN HART DEL TRANSMISOR DE CAUDAL .....                                       | 46 |
| FIGURA 3.13 DIAGRAMA DE CONEXIÓN HART ENTRE PLC Y EL TRANSMISOR DE CAUDAL<br>.....             | 48 |
| FIGURA 3.14 CONEXIÓN ELÉCTRICA DEL TRANSMISOR DE TURBIDEZ.....                                 | 49 |
| FIGURA 3.15 DIAGRAMA DE CONEXIÓN MODULO ANALÓGICO EM-231 Y EL TRANSMISOR<br>DE TURBIDEZ.....   | 50 |
| FIGURA 3.16 ARMARIO DE CENTRALIZACIÓN DE EQUIPOS DE CONTROL Y ADQUISICIÓN, ..                  | 51 |
| FIGURA 3.17 DIAGRAMA DE CONEXIONES DE ENTRADAS DE CORRIENTE 4–20 MA .....                      | 52 |
| FIGURA 3.18 DIAGRAMA DE CONEXIONES MODULO ETHERNET CP 243-1 .....                              | 53 |
| FIGURA 3.19 DIAGRAMA ELÉCTRICO DE ALIMENTACIONES DEL PLC S7-226 .....                          | 53 |
| FIGURA 3.20 ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL S7-200 AL PC CON ENLACE PPI .....                          | 54 |
| FIGURA 3.21 PANTALLA INICIAL STEP7-MICROWIN.....   | 55 |
| FIGURA 3.22 ASISTENTE DE CONFIGURACIÓN MODULO ETHERNET .....                                   | 55 |
| FIGURA 3.23 UBICACIÓN DEL MÓDULO ETHERNET. ....  | 56 |
| FIGURA 3.24 DIRECCIONAMIENTO DEL MÓDULO ETHERNET. ....   | 57 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 3.25 CONFIGURACIÓN DE SERVIDOR BOOT.....  | 57 |
| FIGURA 3.26 PUERTOS TSAP PARA EL ENLACE DE COMUNICACIÓN.....                                 | 58 |
| FIGURA 3.27 PROTECCIÓN CRC E INTERVALO KEEP ALIVE.....                                       | 59 |
| FIGURA 3.28 DIRECCIONES DE MEMORIA RESERVADA .....   | 59 |
| FIGURA 3.29 FINALIZACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO ETHERNET.....                        | 60 |
| FIGURA 3.30 CARGA DE LA CONFIGURACIÓN EN EL PLC S7-226 .....                                 | 60 |
| FIGURA 3.31 ESTABLECER COMUNICACIÓN ETHERNET.....  | 61 |
| FIGURA 3.32 ESTABLECIMIENTO DE ENLACE MEDIANTE DIRECCIÓN IP.....                             | 62 |
| FIGURA 3.33 PROGRAMA PRINCIPAL DE LECTURA DE ENTRADAS DE CORRIENTES .....                    | 62 |
| FIGURA 3.34 ARQUITECTURA DE APLICACIONES WEB.....  | 63 |
| FIGURA 3.35 VENTANA PRINCIPAL DEL SISTEMA.....   | 64 |
| FIGURA 3.36 VENTANA DE GENERACIÓN DE ALARMAS. ....   | 64 |
| FIGURA 3.37 VENTANA DE REGISTROS. ....   | 65 |
| FIGURA 3.38 HISTÓRICOS DE CAUDAL Y TURBIEDAD Y ALARMAS.....                                  | 66 |
| FIGURA 3.39 EDICIÓN DE CÓDIGO EN VISUAL STUDIO CODE .....                                    | 66 |
| FIGURA 3.40 MODELO BACKEND PARA EL SISTEMA DE MONITOREO.....                                 | 67 |
| FIGURA 3.41 RESULTADO DE PETICIONES HTTP. ....   | 68 |
| FIGURA 3.42 TRANSFERENCIA DE DATOS ENTRE EL PLC Y EL SERVIDOR WEB EN<br>FORMATO EN JSON..... | 69 |
| FIGURA 3.43 COMUNICACIÓN CON LA BASE DE DATOS MONGODB .....                                  | 70 |
| FIGURA 3.44 HISTÓRICOS EN INTERVALOS MENSUALES.....  | 70 |
| FIGURA 3.45 CDN DE LA LIBRERÍA PLOTLY.JS.....  | 71 |
| FIGURA 3.46 CÓDIGO GENERADO POR EL FRAMEWORK PLOTLY.JS.....                                  | 71 |
| FIGURA 3.47 VENTANA INICIAL MONGODB.ATLAS.....   | 72 |
| FIGURA 3.48 VENTANA PARA LA ASIGNACIÓN DEL NOMBRE DEL PROYECTO .....                         | 73 |
| FIGURA 3.49 VENTANA DE ADICIÓN DE MIEMBROS Y PERMISOS. ....                                  | 73 |
| FIGURA 3.50 VENTANA DE CREACIÓN DEL CLUSTER.....   | 74 |
| FIGURA 3.51 VENTANA DE SELECCIÓN DEL TIPO DE SERVICIO. ....                                  | 74 |
| FIGURA 3.52 VENTANA PARA LA SELECCIÓN SERVICIOS Y UBICACIÓN DE CLUSTER .....                 | 75 |
| FIGURA 3.53 VENTANA DE CREACIÓN DE CLUSTER FINAL. ....                                       | 75 |
| FIGURA 3.54 INICIALIZACIÓN DE UN REPOSITORIO GIT. ....                                       | 76 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 3.55 CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO .....                         | 77 |
| FIGURA 3.56 CONFIRMACIÓN DE LA CREACIÓN DEL PROYECTO .....              | 77 |
| FIGURA 3.57 AGREGADO DE LA APP AL REPOSITORIO GIT .....                 | 77 |
| FIGURA 3.58 RENOMBRE DE LA APLICACIÓN .....                             | 77 |
| FIGURA 3.59 DESPLIEGUE DE LA APLICACIÓN WEB .....                       | 78 |
| FIGURA 4.1 INTERFACE DE MONITOREO .....                                 | 80 |
| FIGURA 4.2 GRAFICAS DE LAS VARIABLES DEL PROCESO. ....                  | 81 |
| FIGURA 4.3 VENTANA DE REGISTRO DE ALARMAS. ....                         | 82 |
| FIGURA 4.4 TRANSMISIÓN DE DATOS DEL PLC AL SERVIDOR WEB. ....           | 83 |
| FIGURA 4.5 SERVIDOR WEB TRANSFERENCIA DE DATOS PÁGINA WEB. ....         | 84 |
| FIGURA 4.6 RESPUESTA DEL SISTEMA PARA EL CAUDAL Y TURBIEDAD.....        | 84 |
| FIGURA 4.7 VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS EN MONGODB COMPASS COMMUNITY..... | 85 |
| FIGURA 4.8 TESTEO DE DIRECCIONES REMOTAS DEL WEBSERVER.....             | 86 |
| FIGURA 4.9 TIEMPOS DE RESPUESTA DE PÁGINAS REMOTAS .....                | 87 |

# ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| TABLA 3-1 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN USADOS EN LA ETAPA DE ENTRADA DE LA PLANTA<br>..... | 39 |
| TABLA 3-2 MODELO DE DATOS PARA EL ALMACENAMIENTO EN MONGODB.....                       | 69 |
| TABLA 4-1 VALORES DE ALARMAS ESTABLECIDAS.....   | 82 |

# CAPÍTULO 1

## 1. Introducción

Las empresas en la actualidad han tenido que adaptarse a las exigencias y necesidades que demandan un mejor rendimiento, calidad, flexibilidad, seguridad y eficiencia en los procesos de producción, es por esta razón que han optado por introducir tecnologías modernas para la supervisión y monitoreo de los procesos realizados en sus plantas de producción. La implementación de tecnología moderna en las industrias ha logrado mejorar el rendimiento en la producción y reducción de paradas innecesarias, a través de la predicción de sucesos de inesperados en los procesos, actuando rápida y eficazmente asegurando la uniformidad y continuidad en la producción.

Una de las características de los sistemas actuales en relación con los sistemas convencionales es la centralización de datos, esta característica facilita el análisis de información y la toma de decisiones. En la actualidad los softwares líderes en este campo son los Sistemas de Adquisición, Control y Supervisión denominados SCADA y los softwares de monitorización, que facilitan el acceso a datos creando una interacción agradable entre el operador y el proceso a través de interfaces gráficas y animados de los procesos.

La mayoría de software para la monitorización de procesos industriales como Labview, Ignition, Intouch entre otros, demandan de elevados costos para su uso, por esta razón han surgido tecnologías nuevas que posibilitan la creación de aplicaciones web que se ajustan a las necesidades de los usuarios, a través de lenguajes estandarizados y de uso libre otorgándoles gran versatilidad y escalabilidad, esta tecnología es conocida comúnmente por su denominación en ingles Web Servers.

El presente trabajo busca la integración de estos nuevos sistemas de monitoreo en la etapa de entrada de la planta de tratamiento de agua potable Mahuarcay,

perteneciente a la empresa pública distribuidora de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Azogues EMAPAL-EP, ya que su implementación otorgara de herramientas al operador de planta que le permitan conocer las características físicas y químicas del agua al ingreso de la planta.

Estos sistemas de monitoreo, utilizan protocolos TCP/IP para entablar comunicación con las variables medidas mediante tarjetas de red, de manera que las interfaces graficas que se monitoreaban localmente en una PC de escritorio ahora estén disponibles desde cualquier lugar a través de dispositivos con conexión a internet. El acceso a la interfaz gráfica se realiza a través los navegadores web los cuales de presentan los datos recolectados por los equipos de medición de acuerdo a las necesidades establecidas (SUHISSA, 2019).

La visualización de los parámetros de caudal y turbidez a través de tecnología web pretende que los operadores de la planta lleven a cabo la automatización del monitoreo, permitiendo entre otras funciones el monitoreo de datos en tiempo real, gestión de alarmas, el almacenamiento histórico y la generación de alertas con el fin de asegurar y mejorar la eficiencia en el manejo del sistema realizando un uso óptimo de los recursos disponibles considerando la gradual escasez de agua y los altos costos de energía para la potabilización de la misma (SUHISSA, 2019).

## **1.1. Antecedentes**

En el ámbito internacional los sistemas de supervisión y monitoreo son los sistemas más usados en los procesos de producción debido a las prestaciones que brindan el contar con estos sistemas, ya que por sus características son ideales para la gestión de sistemas complejos, siendo uno de ellos los procesos de tratamiento de agua potable.

Uno de los países pioneros en implementar los sistemas supervisores y de monitoreo para el tratamiento de agua potable es la isla de Puerto Rico, este país que carece de una fuente de agua dulce dependía de técnicas como la recolección de agua de lluvia para su sustento, pero el progresivo crecimiento en el número de habitantes (alrededor de 4 millones), y su dispersión elevo la demanda de agua potable por lo cual las autoridades de este país buscaron soluciones ante esta situación. Con el fin de optimizar recursos y asegurar la demanda de agua potable del país se implementó una serie sistemas para la supervisión y monitorea de sus plantas de tratamiento de agua potable y residuales con alrededor de 120 plataformas tecnológicas implementadas para 1,500 sitios brindando servicio a las cinco regiones de la isla lo convierte a este proyecto en una de las estructuras más grandes del mundo en la actualidad.

En nuestro entorno la empresa EPMAPS, distribuidora de agua potable y alcantarillado en la ciudad de Quito, cuenta con sistemas modernos para el monitoreo y supervisión de sus plantas de tratamiento, una de sus principales obras es la planta de tratamiento de aguas residuales Quitumbe, esta planta con capacidad de alrededor 100 litros por segundo cuenta con sistemas totalmente automatizados para el control y monitoreo de su procesos a través de un software SCADA, ubicándola como una de las plantas más modernas del país (EPMAPS, 2019).

Otro caso más cercano del uso de estos sistemas es la empresa ETAPA distribuidora de agua potable de la ciudad de Cuenca, considerada una de las empresas de mejor rendimiento y distribuidora de agua de mayor calidad en la

región, la han convertido en una de las empresas más confiables a nivel nacional gracias a la implementación de los sistemas modernos en sus procesos (ETAPA-EP, 2019).

En el contexto de estudio en la ciudad Azogues, la empresa municipal de agua potable y alcantarillado (EMAPAL-EP), es la mayor distribuidora de agua potable en la ciudad y algunas zonas aledañas, cuenta con tres plantas de tratamiento para la distribución de agua potable en la región, siendo la de mayor capacidad la planta ubicada en el sector de Mahuarcay, estas tres plantas de tratamiento no cuenta con sistema modernos para su operación, sin embargo, a pesar de no contar con este tipo de sistema los operadores han sabido adecuarse a los recursos con los que disponen para mantener la operación estable de cada una de las plantas, pero sin dejar a lado los problemas con los que han tenido que lidiar y resolver para mantener estas plantas en operación (EMAPAL-EP, 2019).

Considerando los ejemplos de implementaciones realizadas y las grandes ventajas que han supuesto las nuevas tecnologías entre las que se destacan la adquisición de datos en tiempo real, registro y almacenamiento de datos, interfaz gráfica de fácil manejo para los operadores de planta y la comunicación local y remota con los dispositivos de planta hace suponer que las plantas de tratamiento de agua potable en la ciudad de Azogues entraran progresivamente en un proceso de modernización con el fin de asegurar y optimizar las tareas realizadas en sus plantas de producción.

## **1.2. Situación problemática**

En la actualidad las empresas que cuentan con plantas industriales han ido evolucionando con respecto a la forma de monitorear sus procesos mediante la implementación de tecnología moderna debido a las grandes ventajas que proporcionan el contar con este tipo de sistemas, lo que permite a las empresas realizar sus procesos de forma rápida, eficiente y confiable.

En este contexto es importante que las plantas de tratamiento de agua potable entren en un proceso de modernización mediante la incorporación de tecnologías más eficientes para un mejor seguimiento de los procesos realizados en sus plantas de producción.

A nivel local es poco el desarrollo que se ha generado en la cuanto a la forma de monitorear y controlar los procesos de tratamiento de aguas, ya que se ha tenido que regular manualmente en base a la experiencia de los operadores, que a pesar de realizar un trabajo eficiente suministrando agua de buena calidad a los usuarios, el proceso puede ser mejorado con la implementación de nuevas tecnologías.

En el contexto de estudio la planta potabilizadora de agua Mahuarcay, perteneciente a la empresa municipal de agua potable y alcantarillado (EMAPAL-EP), es la planta de mayor capacidad de captación y distribución de agua potable en la ciudad de Azogues, esta planta realiza todos sus procesos de tratamiento de forma manual lo que genera que la planta dependa totalmente del operador para su funcionamiento, ya que este debe llevar a cabo el control, monitoreo y supervisión de cada uno de los procesos para el correcto funcionamiento del sistema.

A pesar del gran manejo que han realizado los operadores de la planta se han presentado situaciones problemáticas inesperadas lo que ha generado que los operadores tengan que enfrentar y resolver, que surgen a partir de la falta un sistema que les permita realizar un seguimiento continuo de los parámetros de entrada de agua a la planta, importante para una adecuada toma de decisiones para el control óptimo de los procesos.

El proceso en el cual mayor dependencia tienen los valores de entrada de caudal y turbidez es el de dosificación, en el cual el operador se encarga de controlar las dosis de coagulantes para la eliminación de materia orgánica e inorgánica, eliminación de bacteria, organismos patógenos, algas y demás sustancias, que en el caso de no ser correctamente realizado tendrá un impacto directo en las etapas siguientes y por lo tanto el agua a la salida no cumplirá con los valores establecidos para su distribución y por ende tendría que ser desechada.

La principal causa para realizar una dosificación incorrecta es la variación repentina de dos factores fundamentales para la dosificación, los niveles de turbiedad y caudal de agua en la etapa de entrada, factores que el operador tiene que supervisar de manera constante ya que no disponen de un sistema en tiempo real que les permita alertar y registrar los cambios repentinos que se produzcan en estos dos factores convirtiéndose así en un gran problema con el cual los operadores han tenido que adaptarse y buscar soluciones temporales.

### **1.3. Línea de investigación**

Ciencias exactas, naturales y tecnológicas

#### **1.3.1. Ámbito**

Control

#### **1.3.2. Objeto de estudio**

Control industrial

#### **1.3.3. Campo de acción**

Sistemas de Adquisición, Supervisión y Monitoreo

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Elaborar el diseño e implementación de un sistema de monitoreo en la etapa de entrada de la Planta de tratamiento de agua potable Mahuarca y perteneciente a la empresa pública EMAPAL-EP, mediante el uso de instrumentos de medición (sensores) y adquisición (PLC) para la representación gráfica de las variables de caudal y turbidez en una aplicación Web Server que facilite el análisis y detección de cambios en los valores en la entrada.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Recopilar información mediante el uso de fuentes bibliográficas para la fundamentación de las bases teóricas del proyecto.
- Levantar información de las tareas de vigilancia actuales realizadas por los operadores de planta en la etapa de entrada, mediante el uso de herramientas de recolección de información como la observación y entrevista para el modelamiento del sistema.
- Diseñar el sistema de monitoreo utilizando el modelo de automatización de procesos industriales (pirámide CIM) y el modelo cliente-servidor para la creación de la estructura hardware y software del sistema.
- Implementar el sistema de monitoreo empleando los equipos disponibles en la empresa como sensores, transmisores y PLC.
- Validar el sistema de monitoreo mediante la puesta en marcha y la evaluación de su funcionamiento.

## **1.5. Hipótesis**

La implementación del sistema facilitará a los operadores de la planta realizar el análisis y seguimiento continuo de los parámetros de entrada, permitiendo alertar de sucesos de cambio en los valores caudal y turbidez para la toma de medidas correctivas pertinentes.

## **1.6. Justificación**

El agua es un recurso vital para la supervivencia de los seres vivos en el planeta y con el paso de los años sus fuentes han disminuido drásticamente debido a factores tales como sequías, contaminación y uso ineficiente de este recurso. Estos factores han afectado la cantidad y la calidad del agua, es por ello que el uso de este recurso debe ser manejado de forma óptima tanto para su uso industrial como para el uso potable cumpliendo con los requisitos de calidad necesarios para su distribución.

En la actualidad la mayoría de las plantas potabilizadoras de los países industrializados poseen sistemas modernos para el monitoreo y supervisión de sus procesos debido a las grandes ventajas que proporcionan el contar con este tipo de sistemas ya que permite generar mayor seguridad y eficiencia en el control de sus procesos, y por lo tanto obtener agua de gran calidad para su distribución.

En el ámbito de estudio la implementación del sistema en la planta potabilizadora de Mahuarcay mejoraría eficazmente el manejo de este recurso natural lo que pudiese transformarse en un ahorro económico para la empresa ya que evitaría pérdidas en los procesos tanto económicas como de recursos, por lo que es muy importante que este tipo de sistemas entren en un proceso de modernización para un seguimiento y supervisión eficiente de cada uno de sus procesos.

# CAPÍTULO 2

## 2. Marco Teórico

### 2.1. Autómatas Programables

Los autómatas programables son equipos electrónicos dedicados al control de tareas de automatización en el ámbito industrial, sin embargo, la evolución de este dispositivo ha permitido incrementar sus funciones a través de módulos de expansión ampliando sus características y convirtiéndolos en elementos útiles para la adquisición y transmisión de datos (Rodríguez, 2008).



Figura 2.1 Autómata Programable.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Estos dispositivos formados por un microprocesador han logrado convertir al autómata en un equipo de uso global, sin la necesidad de especialistas para su programación al fusionarse con otras herramientas informáticas aumentado considerablemente las capacidades del conjunto.

### 2.1.1. Arquitectura del Autómata

Estos dispositivos están compuestos de un microprocesador, formado memorias, puertos de entrada y salida y la unidad central para el control de procesos (CPU) (Josep Balcells, 1997).



Figura 2.2 Arquitectura de los Autómatas Programables.  
Fuente: Autor ()

- **Unidad Central de Proceso (CPU)**

Es el elemento principal de los autómatas ya que realiza el control interior y exterior del dispositivo interpretando las instrucciones creadas a través de líneas de programación adquiriendo y generando las señales de salida.

- ✓ **Memoria ROM:** Almacena los programas cargados por el software de programación.
- ✓ **Memoria RAM:** Almacena la información de los estados de las entradas y salidas y variables internas.

- **Sistema de Entradas y Salidas**

Captan la información de las señales a la entrada generado por pulsantes, interruptores etc., y transmiten las acciones programadas a los puertos de

salida que pueden ser indicadores, luces piloto o elementos de control como relés, contactores, arrancadores etc., (Josep Balcells, 1997).

### **2.1.2. Medios de programación**

Sirven de conector entre el operador y el autómata definiendo las tareas a realizar para el control de procesos. Entre las tareas principales de un equipo de programación tenemos:

- Introducción de las instrucciones del programa.
- Edición y modificación del programa.
- Detección de errores.
- Archivado de programas.

Los equipos usados para introducir las tareas de control al autómata son:

- Consola con teclado y pantalla
- Programador manual
- PC con el software necesario

### **STEP 7-Micro/WIN**

Es un software usado para cargar las instrucciones de automatización programadas por el usuario en el autómata de la marca Siemens S7-200, este paquete permite desarrollar amplias tareas de automatización y dar el mantenimiento al equipo debido a su rápida y fácil elaboración de instrucciones, disminuyendo los tiempos de diseño (Siemens AG, 2008).

Este software permite utilizar diferentes editores para la creación de programas de control entre los cuales tenemos:

- **Programación KOP:** Permite elaborar programas con elementos parecidos a esquemas de circuitos emulando el paso de corriente a través de segmentos, la lógica se ejecuta de izquierda a derecha y de arriba a abajo.

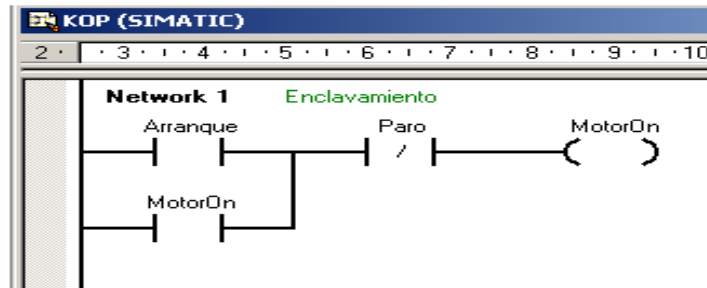


Figura 2.3 Ejemplo de programación en lenguaje KOP.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

- **Programación FUP:** Este editor de código presenta las operaciones en forma de cuadros lógicos similar a las compuertas lógicas.

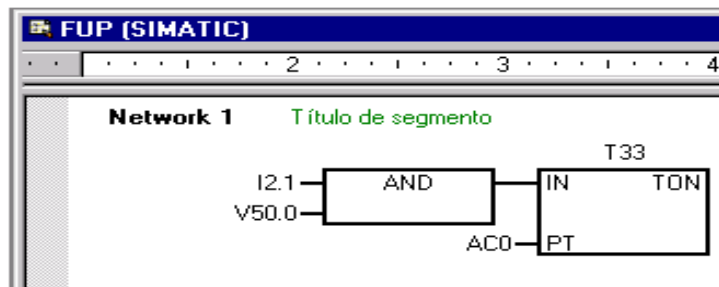


Figura 2.4 Ejemplo de programación en lenguaje FUP.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

- **Programación AWL:** Crea programas de control usando la nemotécnica de operaciones es utilizado por los desarrolladores expertos que conocen el lenguaje nativo de la CPU.

```

NETWORK 1
LD      I0 . 0
LD      I0 . 1
LD      I2 . 0
A       I2 . 1
OLD
ALD
=       Q5 . 0

```

Figura 2.5 Ejemplo de programación en lenguaje AWL.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

## 2.2. PLC S7-200

Es parte de la gran variedad de equipos de automatización pequeños denominados Micros-PLC son utilizados para múltiples tareas de control en base a tareas específicas, ajustándose de forma idónea para tareas de automatización sencillas (Siemens AG, 2008).

Este equipo controla los puertos de entrada y varía el estado de las salidas dependiendo de las ordenes establecidas por el programador que puede generar operaciones de lógica booleana o usar contadores, temporizadores, operaciones aritméticas y demás funciones.

Debido a su diseño compacto, configuración adaptable y sus extensas capacidades de operación, este dispositivo es muy apropiado para resolver varias tareas de automatización.

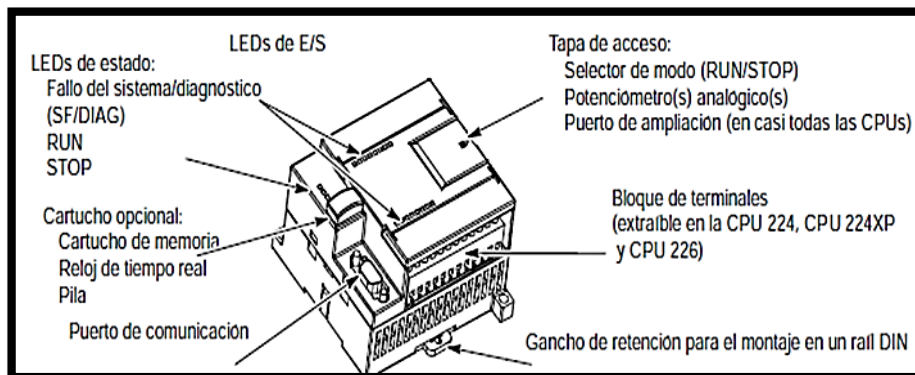


Figura 2.6 Elementos del programador lógico controlable S7-200.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

### 2.2.1. Módulo de Ampliación EM-231

Este módulo dispone de entradas analógicas de 12 bits, su función es transformar una señal de entrada analógica a un valor digital a una velocidad promedio de 149 microsegundos, son dispositivos rápidos y de bajo costo (Siemens AG, 2008).



Figura 2.7 Modulo de expansión analógico EM-231.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Las señales de los puertos de entrada se convierten una vez que el programa accede a la entrada analógica, proporcionando un valor digital no procesado sin linealización ni filtros que representan el voltaje o corriente en los bornes de entrada del módulo.

El muestreo de la señal puede causar interferencias de señal en las entradas analógicas debido a los cambios constantes, sin embargo, se pueden reducir creando un promedio de las señales entrantes.

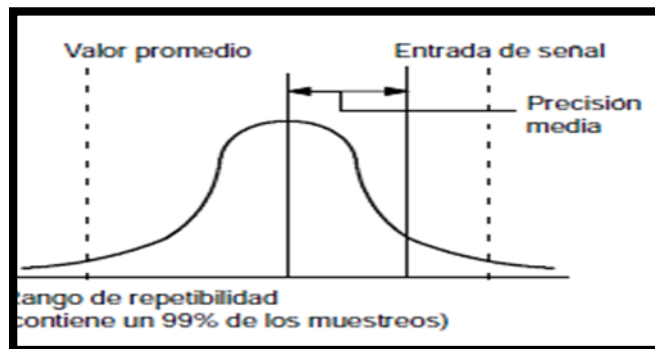


Figura 2.8 Rango de repetibilidad y precisión del módulo.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

### 2.2.2. Módulo de Ampliación CP 243-1

Este módulo de expansión permite conectar un dispositivo S7-200 a la tecnología Industrial Ethernet posibilitando la comunicación a través del protocolo Ethernet con

el software de programación STEP 7-Micro/WIN 32 permitiendo la configuración y programación del S7-200 (Siemens AG, 2008).

Además, este módulo posibilita la comunicación con otros controladores del tipo S7-200, S7-300, S7-400, o con un servidor OPC.



Figura 2.9 8 Modulo Ethernet CP-243-1.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

El software STEP 7 Micro/WIN 32 es la herramienta para la configuración del módulo CP 243-1, a través de su asistente de configuración de Internet en el cual se suministra regularmente la dirección MAC fija, la máscara de subred, y la dirección IP parámetros que se pueden establecer de forma estática o dinámica a través de un servidor BOOTP/DHCP.

El módulo de expansión CP 243-1 permite realizar varias tareas en función del tipo de comunicación tales como:

#### Comunicación S7

- ✓ Transmisión de datos por medio del protocolo TCP/IP.
- ✓ Permite conexiones Ethernet por medio del bus RJ-45.
- ✓ Conexión sencilla a los sistemas S7-200 a través del bus S7-200.
- ✓ Permite conexiones a un Servidor OPC.
- ✓ Fácil administración de la red.
- ✓ Servicios de comunicación S7 "XPUT/XGET" como cliente y servidor.
- ✓ Servicios de comunicación S7 "READ/WRITE".

## Comunicación IT

- ✓ Sistema de archivado para el almacenamiento archivos web y de configuración.
- ✓ Cliente SMTP para la transmisión de e-mails hasta 32 e-mails como máximo.
- ✓ Servidor FTP para acceder al sistema de archivos del CP 243-1.
- ✓ Cliente FTP para intercambiar datos con un servidor FTP hasta 32 operaciones de cliente FTP.
- ✓ Acceso del cliente FTP al servidor FTP del CP 243-1.
- ✓ Servidor HTTP para el acceso de escritura y de lectura a los datos de proceso y de estado del sistema S7-200 a través de hasta cuatro navegadores web en un mismo instante.
- ✓ Páginas HTML preparadas para el diagnóstico del sistema S7-200, así como el acceso a las variables de proceso. (Siemens AG, 2008)

### 2.3. Sensores

Son los dispositivos encargados de captar las señales del entorno físico y transformarlas en magnitudes eléctricas ya sea de voltaje o corriente.



Figura 2.10 Gama de sensores marca Endress-Hauser.  
Fuente: (Endress-Hauser, 2019)

Dependiendo de la variable a captar o medir, los sensores se dividen en instrumentos de frecuencia, fuerza, turbidez, caudal, nivel, presión, temperatura, densidad, posición, velocidad, pH, conductividad, etc., (Creus, 2010).

### 2.3.1. Sensores de Caudal Electromagnéticos

El principio de funcionamiento de estos sensores se basa en la ley de inducción de Faraday en la cual se establece que “La tensión inducida a través de cualquier conductor, al moverse éste perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor” (Creus, 2010).

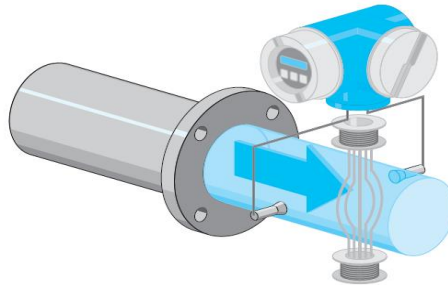


Figura 2.11 Principio de funcionamiento del Sensor de caudal electromagnético.  
Fuente: (Endress-Hauser, 2019)

La tensión producida por el campo electromagnético será directamente proporcional y lineal a la velocidad de circulación del caudal lo que supone que un caudalímetro electromagnético mide velocidad y no volumen (Creus, 2010).

### 2.3.2. Sensor Optoelectrónico de Turbidez

Estos instrumentos miden la disminución de claridad de una muestra de agua producida por la presencia de partículas sólidas estableciendo el grado de penetración de la luz en el agua permitiendo conocer la luz solar recibida, la cantidad de oxígeno disuelto, y el aumento o disminución del material suspendido en el agua. Estas partículas pueden ser plancton, microorganismos, barro, etc. La unidades nefelométrías de turbidez (NTU) son la unidad de medida (Creus, 2010).

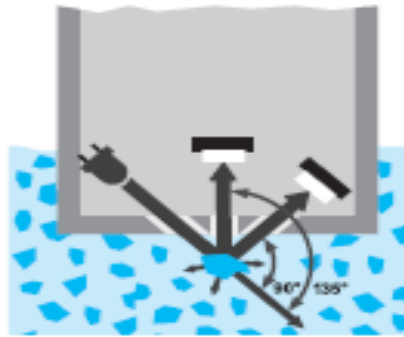


Figura 2.12 Principio de funcionamiento del Sensor de Turbidez por dispersión.  
Fuente: (Endress-Hauser, 2019)

El método usado para la medición es por dispersión de luz y consiste en un led que emite un rayo de luz blanca, o infrarroja que a través de un sistema de lentes enfoca en la muestra de agua. Una célula fotoeléctrica situada a 90° del haz de luz percibe la luz reflejada por las partículas en suspensión esta intensidad de luz es igual al valor de la turbidez del agua (Creus, 2010).

## 2.4. Transmisores

Obtienen la variable física captada por el elemento primario (sensor) y la transmiten a distancia en forma de señal electrónica, digital, óptica, hidráulica o por radio ya sea a un PLC o a otros dispositivos.

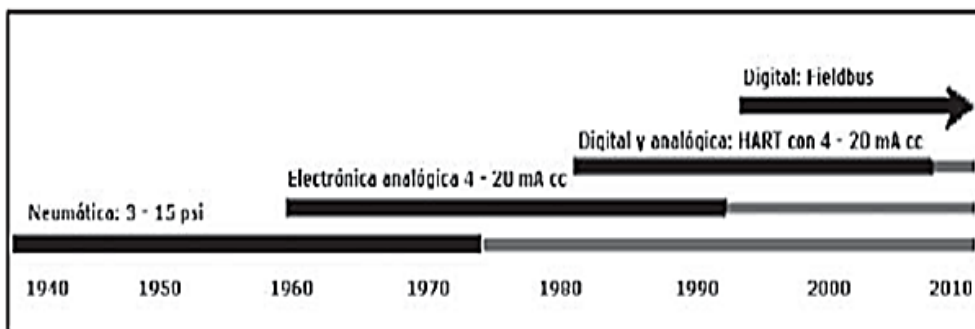


Figura 2.13 Evolución de la instrumentación.  
Fuente: (Creus, 2010)

### 2.4.1. Tipos de transmisores

- **Transmisores Neumáticos**

Funcionan mediante el sistema tobera-obturador transformando el movimiento del elemento primario de medición a una señal neumática o bien su equivalente en unidades métricas siendo su exactitud del orden del  $\pm 0,5\%$  (Creus, 2010).

- **Transmisores Electrónicos**

Convierten la señal primaria a una señal electrónica de 4-20 mA c.c utilizando transformadores diferenciales, circuitos de puente de Wheatstone o empleando una barra de equilibrio de fuerzas, su exactitud es del orden del  $\pm 0,5\%$  (Creus, 2010).



Figura 2.14 Transmisor de pH y Temperatura.  
Fuente: (Creus, 2010)

Estos transmisores se alimentan con una fuente de 24 V c.c. y el receptor dispone de una resistencia de 250 ohms conectada en los bornes de entrada. De esta forma, la señal de salida del transmisor variara de 4 mA c.c. a 20 mA c.c.

- **Transmisores Digitales**

Transforman la señal del sensor a una señal digital que consiste en una serie de impulsos en forma de bits, en el cual cada bit puede tomar dos estados,

el 0 y el 1 (código binario), que representa el paso (1) o no (0) de una señal a través de un conductor (Creus, 2010).

## 2.5. Sistemas de Monitorización

En el entorno industrial la monitorización se define como la acción de vigilancia realizada por dispositivos electrónicos que interactúan con el proceso registrando su evolución a través de una interfaz gráfica.



Figura 2.15 Software de monitorización y control SIMTCO  
Fuente: (SUHISSA, 2019)

El constante seguimiento del proceso y el registro de su evolución son las acciones que permitirán alertar de un correcto o incorrecto funcionamiento y a la vez establecer criterios de ajuste y cambio dentro del proceso. Los softwares actuales usados para la monitorización brindan estas funciones a partir de las medidas continuas de las variables de proceso y estableciendo acciones de alerta (Joan Colomer, 2019).

### 2.5.1. Estructura de los Sistemas de Monitorización

Los sistemas de monitorización están formados por elementos electrónicos que se comunican entre sí para la captura, transmisión, registro, representación y almacenamiento de datos, con el propósito de proveer información al usuario de los procesos llevados a cabo. La figura 2.16 presenta el orden jerárquico de los elementos que conforman los entornos de monitorización.

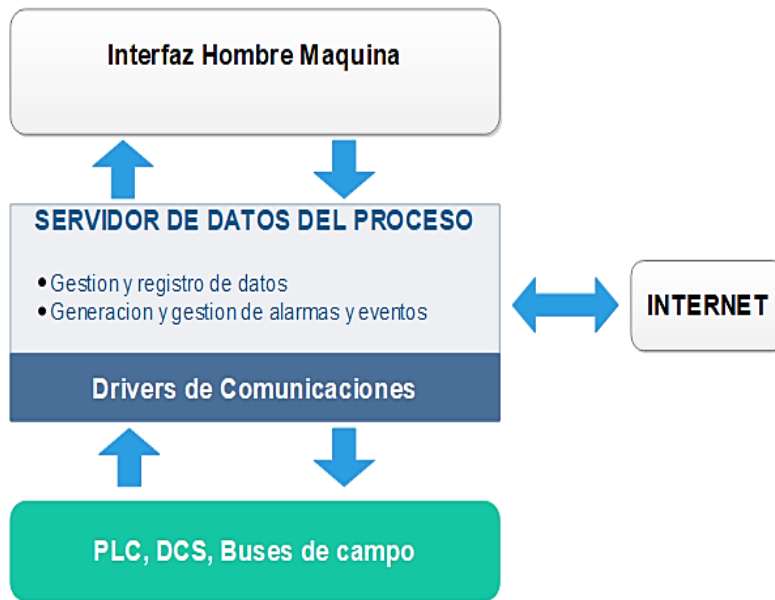


Figura 2.16 Estructura de un Sistema de Monitorización.  
Fuente: Autor ()

- **Driver de Comunicaciones**

Los drivers de comunicaciones son el medio por el cual los servidores de datos y los dispositivos de campo pueden establecer comunicación, implementa los protocolos necesarios para efectuar dichas comunicaciones.

- **Servidor de datos del proceso**

El servidor de datos detecta y gestiona alarmas, eventos, y se encarga de almacenar los datos para el análisis posterior con un acceso directo a las bases de datos.

- **Servidor Web**

Gestiona la disponibilidad y el acceso a datos mediante Internet. En todos los casos permite recibir, desde equipos remotos, información de la planta. Las estaciones remotas también permiten, en algunos productos, enviar consignas y señales de mando vía Internet.

- **Interfaz Hombre Maquina (HMI)**

Realiza la representación gráfica para la visualización del estado del proceso mediante objetos animados, gráficos, textos, listados, y ventanas múltiples.

## 2.5.2. Funciones de un sistema de monitorización

Las principales funciones que aportan los entornos de monitorización actuales son:

- Adquisición de datos
- Registro de datos
- Representación grafica
- Centralización de información

Cada una de las funciones y utilidades están encaminadas a entablar comunicación entre el proceso y el operador.

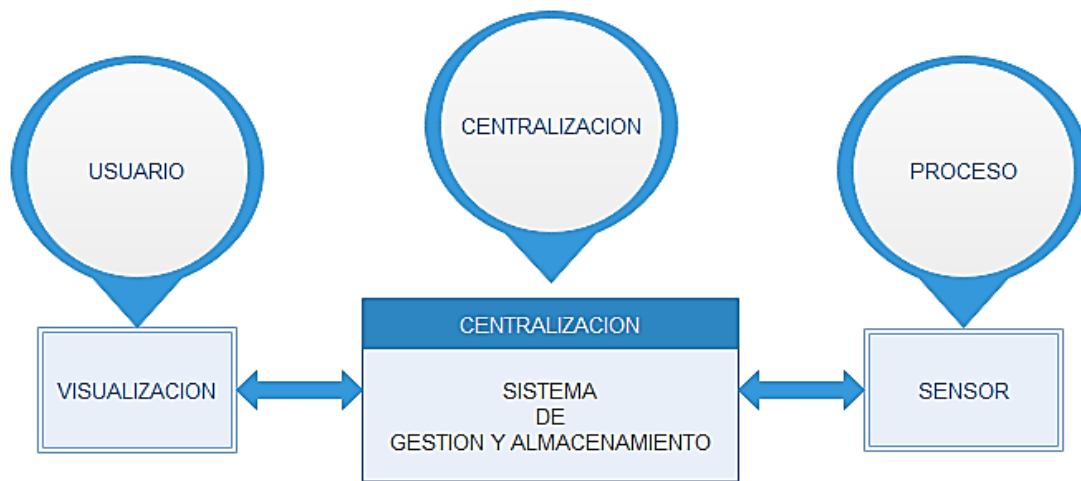


Figura 2.17 Funciones de los entornos de monitorización.  
Fuente: Autor ()

### 2.5.2.1. Adquisición de datos

Esta función permite obtener las señales eléctricas capturadas por los sensores en el proceso interconectando las magnitudes con el sistema de monitorización. Los dispositivos encargados de estas tareas son:

- Controladores lógicos programables (PLC),

- Sistemas distribuidos de control (DCS)
- Ordenadores industriales (IPC)



Figura 2.18 Proceso de adquisición de señales  
Fuente: (Nacional Instruments, 2019)

### 2.5.2.2. Registro de datos

Se establece a partir de la digitalización de la señal a través de la conversión de la señal analógica en digital, almacenando archivos temporales de alarmas, eventos y variables que van acompañadas del tiempo en el cual se produjo (Time Stamp). Además permiten realizar copias de respaldo en caso de ser necesario recuperar los registros (Rodríguez, 2013).

### 2.5.2.3. Representación del proceso

Es la función principal de los entornos de monitorización ya que permite identificar de forma rápida y fácil los elementos del proceso mediante la representación gráfica.



Figura 2.19 HMI plataforma Simatic IT.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

#### 2.5.2.4. Generación de Alarmas

Las alarmas se definen como variaciones de una variable superiores o inferiores a unos límites establecidos cuyo función es informar al operario de algún suceso que requiera la atención del operador para su solución (Rodríguez, 2013).

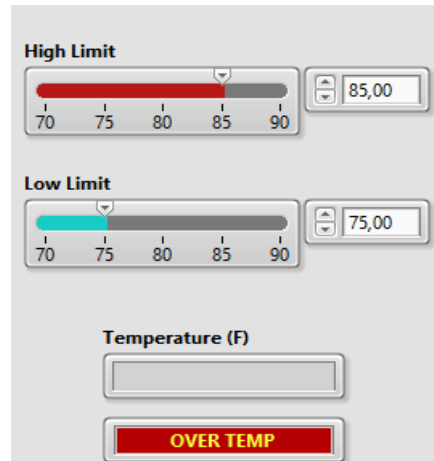


Figura 2.20 Panel de alarmas software Labview.  
Fuente: (Nacional Instruments, 2019)

La forma de automatizar las tareas de vigilancia del proceso se logra con las alarmas que en el caso de ser numerosas se les asigna prioridades de tal forma que en el caso de activarse simultáneamente se activen en un orden específico.

#### 2.5.2.5. Gráfica y Tendencias

La interpretación visual de la información se realiza mediante interfaces gráficas útiles para el análisis de gráfico mediante la diferenciación por colores. Las referencias temporales de cada muestra adquirida están fechadas de acuerdo a la hora en que se almacenaron (Rodríguez, 2013).

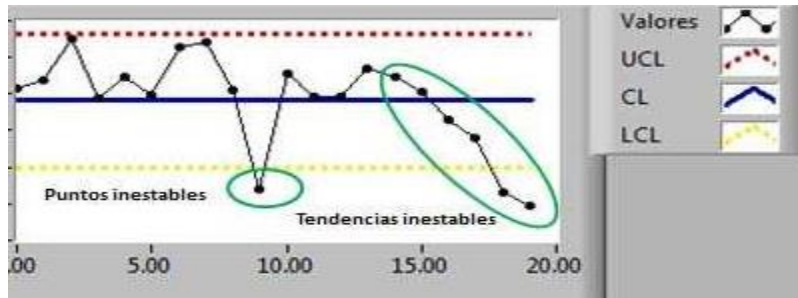


Figura 2.21 Grafica de tendencias y puntos inestables.  
Fuente: (Nacional Instruments, 2019)

La representación gráfica del proceso permite al operario anticipar situaciones imprevistas al compararlas con sucesos previos o con otras variables relacionadas con el fin de establecer hipótesis, que se validaran o no, a medida que el proceso evoluciona y la gráfica se actualiza.

#### 2.5.2.6. Históricos y bases de datos

La centralización de las medidas de un proceso facilita las operaciones de almacenamiento de datos, y el registro continuo de datos permite la recuperación para ser representados gráficamente comparando y creando de estadísticas para el análisis de los procesos (Rodríguez, 2013).



Figura 2.22 Base de datos Mongo DB.  
Fuente: (Mongo DB, 2019)

La función de los históricos es registrar los datos del proceso para su análisis utilizando bases de datos, normalmente externas a éstos permitiendo el seguimiento histórico de las variables del proceso denominado comúnmente como trazabilidad (Joan Colomer, 2019).

## 2.6. Redes de Comunicación Industrial

Permiten el intercambio de datos, entre los diferentes niveles de operación, está diseñada para operar en ambientes hostiles debido a su robustez y confiabilidad.

### 2.6.1. Pirámide de automatización CIM

La Pirámide de la automatización, CIM resume de forma gráfica, la estructura de los sistemas de comunicación en un entorno productivo.

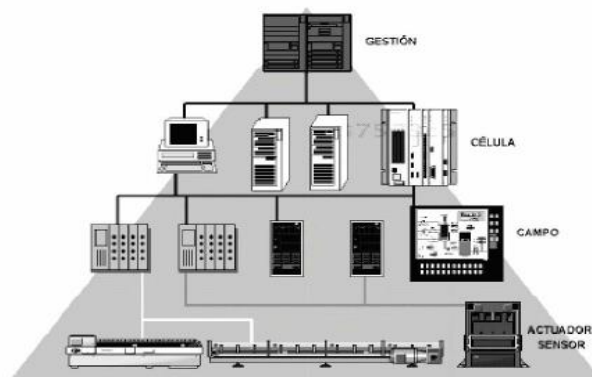


Figura 2.23 Pirámide CIM.  
Fuente: (Rodriguez, 2008)

Esta pirámide organiza de forma escalonada cada nivel de la red de comunicación industrial, ordenando jerárquicamente los diferentes elementos en función de la información que proveen, para una conexión óptima, según el área de aplicación y función que desempeñan dentro de la industria (Vicente Guerrero, 2010).

- **Nivel de gestión:** Gestiona todas las tareas realizadas en la planta manejando grandes volúmenes de datos para su análisis.
- **Nivel de control:** Realiza tareas de mando y administración en diferentes zonas de labor a través de dispositivos como los PLCs, sistemas SCADA, computadoras para el control de calidad, etc.
- **Nivel de campo:** Su función es el procesamiento de datos de campo, integrando y ejecutando pequeños automatismos a través de multiplexores de E/S, controladores PID, etc., sobre los niveles inferiores.

- **Nivel de E/S:** Está conformado por los elementos de medición y adquisición de datos como sensores y de mando actuadores, se encargan conectar dispositivos de campo con el nivel de controladores.

## 2.6.2. Topología de redes industriales

La topología de una red, define la forma en la cual se van a interconectarse de forma física tanto los equipos y el cableado de los mismos.

### 2.6.2.1. Topología de bus

Esta topología establece que todos los dispositivos estén conectados, a una única línea compartida pudiendo enviar mensajes siempre y cuando el bus este libre en el caso de enviarse dos paquetes simultáneamente se produciría una colisión (Vicente Guerrero, 2010).

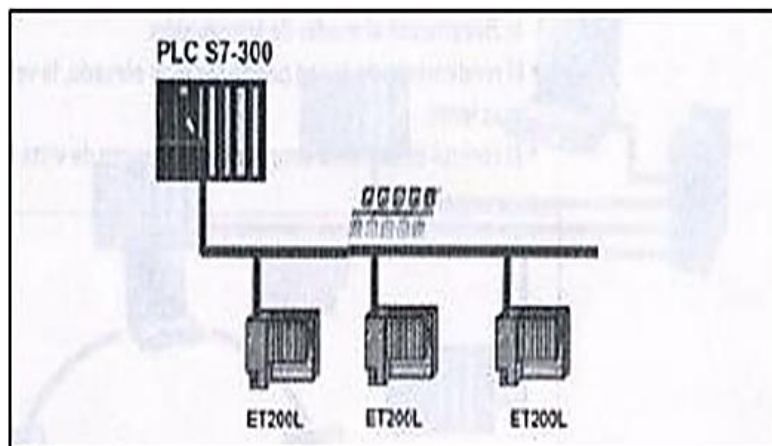


Figura 2.24 Estructura de la red tipo bus.  
Fuente: (Vicente Guerrero, 2010)

### 2.6.2.2. Topología de anillo

Los extremos del bus se unen formando un anillo la transmisión está configurada unidireccionalmente, de tal forma que la información enviada fluye en un único sentido evitando colisiones de paquetes (Vicente Guerrero, 2010).

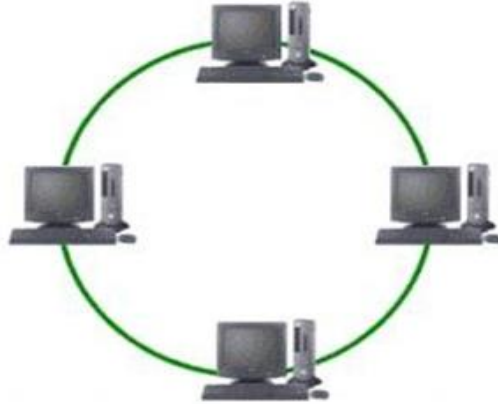


Figura 2.25 Estructura de una red anillo  
Fuente: (Vicente Guerrero, 2010)

### 2.6.2.3. Topología estrella

Cada nodo de red se conecta a un solo dispositivo central denominado concentrador o HUB (véase la Figura 2.25). Este nodo gestiona la transferencia de paquetes de cada uno de los elementos conectados a la red mejorando el rendimiento ya que la información se transmite directamente del transmisor al receptor (Vicente Guerrero, 2010).



Figura 2.26 Topología de red estrella  
Fuente: (Vicente Guerrero, 2010)

## 2.7. Protocolos de comunicación industrial

Su función es administrar de forma ordenada la transmisión e intercambio de información, entre dispositivos de una red implementados tanto en hardware (tarjeta de red) como software (drivers) o la combinación de ambos). El avance de la tecnológico ha dado origen a distintos protocolos de comunicación con características únicas e incompatibles, optimizados para distintos niveles de automatización A continuación, se presentan los protocolos más usados en equipos industriales. (Rodriguez, 2008)

### 2.7.1. Modelo OSI

Denominado interconexión de sistema abiertos (OSI), este protocolo permite el intercambio de información de todos los equipos que conforman una red independiente (Vicente Guerrero, 2010).

- **Capa física:** Define el medio físico de transporte
- **Capa de enlace de datos:** Ordena la estructura de datos de la trama y controla lo errores.
- **Capa de red:** Controla la operación y congestión de la red en el caso que intervenga más de una red.
- **Capa de transporte:** Divide los datos en paquetes para su envío.
- **Capa de sesión:** Es responsable del control de inicio y finalización de conexiones.
- **Capa de presentación:** Representa y encripta los datos en un formato común de datos legibles.
- **Capa de aplicación:** Proporciona el vínculo directo para el uso de los datos.

### 2.7.2. Hart (Highway Addressable Remote Transducer)

Este protocolo establece la comunicación superponiendo, la señal digital sobre una señal analógica (típicamente de 4 – 20mA) (véase la Figura 2.26), conviviendo ambas sin verse interferidas en el mismo soporte (generalmente par trenzado).

La señal final es una onda sinusoidal que cumplen con dos tareas llevar la información y alimentar el dispositivo conectado. Los valores lógicos de la señal digital, están representados por frecuencias de 1200Hz (bit 1) y 2200Hz (bit 0), basadas en la modulación por desplazamiento de frecuencia “FSK” (Rodríguez, 2008).

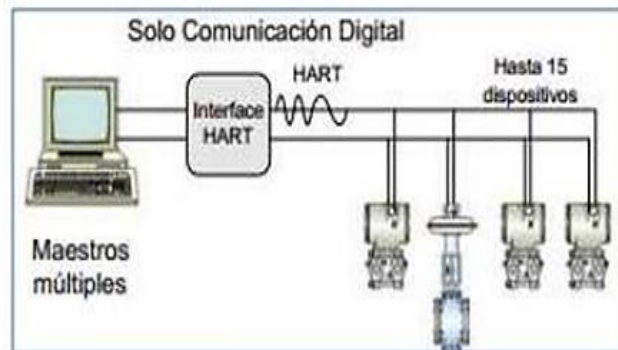


Figura 2.27 Conexión Hart en una red multipunto.  
Fuente: (Creus, 2010)

La figura 2.26 se muestra una red multipunto con el protocolo Hart, incorporando distintos dispositivos de campo (sensor, actuador), conectados directamente sea este un computador o PLC, acondicionados por la comunicación digital maestro/esclavo.

### 2.7.3. Ethernet

Es la tecnología de mayor crecimiento debido a su accesibilidad y apertura, está basado en la norma IEEE 802.3. Siendo uno de los más aplicados en las redes industriales, principalmente en la tecnología de automatización, por sus características de sistema universal, en la conexión de red de área local Ethernet bajo el protocolo de comunicación TCP/IP. Es altamente adaptable a ambientes hostiles, resistente a interferencias electromagnéticas y altas temperaturas, siendo ideales para el nivel de planta.

Provee una estructura de red flexible y escalable para intercambiar información entre elementos electrónicos (como: PLC, dispositivos de E/S, HMI, entre otros) que pueden ser administrados y monitoreados por un modelo cliente/servidor desde la

red. Las tasas de transferencia de esta red comprenden el rango de 10Mbps hasta 10 Gbps. El soporte físico puede ser de fibra óptica, cable coaxial, par trenzado (Vicente Guerrero, 2010)

### Elementos de Interconexión

Cuando un sistema crece empieza a ser necesario, ya sea por requerimientos físicos (o lógicos organizar estas conexiones con arquitecturas adecuadas a cada caso. Empieza a crecer el número de equipos y es necesario separarlos de alguna manera para que el sistema mantenga su operatividad.

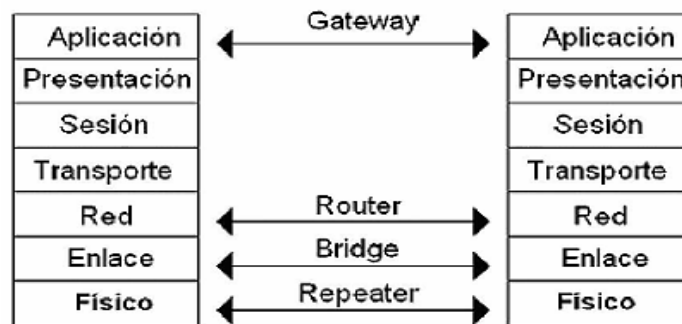


Figura 2.28 Capas del modelo OSI.  
Fuente: (Rodríguez, 2008)

Para solucionar todos los problemas que plantea la conectividad de una red de ordenadores, se han desarrollado una serie de dispositivos con características de funcionamiento específicas como son:

- ✓ Hub
- ✓ Bridge
- ✓ Switch
- ✓ Router

➤ **Switch**

Este dispositivo filtra y regenera los paquetes Ethernet para permitir alcanzar mayores distancias de transmisión y un mayor número de equipos conectados transformándose en un puente con múltiples puertos (Vicente Guerrero, 2010).

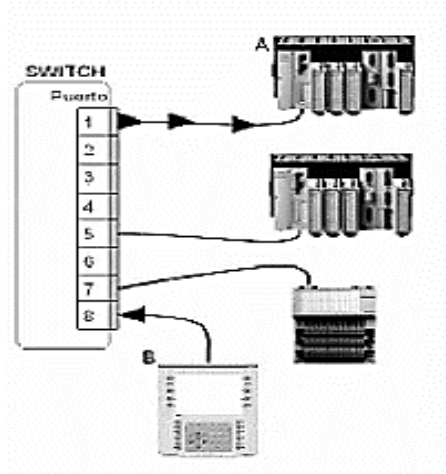


Figura 2.29 Conexión puertos del Switch.  
Fuente: (Rodríguez, 2008)

➤ **Router**

Almacena y reemite paquetes es utilizado para interconectar redes LAN y WAN, pueden determinar las rutas más eficientes que deberá seguir la información. Cada segmento o subred conectados a través de un router tienen una dirección de red diferente. Permiten separar una red en subredes lógicas y redirigir el tráfico por direccionado IP (Vicente Guerrero, 2010).

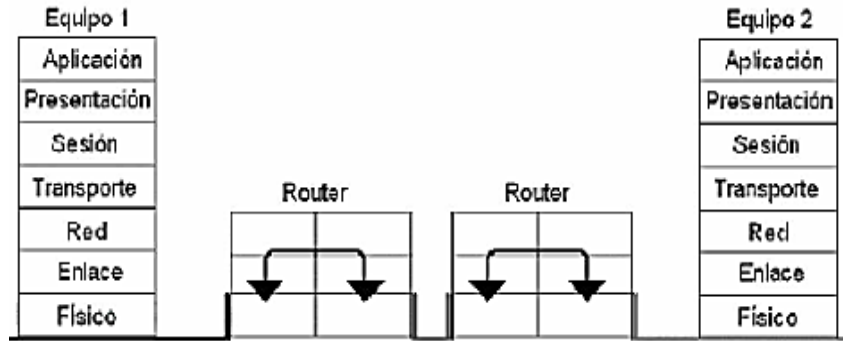


Figura 2.30 Modelo de capas OSI para el Router.  
Fuente: (Vicente Guerrero, 2010)

## Dispositivos de red

A una red se pueden conectar dos tipos básicos de dispositivos:

- ✓ **Clientes**

Acceden a los recursos de la red (a nivel ofimático se denominan Estaciones de trabajo).

- ✓ **Servidores**

Permiten que los dispositivos conectados a la red puedan acceder a los recursos de éste y pueden dedicarse únicamente a dar un tipo de servicio o utilizar al mismo tiempo recursos como un ordenador que realice tareas de monitorización mediante y sirva de almacenamiento de archivos históricos (Vicente Guerrero, 2010).

### 2.7.4. Servidores

Son aplicaciones o programas informáticas que responden con recursos o tareas a otras aplicaciones llamadas clientes.

Si un elemento tiene implementada la capacidad de dar servicio de datos, o servidor Web, quiere decir que será posible acceder al mismo desde cualquier dispositivo que disponga de una conexión ethernet o wifi y tenga instalado un programa de exploración de red, o navegador web.

De esta manera es posible acceder a los datos desde cualquier ordenador de la empresa que tenga instalado un navegador permitiéndole:

- Integrar las diferentes áreas productivas de forma más sencilla al utilizar un único protocolo.
- Acceder a la red Ethernet de Planta desde Internet (mismo protocolo).
- Los datos son accesibles desde cualquier ordenador,
- Leer y escribir datos en los diferentes elementos de campo,
- Emplear herramientas de diagnóstico genéricas para Ethernet,
- Generar páginas web adaptadas a las necesidades del proceso.

### **Servidor Web (Web Server)**

Son programas que trabajan con el protocolo HTTP permitiendo la transferencia o renderizado de archivos HTM que contienen textos, imágenes, botones, videos etc., denominados objetos. Además, se encarga de dar servicio a peticiones HTTP llevadas a cabo por un cliente http, llamado también navegador o web browser.

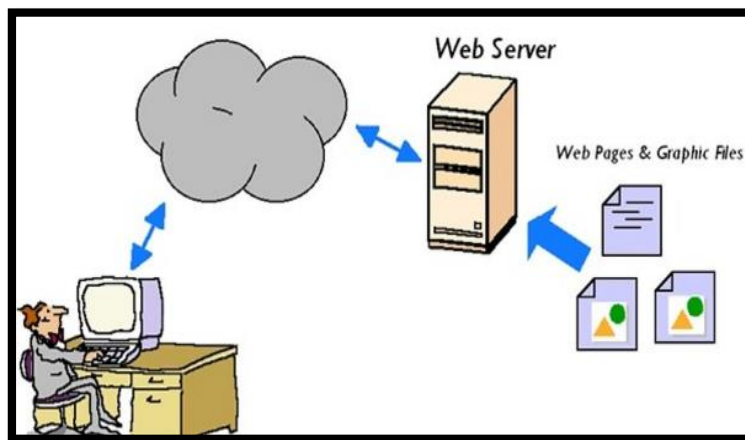


Figura 2.31 Arquitectura de Servidor Web  
Fuente: (Historia de la Web, 2014)

Al acceder a una URL en el navegador Web se realiza una petición HTTP a dicho servidor, si el servidor permite el acceso, responderá al cliente enviando el código HTML de la página este es el encargado de interpretar el código HTML presentar la página legible para los usuarios (neosoft, 2019).

## Componentes de las Aplicaciones Web Server

- **Front-End**

Está compuesto por las aplicaciones desarrolladas en lenguajes de programación como Java o JavaScript que se descargan desde el servidor y se ejecutan en el cliente mediante el navegador.

- **Back-End**

Son aplicaciones que se ejecutan en el servidor y generan y renderizan código HTML que se envía al cliente mediante el protocolo HTTP. Este tipo de aplicación es la más extendida al no condicionar el tipo de cliente (DevCode, 2019).

- **API (Application Programming Interface)**

Una API es un conjunto de funciones y procedimientos que cumplen una o muchas funciones con el fin de utilizar recursos de otro servidor de manera ordenada y bajo ciertos parámetros. Las siglas API vienen de Interfaz de Programación de Aplicaciones.

- **Node.js**

Es un entorno de ejecución para JavaScript construido con el motor de JavaScript V8 de Chrome orientado a eventos asíncronos, diseñado para construir aplicaciones en red escalables (Node.js, 2019).

- **MongoDB**

Es una base de datos distribuida diseñada para el desarrollo de aplicaciones modernas de almacenamiento en la nube. Cuenta con un nivel de productividad de uso muy alto (Mongo DB, 2019).

- **Heroku**

Es una plataforma en la nube que permite a las empresas crear, entregar, monitorear y escalar aplicaciones, esta plataforma es usada para datos y aplicaciones, que proporciona una base de datos como servicio segura y escalable con toneladas de herramientas de desarrollo como bases de datos, bifurcaciones, clips de datos y comprobaciones de estado automatizadas (HEROKU, 2019).

- **Git**

Es un sistema de gestión de versiones distribuidas gratuito y de código abierto diseñado para manejar desde proyectos pequeños hasta muy grandes, con gran velocidad y eficiencia (Git, 2019).

Ventajas:

- Líneas de código basadas en roles de producción, trabajo, pruebas y varias más pequeñas para el trabajo diario.
- Flujo de trabajo basado en funciones.
- Experimentación Desechable

## CAPÍTULO 3

### 3. Diseño e implementación del Sistema de monitoreo

#### 3.1. Generalidades de la Planta de tratamiento Mahuarcay

La Planta de Tratamiento Mahuarcay es una de las tres plantas de potabilización de agua con las que cuenta la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPAL-EP), esta planta está situada en la parroquia Bayas en el sector de Legabuga de la comunidad de Mahuarcay. Esta Planta realiza el tratamiento de agua potable mediante procesos físicos y químicos de filtración rápida con una capacidad mínima de 50lt/s y máxima de 110lt/s (Rojas, 2015).



Figura 3.1 Planta de tratamiento Mahuarcay Sector Legabuga.  
Fuente: Cortesía Emapal-EP

Esta planta de tratamiento funciona con operación a gravedad y está compuesta por los procesos de:

- Captación
- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración rápida
- Desinfección

Está formada por edificaciones complementarias para almacenamiento y dosificación de químicos, laboratorios de control, sala de operación, así como vías para circulación interna, jardines y espacios verdes (Rojas, 2015).

En la figura 3.2 se presenta los procesos realizados en la planta y las tareas de control, supervisión y monitoreo realizada por los operadores de la planta.

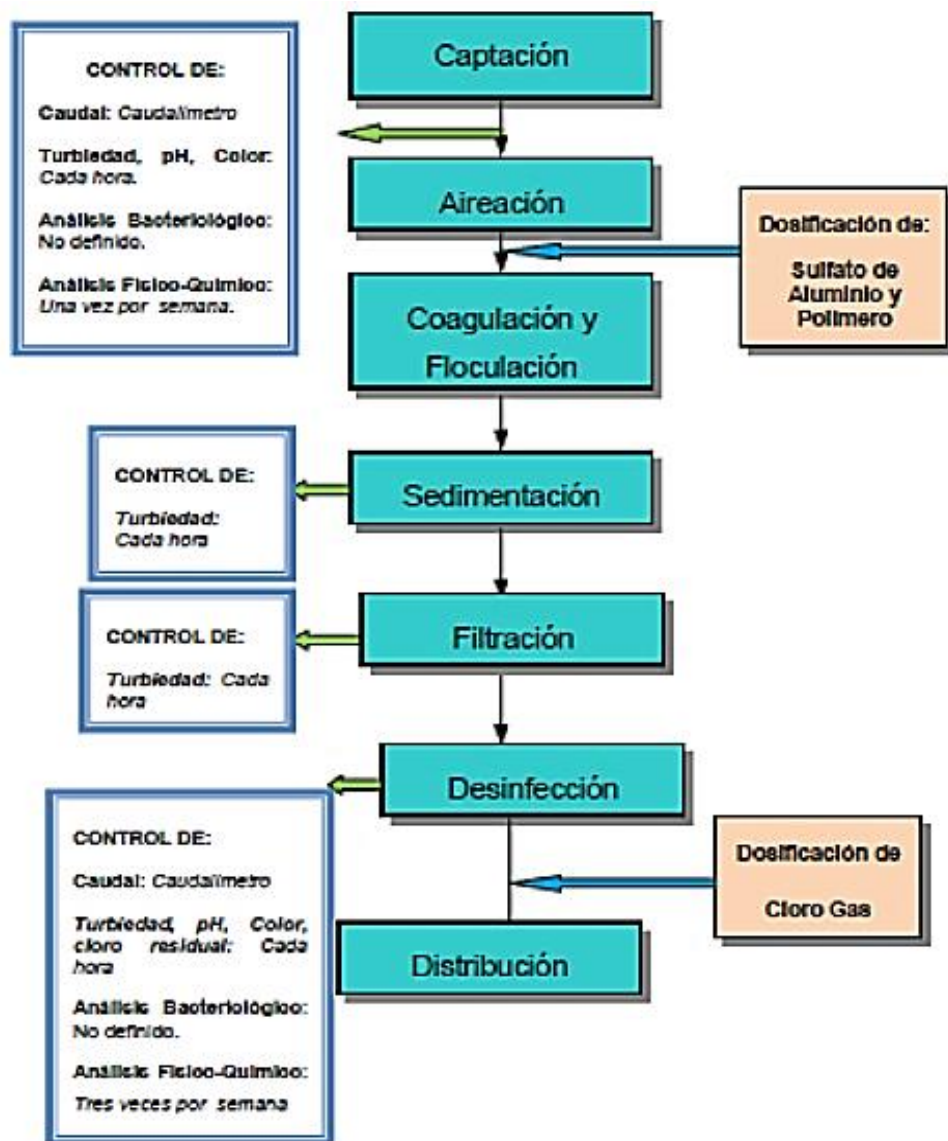


Figura 3.2 Diagrama de bloques de los procesos de la planta de tratamiento Mahuarcay, Fuente: (Rojas, 2015)

Entre los procesos de captación y aireación el operador registra y monitorea los valores de caudal, turbiedad, pH y color.

Estos parámetros son monitoreados en la etapa de entrada de la planta se realiza con la ayuda de instrumentos de medición detallados en la siguiente tabla.

Tabla 3-1 Instrumentos de medición usados en la etapa de entrada de la planta

| <b>ETAPA</b> | <b>INTRUMENTO</b>   | <b>VARIABLE</b>  |
|--------------|---|--|
| ENTRADA      | <ul style="list-style-type: none"><li>• Colorímetro</li><li>• Turbidímetro</li><li>• Caudalímetro</li><li>• Medidor de Ph</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Color</li><li>• Turbidez</li><li>• Caudal</li><li>• pH</li></ul> |

Fuente: Autor ()

Una vez se han registrado las mediciones en la etapa de entrada, los valores de caudal y turbiedad son usados para la preparación del coagulante en el subproceso de dosificación para luego mezclarse con el agua cruda en la etapa conocida como coagulación.



Figura 3.3 Mezcla de coagulante con el agua cruda.  
Fuente: Cortesía EMAPAL-EP

Cabe mencionar que el subproceso de coagulación tiene inferencia en todos los subprocesos siguientes de allí la importancia de la implementación del sistema.

A continuación, en la figura 3.4 se detalla los instrumentos usados en la planta y su respectiva interacción con los procesos.

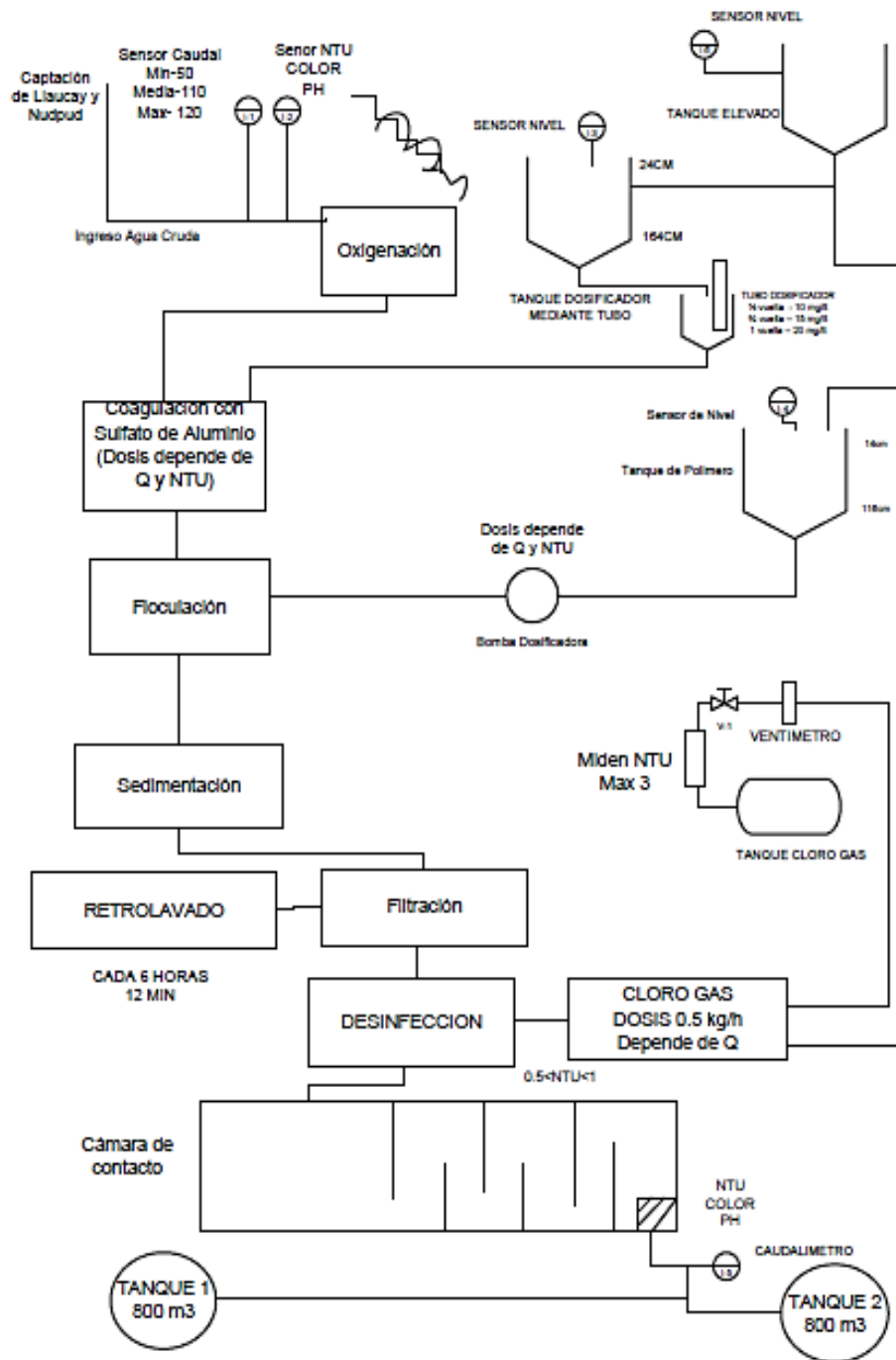


Figura 3.4 Diagrama general de los procesos de planta.  
Fuente: (Rojas, 2015)

### 3.2. Consideraciones del modelo

El modelo usado para el sistema de monitorización se estructurará en base dos criterios que son:

Funciones básicas a desempeñar

- Adquisición y registro de datos
- Centralización de información
- Gestión y almacenamiento de datos
- Representación Gráfica en tiempo Real

Equipos a disposición

- Caudalímetro Proline Promag 50W marca Endress-Hauser
- Turbidímetro Sensor CUS 31C marca Endress-Hauser
- PLC Siemens S7-200 y módulos de expansión
- PC de escritorio

Cada una de las tareas a realizar para el diseño e implementación del sistema fueron definidas por un orden jerárquico establecido por la pirámide de automatización CIM que inicia a partir de los dispositivos de campo como son los sensores para la captura de datos hasta llegar a la visualización de los mismos.

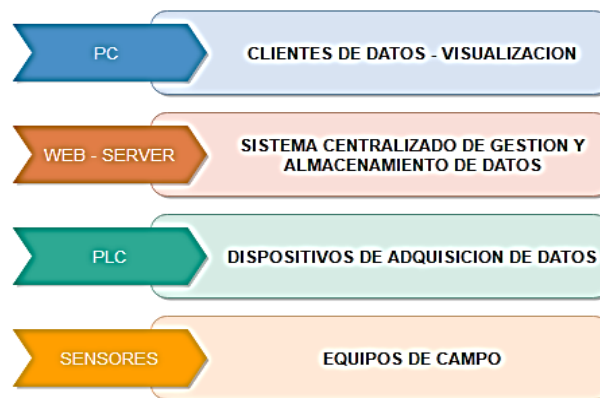


Figura 3.5 Estructura General del Sistema de Monitoreo  
Fuente: Autor ()

### 3.3. Estructura General del sistema

#### Arquitectura CIM

La estructura del sistema se realizó considerando la estructura de la figura 3.5 basada en la Pirámide CIM de automatización y en base a los criterios de diseño del sistema.

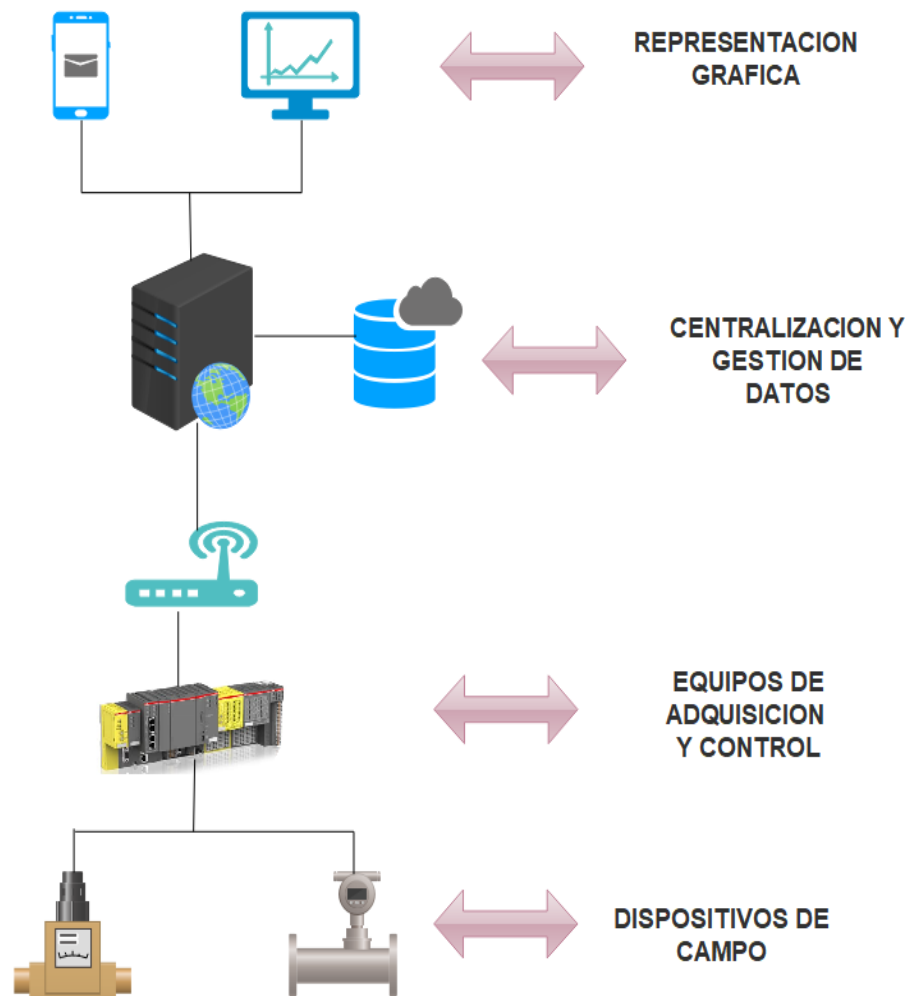


Figura 3.6 Arquitectura General del Sistema de Monitoreo  
Fuente: Autor ()

## Estructura de Red

La arquitectura del sistema está basada en la topología de red ethernet estrella, los equipos se centralizan en el Router y los hosts se conectan a los Switchs de acuerdo a la figura 3.7.

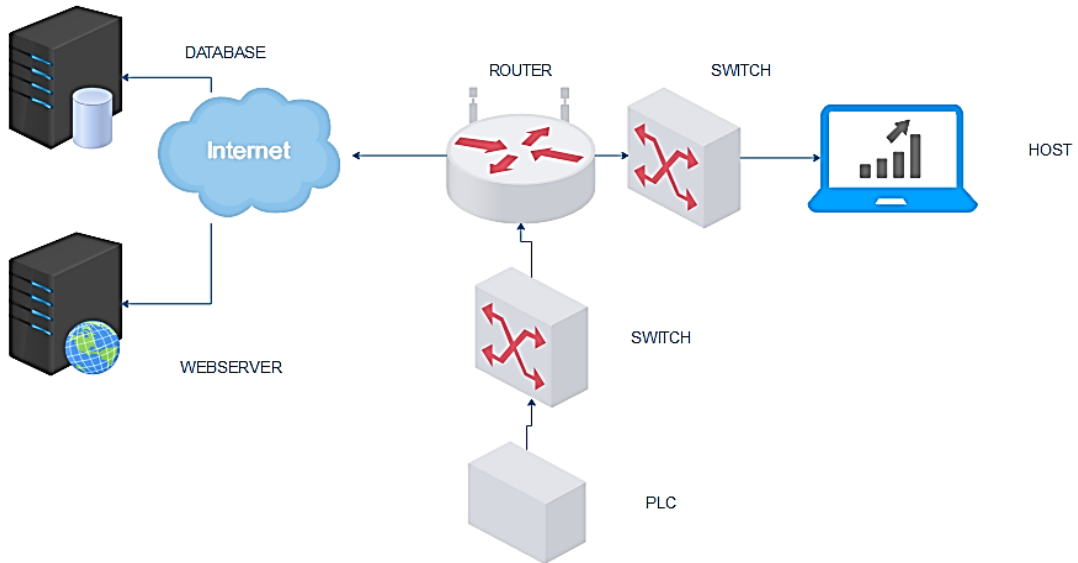


Figure 3.7 Estructura de red del sistema  
Fuente: Autor ()

### 3.4. Montaje y Configuración de Componentes Hardware

#### 3.4.1. Sensores

Los equipos para la medición de caudal y turbiedad fueron previamente montados, y puestos en marcha por la misma empresa dispuestos de acuerdo a la figura 3.8.

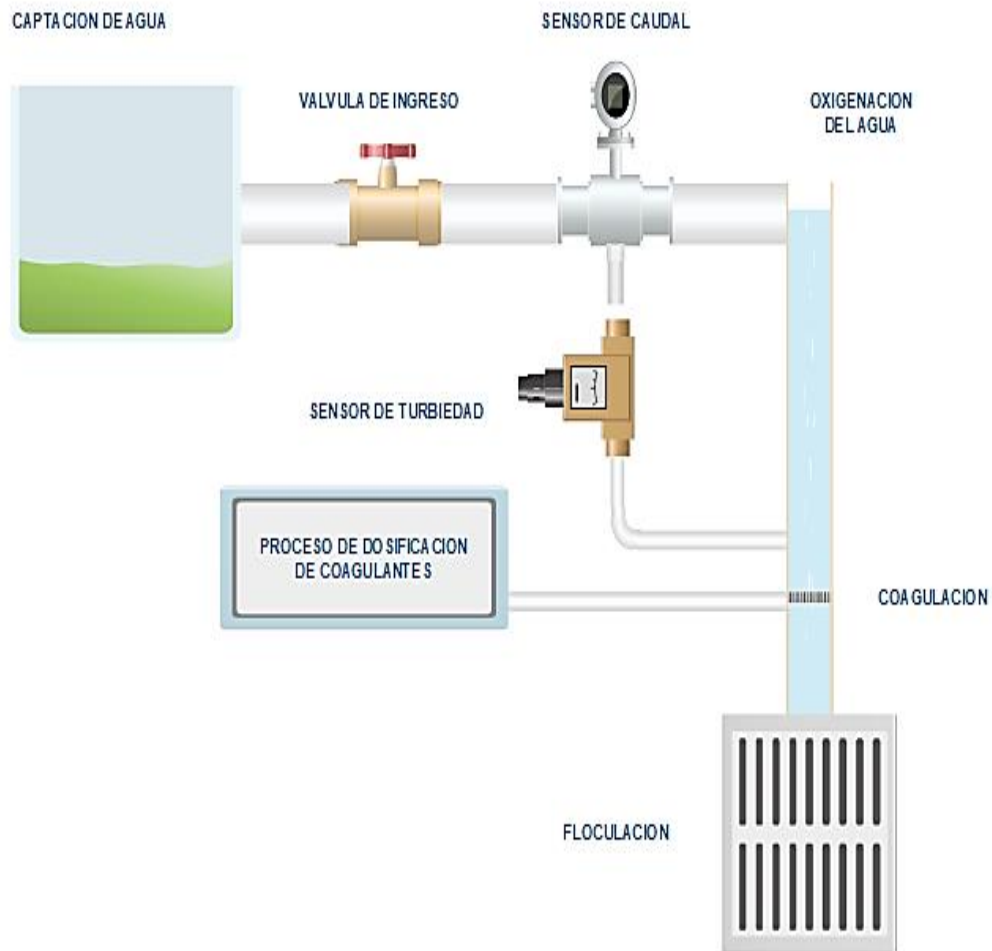


Figura 3.8 Disposición de los Sensores de Caudal y turbidez  
Fuente: Autor ()

## Sensor de Caudal

El Caudal es el primer parámetro en ser medido en la etapa de ingreso de agua una vez ha pasado por el proceso captación el Caudalímetro electrónico se encuentra instalado y operando.



Figura 3.9 Caudalímetro electrónico.  
Fuente: Cortesía EMAPAL-EP

## Sensor de Turbiedad

Una vez es se ha realizado la medición del caudal se realiza la medición de turbidez del agua mediante un Turbidímetro electrónico con su respectivo transmisor montados y en operación.



Figura 3.10 Turbidímetro Electrónico.  
Fuente: Cortesía EMAPAL-EP

### 3.4.2. Transmisores

#### Transmisor de caudal

El transmisor de caudal al ser un elemento compacto no requiere de montaje, este dispositivo se encuentra ya instalado juntamente con el sensor de acuerdo al diagrama de conexión de terminales de la figura 3.11.

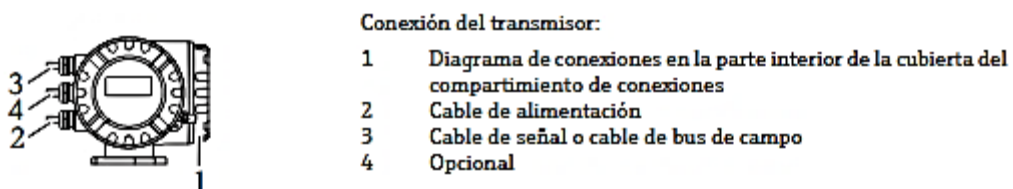


Figura 3.11 Diagrama de alimentación del transmisor de caudal  
Fuente: (Endress-Hauser, 2019)

#### Conexión Hart

Las conexiones para las salidas de corriente de 4 a 20 mA se realizaron en los terminales 26 y 27 respectivamente.

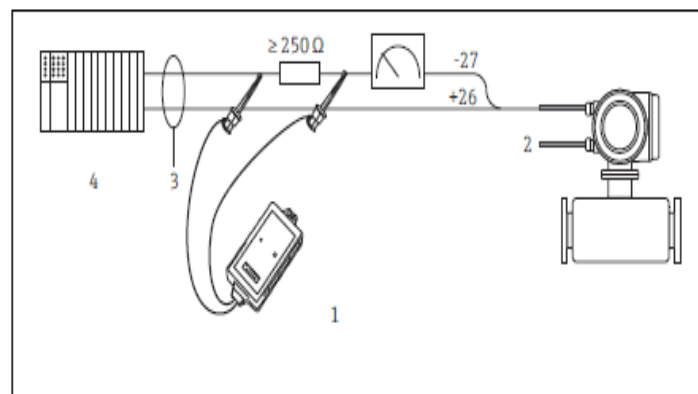


Figura 3.12 Conexión Hart del transmisor de caudal  
Fuente: (Endress-Hauser, 2019)

## Configuraciones Hart

Las configuraciones se establecen a partir de una matriz de funciones que se pueden manipular desde las teclas del transmisor (ver Anexo C) y visualizarse a través del indicador de cristal líquido.

### Salida de corriente

Dentro del grupo de funciones designado como salidas de corriente se realizan las siguientes configuraciones.

Paso1:

Selección de salida de corriente

Opciones:

- OFF
- **Caudal volumétrico**

Paso 2:

Selección del rango de salida de corriente

Opciones:

- 0-20 mA
- **4-20 mA HART**
- 4–20 mA NAMUR

Paso 3:

Definir el valor máximo de 20 mA

Ajuste de fábrica:

- **150 lts/sg**

Una vez realizada las configuraciones e instalaciones correspondientes se procede a las conexiones en el módulo de expansión analógico EM-231 de acuerdo a la figura 3.14.

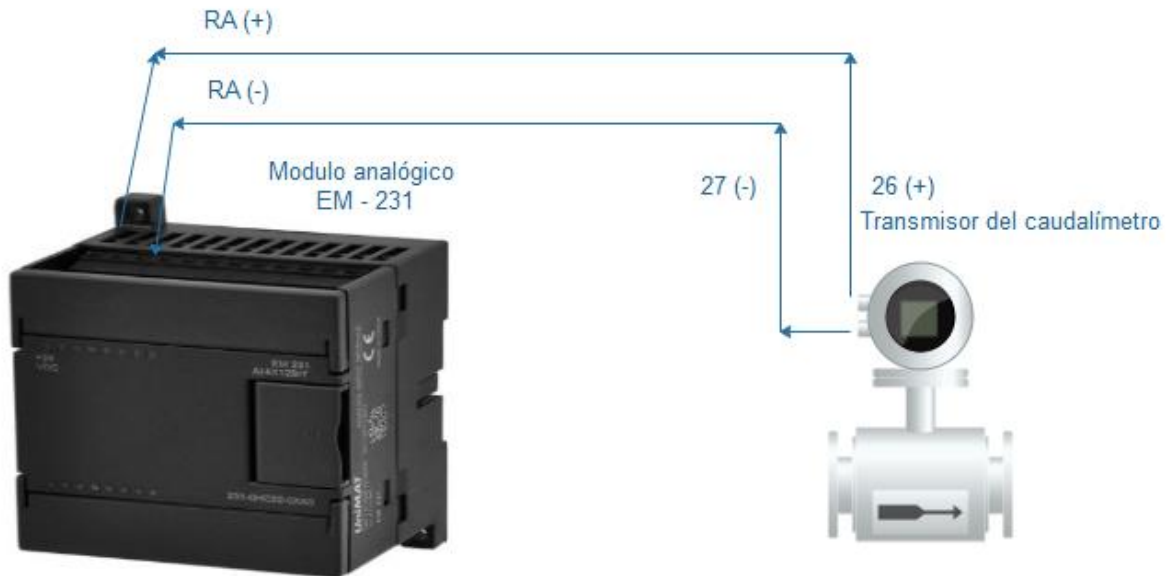


Figura 3.13 Diagrama de Conexión Hart entre PLC y el Transmisor de Caudal  
Fuente: Autor ()

### Transmisor de Turbidez

El transmisor de turbidez a diferencia del transmisor de caudal se encuentra separado del sensor sin embargo las conexiones del sensor y alimentaciones del transmisor fueron ya realizadas previamente por la empresa, por lo tanto, se puntualizará en las conexiones hart para la transmisión de la señal para la salida de corriente.

### Conexión Hart

Las conexiones para las salidas de corriente para la comunicación Hart se establecen en los terminales 31 y 32 del transmisor (ver figura 3.14).

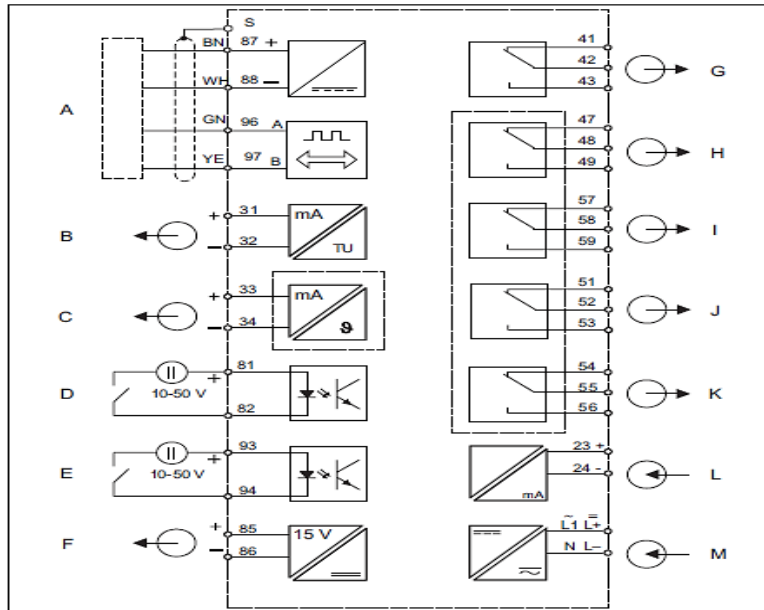


Figura 3.14 Conexión eléctrica del transmisor de turbidez.  
Fuente: (Endress-Hauser, 2019)

## Configuraciones Hart

Las configuraciones para la comunicación Hart del transmisor de turbiedad es similar a las del transmisor de caudal el sistema se encuentra formado por una matriz de funciones accesibles desde el teclado del dispositivo (ver ANEXO C).

## Salidas de corriente

Dentro de los parámetros de salida de corriente se establecen las siguientes configuraciones para la comunicación Hart.

Paso 1:

Entrada o salida de corriente

Opciones:

- **Lineal**
- Simulación

Paso 2:

Rango de corriente

Opciones:

- 0 – 20 mA
- **4 – 20 mA**

Paso 3:

Valor de turbidez para 4 mA

- 0 NTU

Paso 4:

Valor de turbidez para 20 mA

- 9999 NTU

Una vez realizada las configuraciones e instalaciones correspondientes se procede a la conexión del cable en el extremo contrario en el módulo analógico EM-231 del PLC de acuerdo a la figura 3.15.

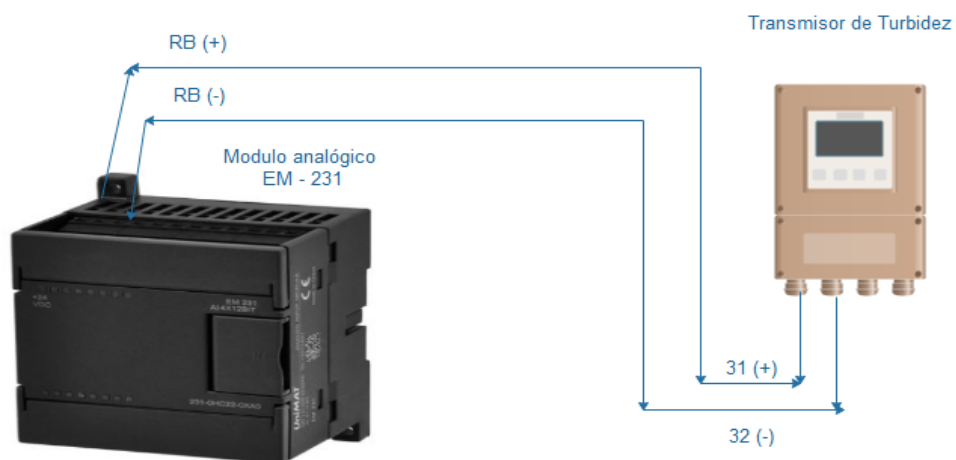


Figura 3.15 Diagrama de conexión módulo analógico EM-231 y el Transmisor de turbidez.  
Fuente: Autor ()

### 3.4.3. Autómata programable y módulos de expansión

El montaje de los dispositivos para la adquisición y transmisión conformados por el PLC y los módulos de expansión se encuentran ya montados en un armario (ver figura 3.16) usado para la centralización de conexiones de sensores transmisores y demás equipos para el control de la planta.



Figura 3.16 Armario de centralización de equipos de control y adquisición,  
Fuente: Cortesía EMAPAL-EP

#### Conexión Hart

##### Modulo entradas analógicas EM-231

Las señales de los sensores de caudal y turbiedad enviadas por los transmisores se realizan en los terminales del módulo de expansión analógico EM-231.

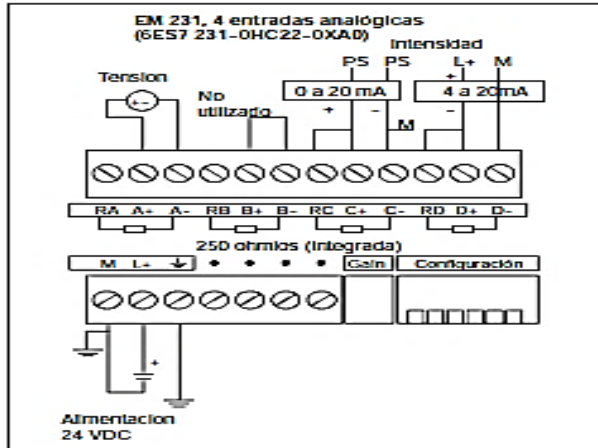


Figura 3.17 Diagrama de conexiones de entradas de corriente 4–20 mA  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Las señales de corriente de caudal y turbidez se encuentran conectadas en los terminales RA Y RB de acuerdo a la figura 3.19 respectivamente en el módulo de expansión EM-231.

### Módulo Ethernet CP-243-1

El módulo de comunicaciones IT el CP-243-1 se encuentra montado y conectado al PLC S7-226 juntamente con otros módulos de expansión de entradas analógicas y salidas digitales.

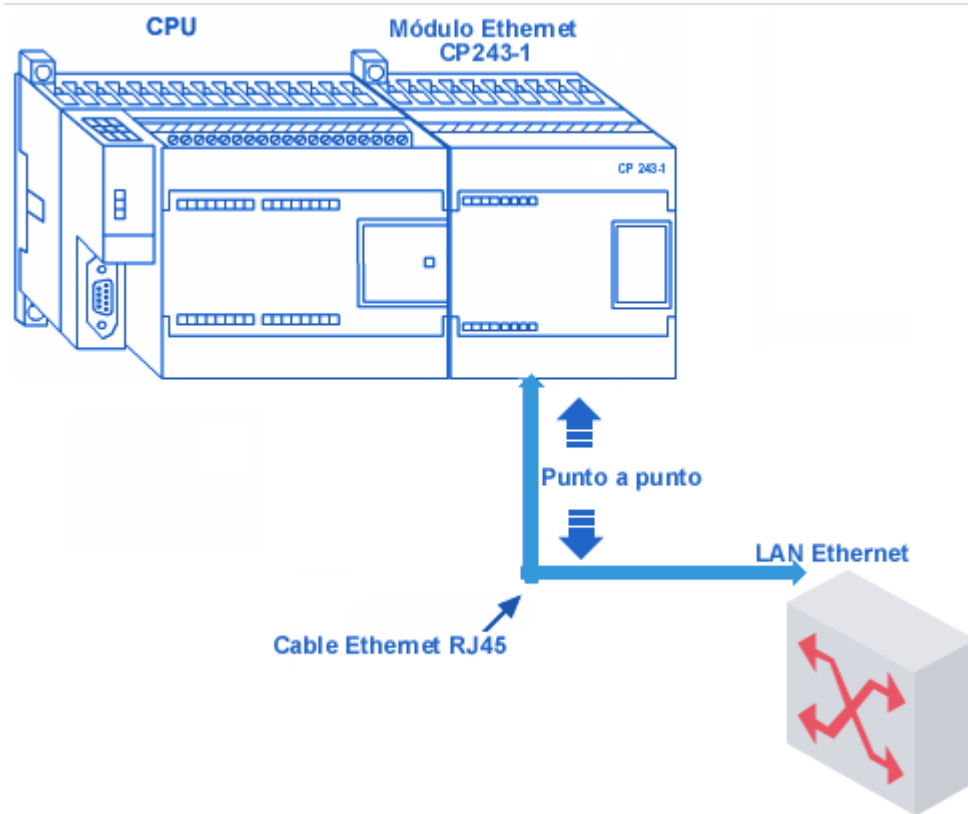


Figura 3.18 Diagrama de conexiones Modulo Ethernet CP 243-1  
Fuente: Autor ()

### PLC S7-226

Las conexiones de alimentación del controlador lógico programable S7-226 de corriente alterna no fueron realizadas por lo tanto se realizó las conexiones de alimentación a 110v de acuerdo al diagrama de alimentación de la figura 3.19.

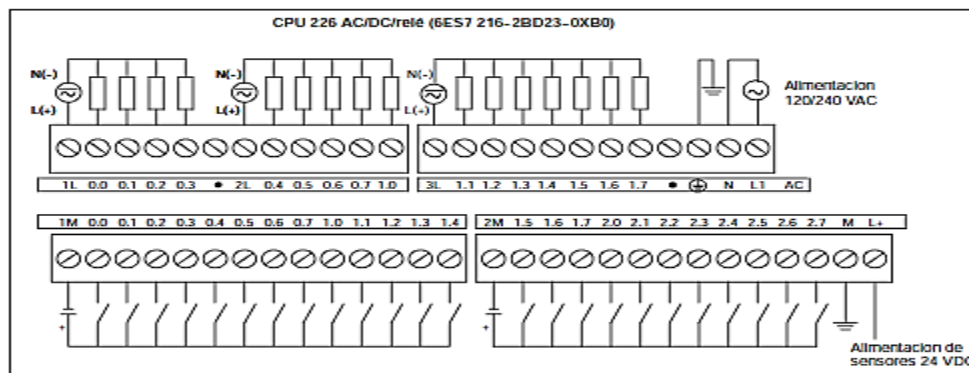


Figura 3.19 Diagrama eléctrico de alimentaciones del PLC S7-226  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

### 3.4.4. Configuración y Programación del PLC S7-226

La programación del PLC se realiza con una PC equipada con el software de programación Step7-MicroWin a través de uno de los puertos seriales utilizando un cable multimaestro RS- 232/PPI (Siemens AG, 2008).

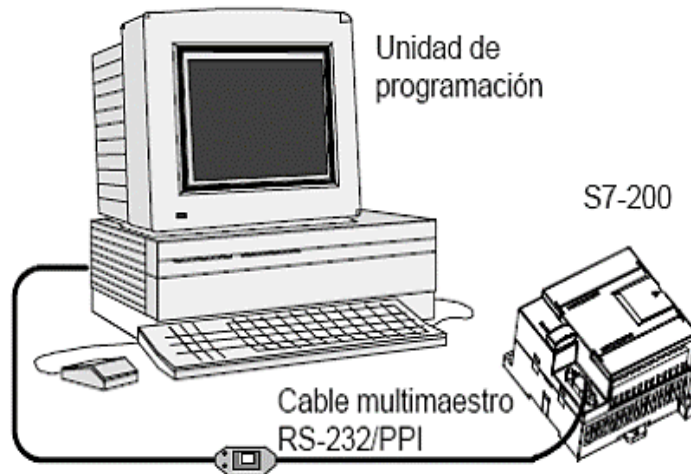


Figura 3.20 Esquema de conexión del S7-200 al PC con enlace PPI  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

### Conexión Inicial

La conexión inicial del PLC S7-226 y la PC se realiza de acuerdo a la figura 3.22 por medio del puerto serial RS 485 del PLC. El CPU S7200 tiene configurado el puerto 2 de fábrica.

Realizada la conexión física del PC al PLC S7-226 se configurará el CPU para conexión a través de protocolo Ethernet por medio de un cable de red RJ-45. Esta configuración del módulo ethernet es importante para la transmisión de las variables de las entradas analógicas a la aplicación web.

A continuación, se describe en detalle los pasos necesarios para la comunicación del PLC S7-226 vía Ethernet.

Paso 1:

- Iniciar el software de programación Step7-MicroWin y crear un nuevo proyecto.

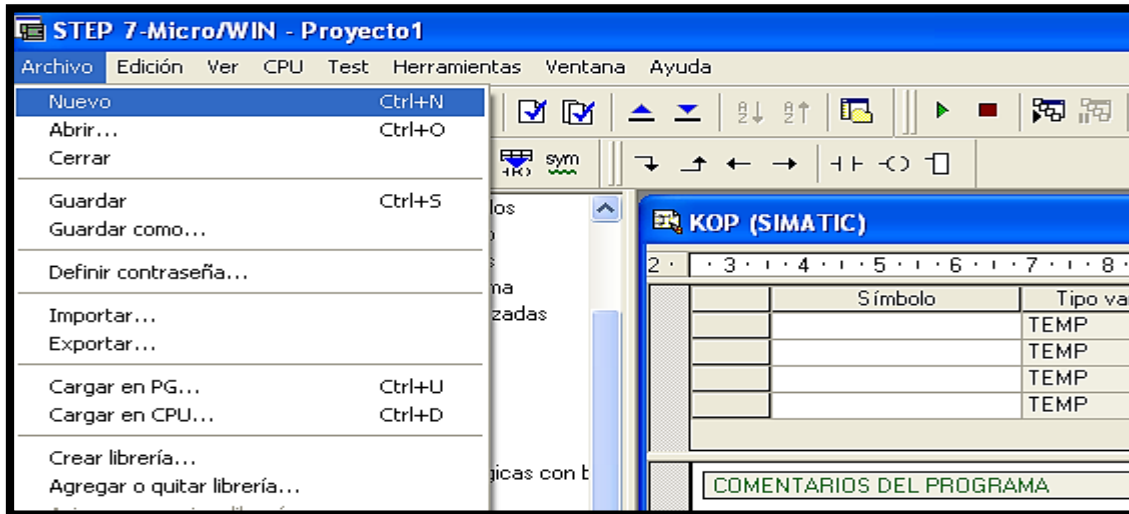


Figura 3.21 Pantalla inicial Step7-MicroWin  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Paso 2:

- Abrir la ventana herramientas y seleccionar la opción asistente ethernet.

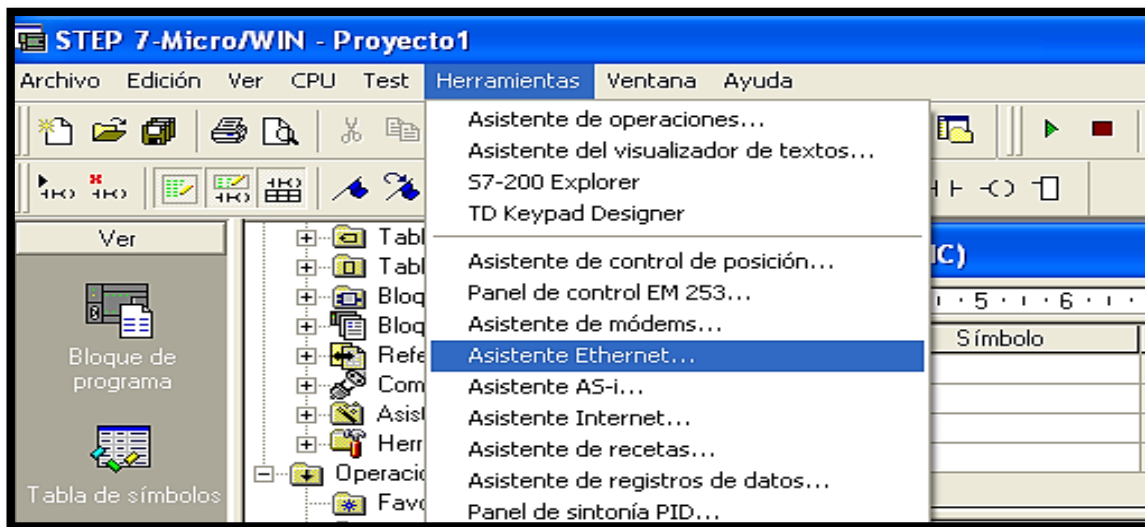


Figura 3.22 Asistente de configuración modulo Ethernet  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Paso 3:

Indicar la posición del módulo

- Hacer click en el botón “Leer módulos” para obtener automáticamente la posición de modulo ethernet conectado.

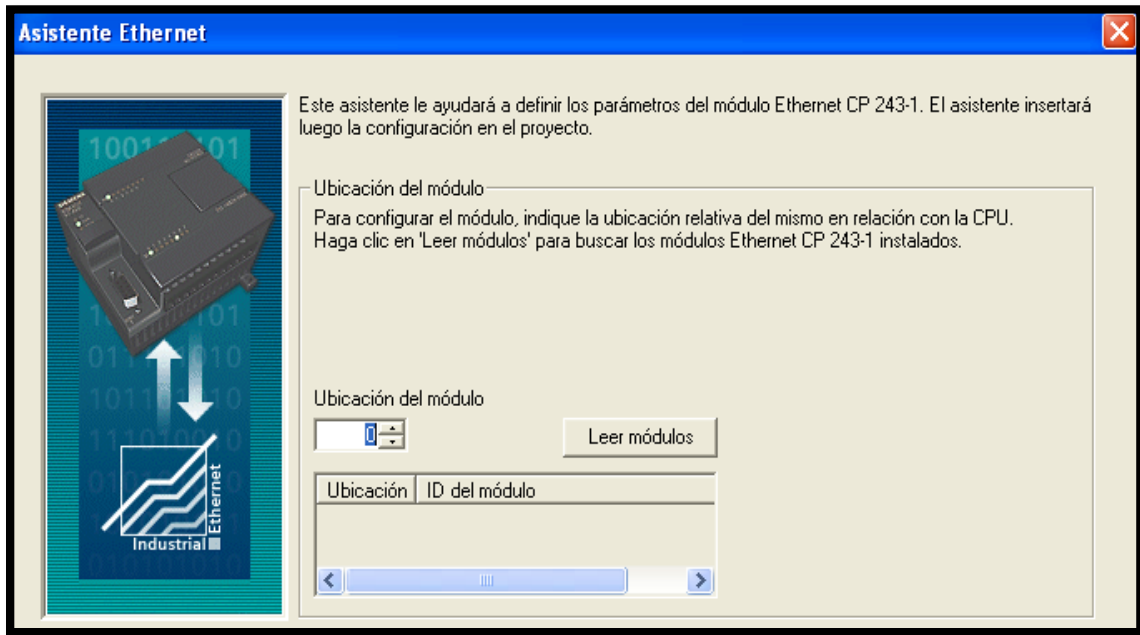


Figura 3.23 Ubicación del módulo Ethernet.

Fuente: (Siemens AG, 2008)

Paso 4:

Definir las direcciones del módulo.

- Introducir manualmente la IP, mascara y la dirección de la puerta de enlace o marque la casilla de verificación “Permitir servidor BOOT” para asignar automáticamente las direcciones.

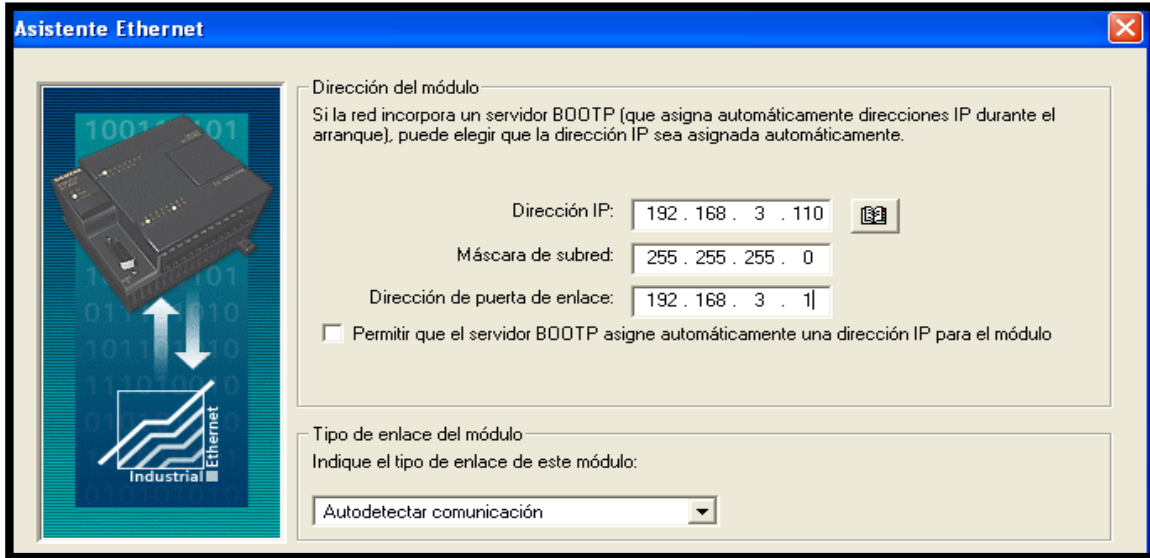


Figura 3.24 Direccionamiento del módulo Ethernet.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Paso 5:

Determinar el byte de comando y la cantidad de enlaces.

- Introducir la dirección de salida Q igual a 2 y la cantidad de enlaces igual a 1.

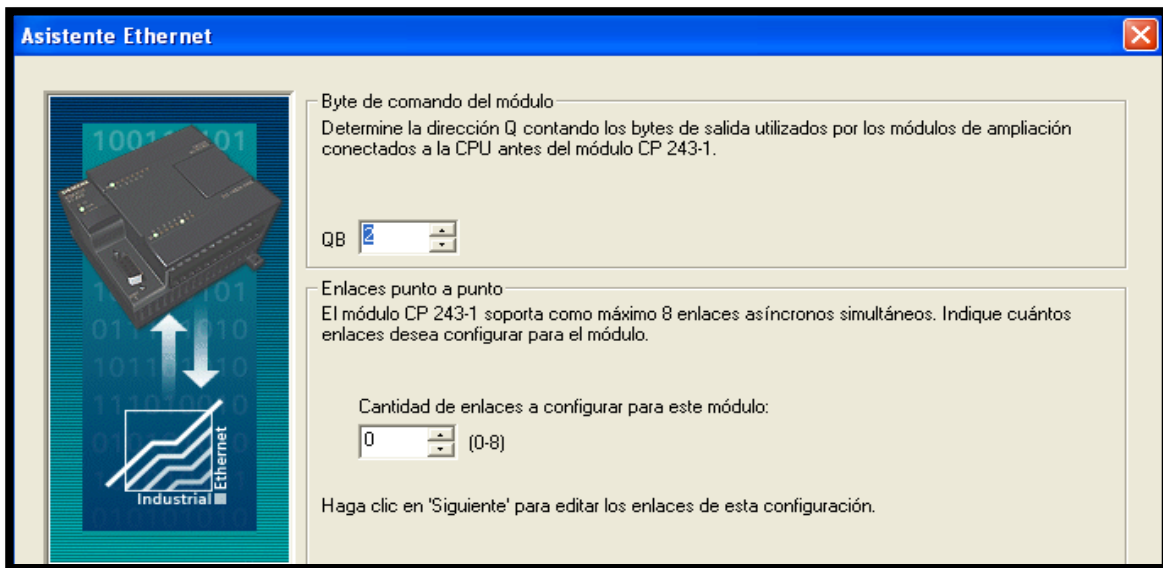


Figura 3.25 Configuración de servidor BOOT.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Paso 6:

### Configurar los enlaces

- Seleccionar “enlace servidor” para recibir las peticiones de enlace realizadas por la aplicación Web Server.

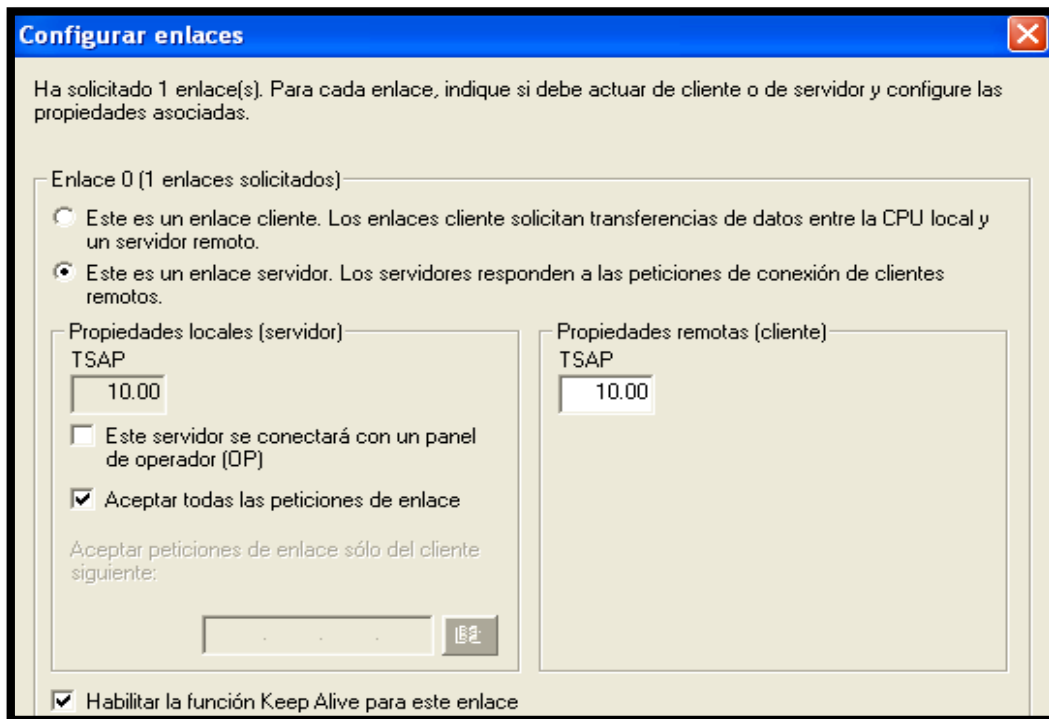


Figura 3.26 Puertos TSAP para el enlace de comunicación.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Por defecto se genera los puertos 10.00 localmente y el 10.02 remotamente no es necesario cambiar al menos que se desee especificar otro puerto.

Paso 7:

### Determinar la protección CRC y el intervalo “Keep Alive”

- Generar protección CRC activa para la reconfiguración ethernet.

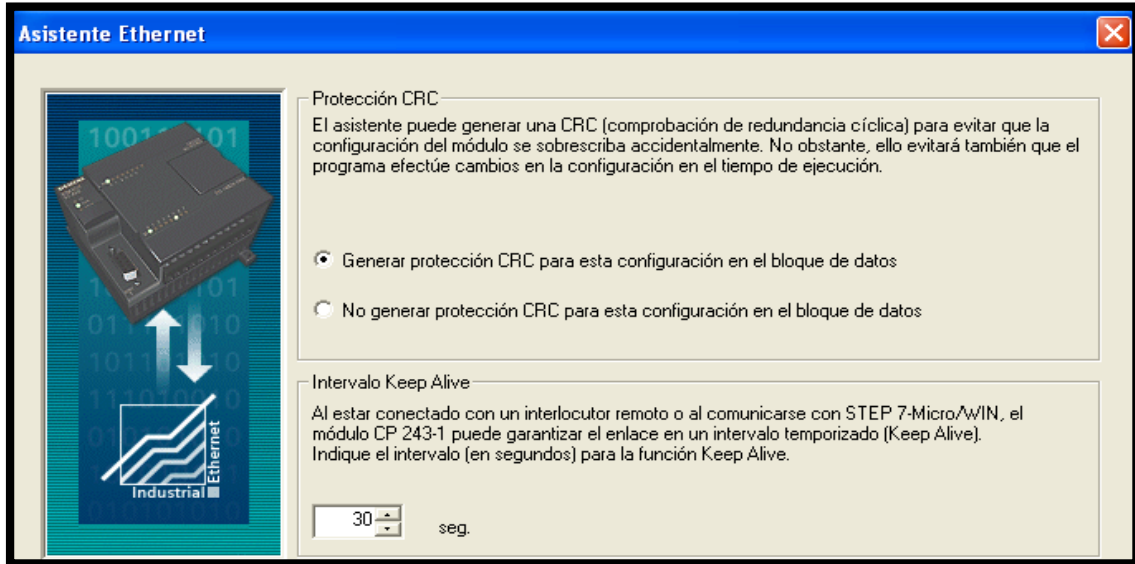


Figura 3.27 Protección CRC e intervalo Keep Alive.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Paso 8:

Asignar memoria a la configuración

- El asistente crea un bloque de configuración para el modulo ethernet y lo guarda automáticamente en la memoria V de la CPU.

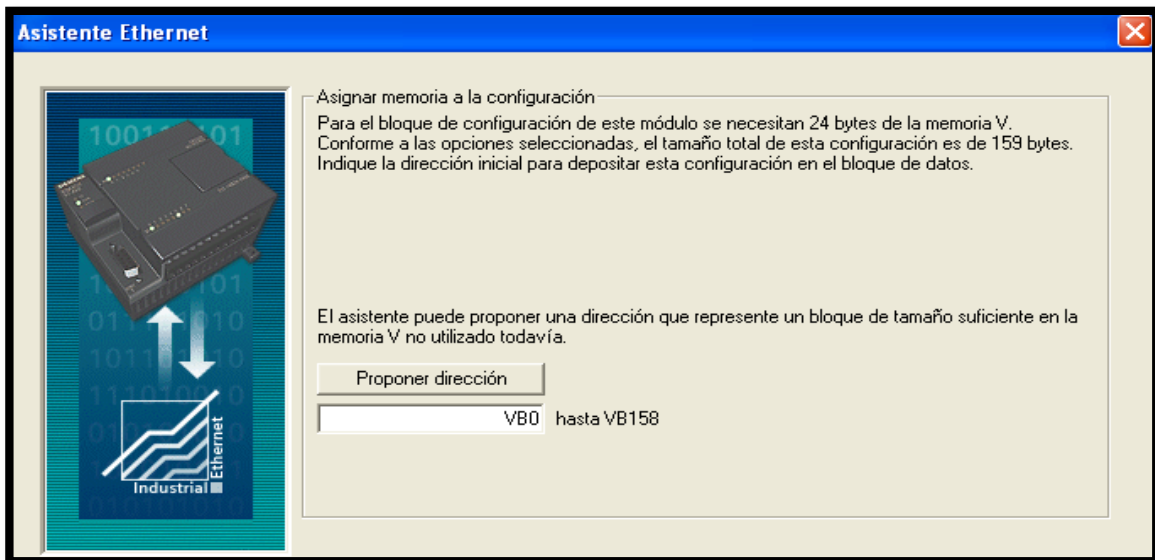


Figura 3.28 Direcciones de memoria reservada  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

## Paso 9:

### Generar los componentes del proyecto

- El asistente genera los componentes del proyecto para la configuración seleccionada poniendo a disposición del programa de usuario.

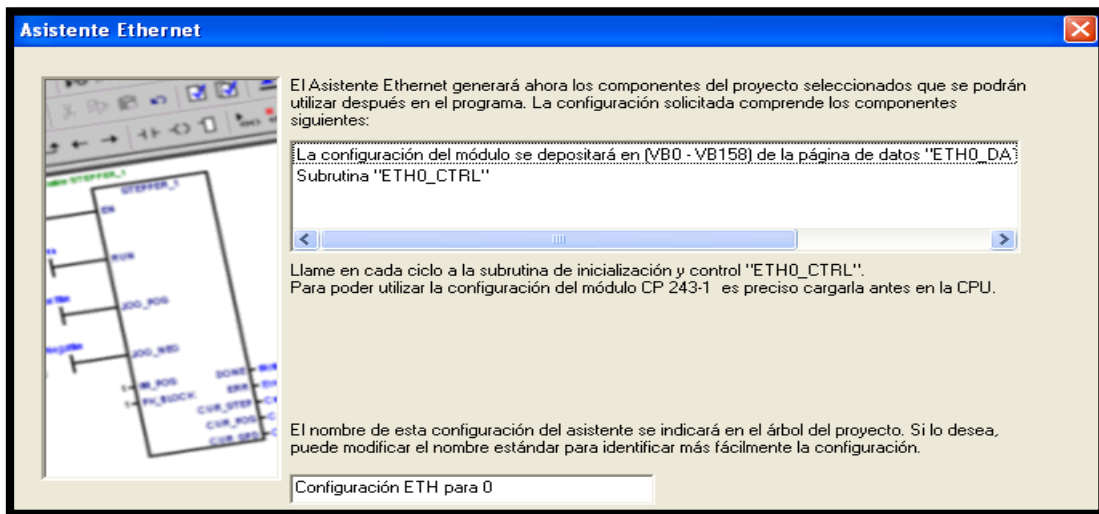


Figura 3.29 Finalización de la configuración del módulo Ethernet.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

## Paso 10:

Una vez creada la configuración para el enlace Ethernet, se carga en el CPU.

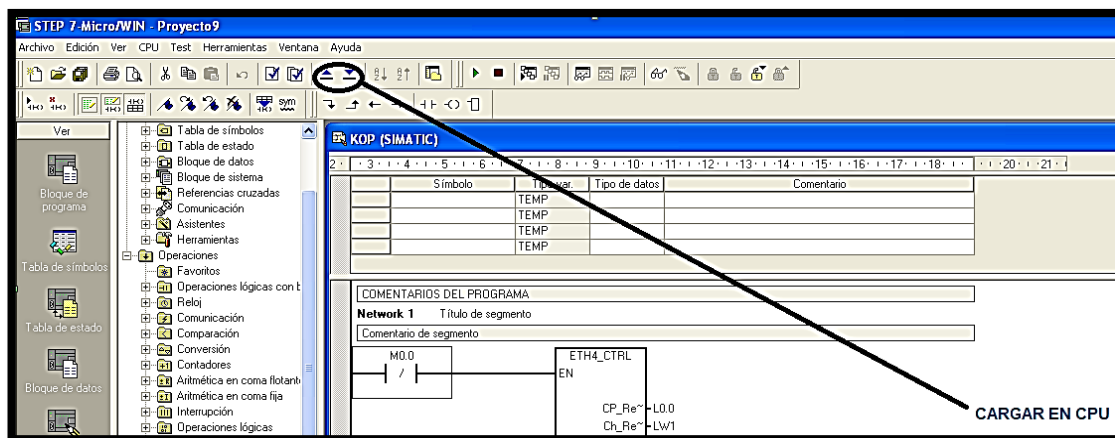


Figura 3.30 Carga de la configuración en el PLC S7-226  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Paso 11:

- Resetear el PLC desconectando la alimentación y volverlo a energizar, luego intentar la comunicación con el PLC vía Ethernet. Para lograrlo se entra primero en el menú Comunicación.

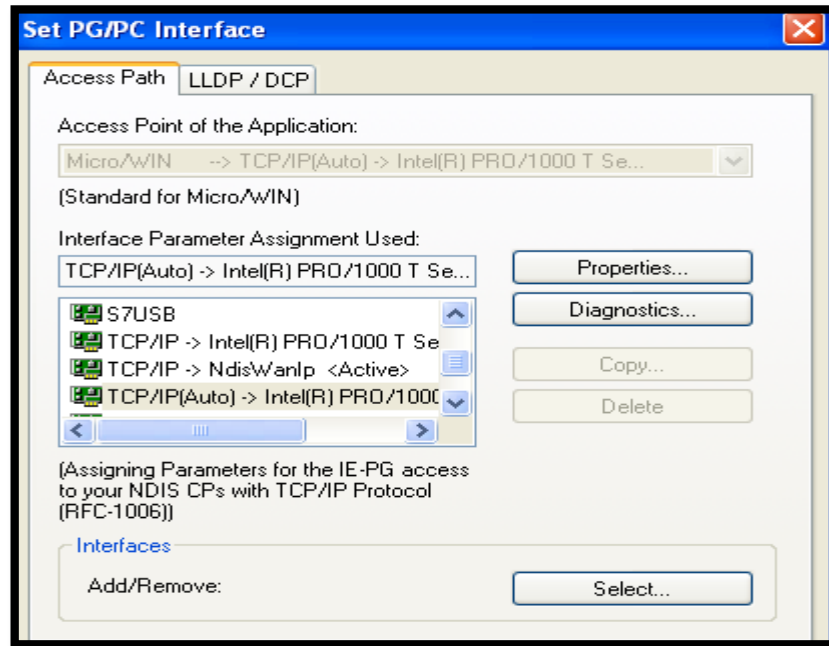


Figura 3.31 Establecer comunicación Ethernet.  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Paso 12:

Introducir la dirección IP en la ventana Comunicación con la cual se configuró el módulo Ethernet CP 243-1. Hacer doble clic sobre el símbolo para actualizar para intentar establecer un enlace con la dirección IP indicada.

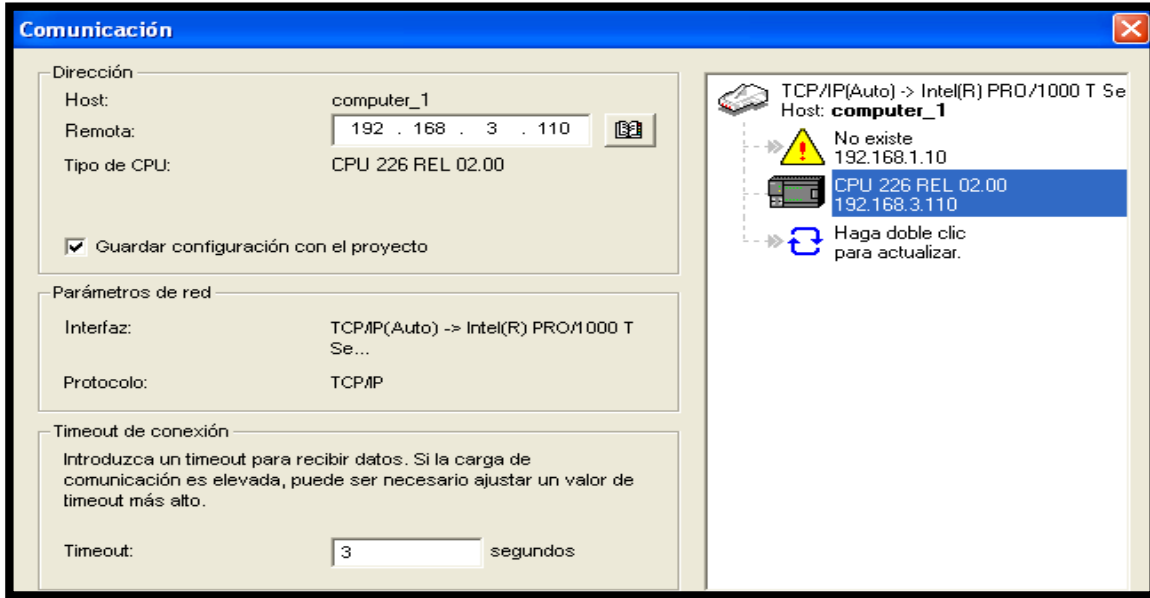


Figura 3.32 Establecimiento de enlace mediante dirección IP  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

Paso 13:

Establecida la comunicación vía Ethernet, se carga el programa (ver Anexo B) para la lectura de las entradas analógicas de caudal y turbiedad además de la generación de alarmas en una de las salidas del PLC.

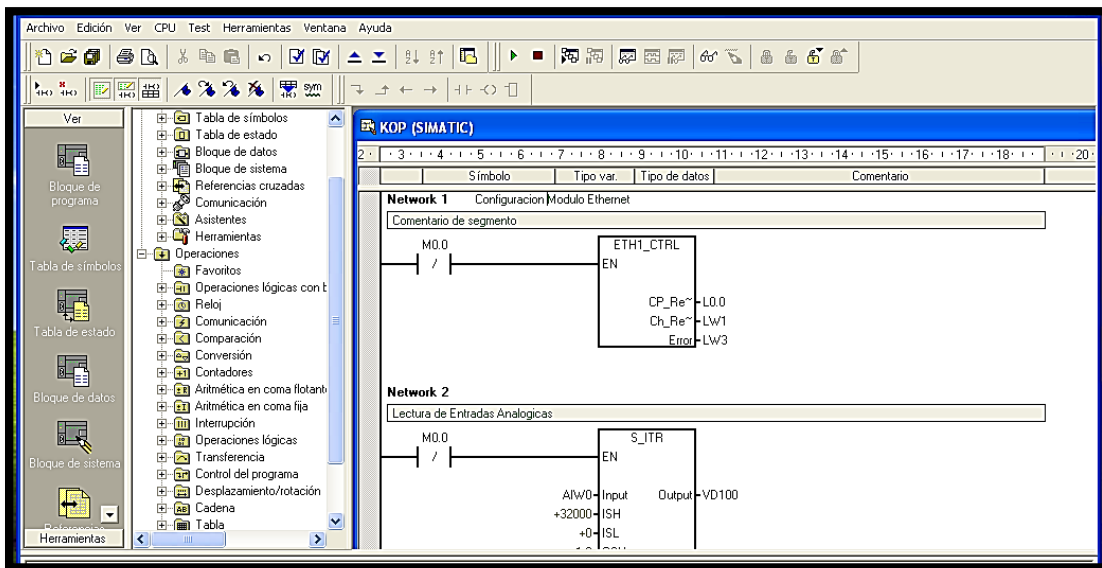


Figura 3.33 Programa principal de lectura de entradas de corrientes  
Fuente: (Siemens AG, 2008)

### 3.5. Diseño e implementación de la aplicación Web Server

El diseño del Web Server consta de dos partes una del lado del servidor denominado (BACKEND) y la otra del lado del cliente (FRONTEND) de acuerdo a la figura 3.34.



Figura 3.34 Arquitectura de Aplicaciones Web  
Fuente: (DevCode, 2019)

#### 3.5.1. Diseño de la interfaz Gráfica (FRONTEND)

El diseño de la interfaz gráfica de la aplicación Web consta de cuatro ventanas en las cuales se puede visualizar las funciones principales de los sistemas de monitoreo que son:

- Graficas en tiempo Real
- Generación de Alarmas
- Registros de datos
- Históricos

##### Ventana de Graficas Tiempo Real

Esta ventana permite visualizar en tiempo real las variables y alarmas de caudal y turbiedad del sistema además de notificaciones de alarmas activas entre otras representaciones.

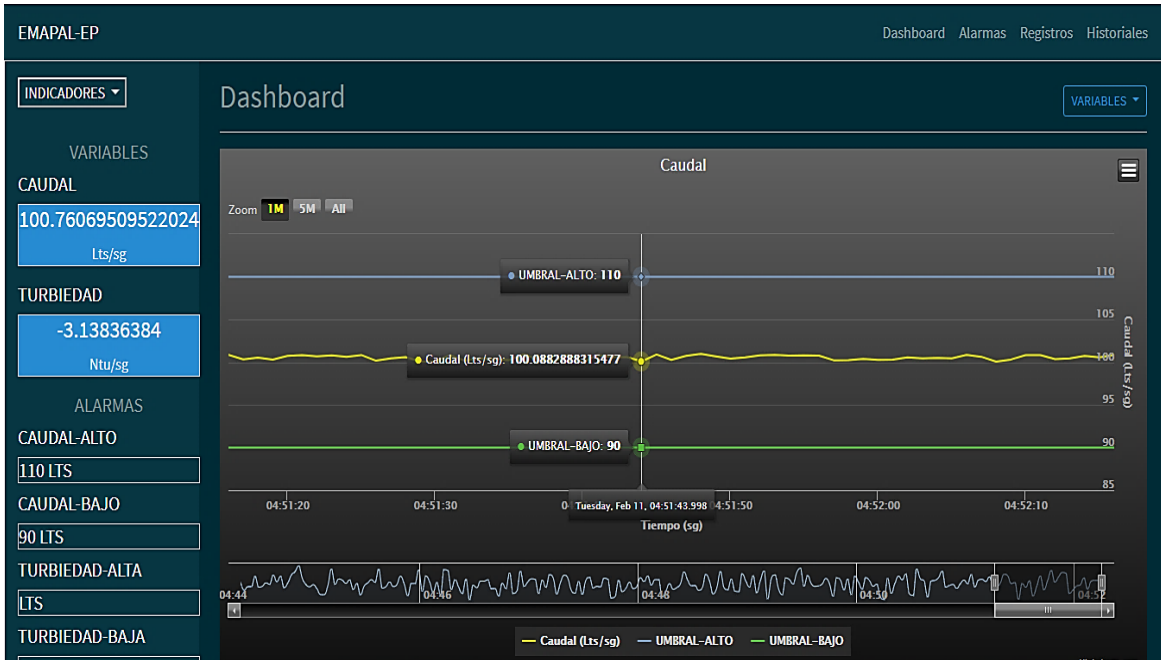


Figura 3.35 Ventana principal del sistema.  
Fuente: Autor ()

## Ventana Alarmas

En esta ventana se establecen los valores o umbrales altos y bajos de los niveles de turbiedad y caudal que serán enviados al PLC para la generación de alarmas.

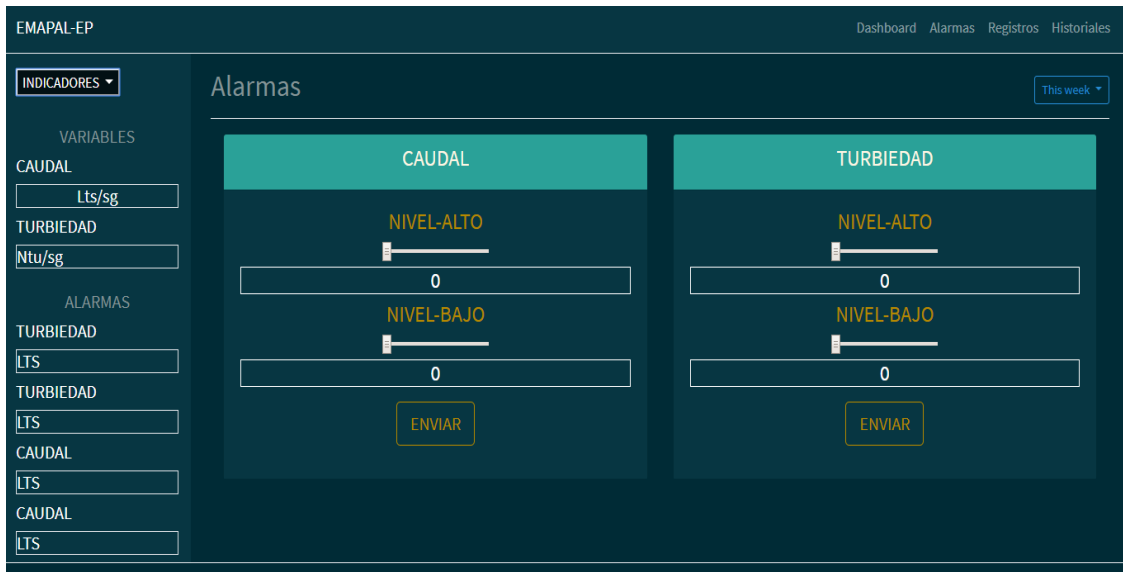


Figura 3.36 Ventana de generación de alarmas.  
Fuente: Autor ()

## Ventana de Registros

Se visualiza los registros de alarmas generadas, los valores de caudal y turbiedad en diferentes instantes de tiempo, todos estos registros son consultados desde la base de datos.



| ID | NIVEL_ALTO | NIVEL_BAJO | OPERATION   |
|----|------------|------------|-------------|
| 1  | 157        | 53         | DELETE EDIT |
| 2  | 184        | 90         | DELETE EDIT |
| 3  | 139        | 116        | DELETE EDIT |
| 4  | 204        | 71         | DELETE EDIT |

Showing 1 to 10 of 31 entries

Previous 1 2 3 4 Next

Figura 3.37 Ventana de Registros.  
Fuente: Autor ()

## Ventana de Históricos

Usada para la visualización de la evolución de los parámetros de entrada puede ser visualizado por día por semana o por meses, cada una de las gráficas obtienen los registros de la base de datos cada vez que se refresca la página.

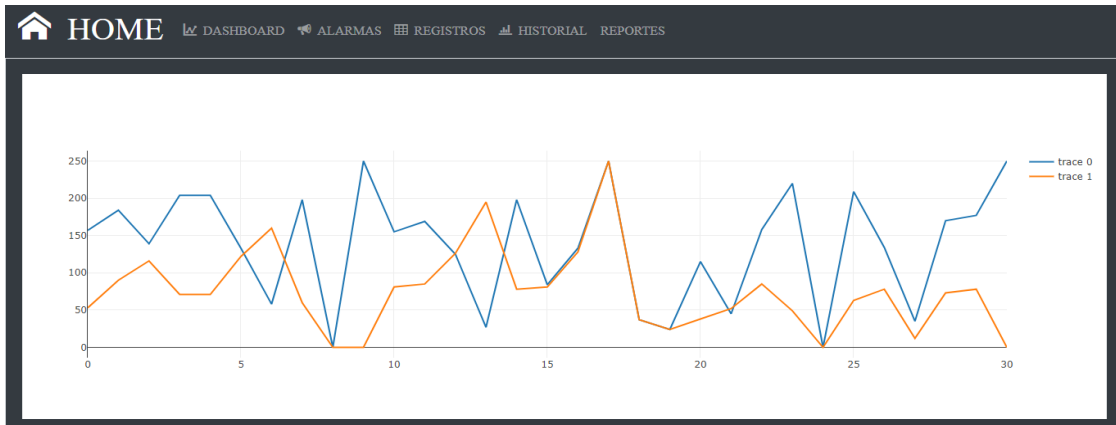


Figura 3.38 Históricos de caudal y turbiedad y alarmas  
Fuente: Autor ()

Cada una de las ventanas fueron creadas en base a los pilares de desarrollo Front-End que son:

- HTML
- CSS
- JavaScript

Además de los dos lenguajes de desarrollo web para el lado del cliente también se usó uno de los frameworks para estilizar la página como es Bootstrap el editor de código usado para el diseño fue Visual Studio Code.

Figura 3.39 Edición de código en Visual Studio Code  
Fuente: Autor ()

### 3.5.2. Diseño del Servidor Web (BACKEND)

La arquitectura del servidor se establece en base al modelo que se presenta en la figura 3.40.

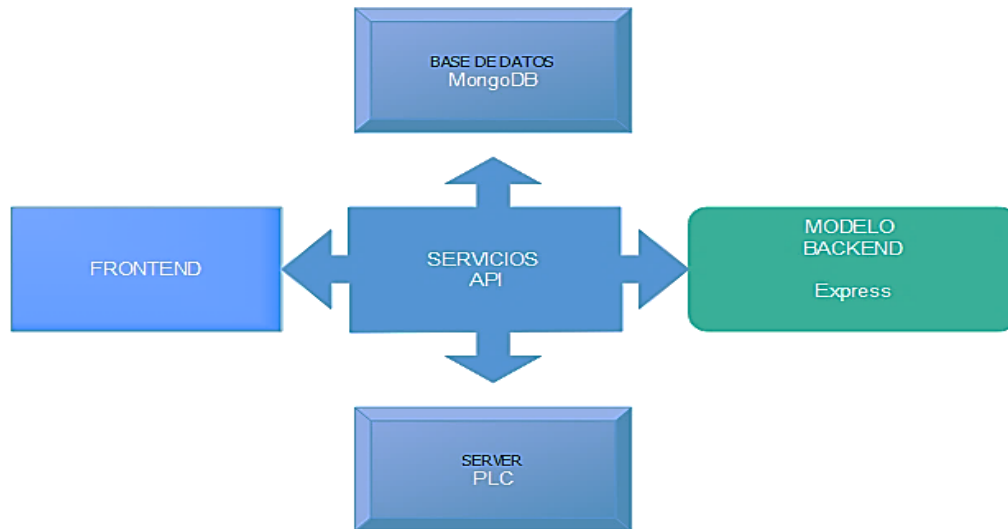


Figura 3.40 Modelo BACKEND para el sistema de monitoreo  
Fuente: Autor ()

Entre algunas de las funciones que cumplirá el servidor web con respecto al modelo descrito están:

- Direccionamiento a través de rutas
- Comunicación con el servidor web del PLC
- Almacenamiento de Datos
- Designación de puertos
- Gestión de datos
- Gestión de clientes

#### Direccionamiento

Cada una de las ventanas que se describen en el diseño Frontend son accedidas a través de rutas URL estas rutas son designadas del lado del servidor.

- /graficas.html

- /alarmas.html
- /registros.html
- /históricos.html

Cada una de estas rutas renderizan los archivos HTML, CSS y JavaScript para la visualización de las páginas o ventanas que conforman el sistema, el framework que permite realizar estas funciones es Express.

### Designación de puertos

La designación del puerto por el cual se va a acceder a las páginas web se realiza del lado del servidor también con la ayuda del framework Express se designa el número de puerto para nuestro caso los puertos serán:

- Acceso local puerto 3000
- Acceso remoto 80

### Gestión de clientes

Una de las funciones del servidor es la de mantenerme informado de los usuarios o clientes que acceden a la aplicación web es decir de las páginas web que visitan, esta tarea se la realiza mediante el framework Morgan el cual me permite visualizar las peticiones realizadas por los clientes.

```
POST /datos 200 1.747 ms - 24
GET / 304 224.521 ms - -
GET /icomoon/style.css 304 1.129 ms - -
GET /plotly.min.js 304 3.270 ms - -
GET /css/bootstrap.min.css 304 3.438 ms - -
GET /css/addons/datatables.min.css 304 3.781 ms - -
GET /datos.js 304 4.180 ms - -
```

Figura 3.41 Resultado de peticiones Http.  
Fuente: Autor ()

## Enlace Servidor Web – PLC

El Servidor Web se conecta con otros servidores web a través del modelo de transferencia API. De esta forma se puede acceder a las variables del PLC como entradas y salidas mediante el framework fetch logrando extraer los datos de las variables del caudal y turbidez, además me permite realizar la escritura sobre las variables del PLC para la generación de alarmas en el PLC con el formato de transferencia de datos JSON.

```
POST /datos 200 95.174 ms - 24
{ timestamp: 1578646649691,
  values:
    [ { id: 'Simulation Examples.Functions.Sine1',
      v: 32.7042961,
      q: true,
      t: 1578646640501 },
      { id: 'Simulation Examples.Functions.Sine1',
      v: 38.2206192,
      q: true,
      t: 1578646641502 },
```

Figura 3.42 Transferencia de datos entre el PLC y el Servidor Web en formato en JSON  
Fuente: Autor ()

## Almacenamiento de datos

Una vez los datos son obtenidos por el Backend, las variables procedentes del PLC se almacenan mediante el framework mongoose encargado de establecer la comunicación con la base de datos MongoDB en formato JSON.

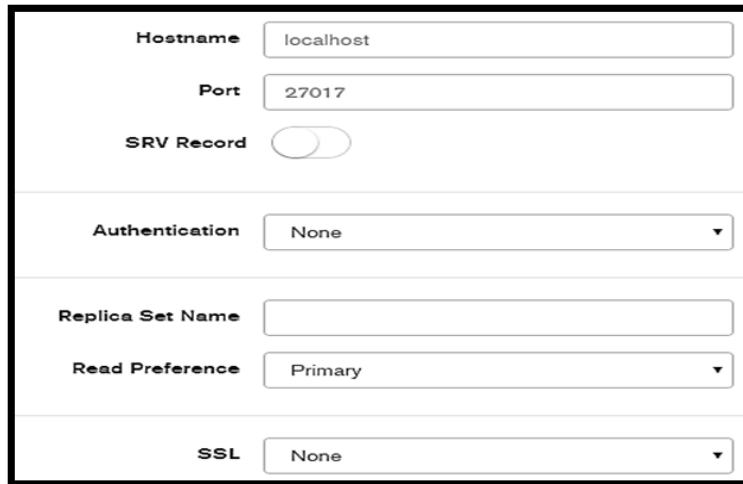
El modelo de registro de los datos se lo realiza en el servidor de acuerdo a la tabla 3-2.

Tabla 3-2 Modelo de datos para el almacenamiento en MongoDB.

| Objeto 1<br>CAUDAL  | Objeto 2<br>Turbiedad   | Objeto 3<br>Alarmas Caudal   | Objeto 4<br>Alarmas Turbiedad  |
|---|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• ID: Num</li><li>• VARIABLE: String</li><li>• FECHA: Date</li><li>• VALOR: Num</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• ID: Num</li><li>• VARIABLE: String</li><li>• FECHA: Date</li><li>• VALOR: Num</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• ID: Num</li><li>• VARIABLE: String</li><li>• FECHA: Date</li><li>• NIVEL ALTO: Num</li><li>• NIVEL BAJO: Num</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• ID: Num</li><li>• VARIABLE: String</li><li>• FECHA: Date</li><li>• NIVEL ALTO: Num</li><li>• NIVEL BAJO: Num</li></ul> |

Fuente: Autor ()

Creado el modelo se entabla la comunicación con la base de datos a través del software de gestión MongoDB-Compass en la cual se ingresan los requisitos de autenticación, número de puerto, nombre de host entre otras especificaciones.



The image shows a screenshot of a MongoDB connection configuration form. The fields are as follows:

|                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| Hostname         | localhost                |
| Port             | 27017                    |
| SRV Record       | <input type="checkbox"/> |
| Authentication   | None                     |
| Replica Set Name |                          |
| Read Preference  | Primary                  |
| SSL              | None                     |

Figura 3.43 Comunicación con la base de datos MongoDB  
Fuente: (mongoDB, 2019)

El servidor de base datos emitirá un mensaje de conexión satisfactoria o incompleta que se puede observar a través de la consola del servidor web.

### Gestión de datos

Se realiza gráficamente mediante el framework para análisis de datos gráficos Plotly.js que permite graficar los datos en tiempo real y registrar su evolución.



Figura 3.44 Históricos en intervalos mensuales  
Fuente: (Plotly, 2020)

Este framework puede ser descargado o en su defecto usar el CDN en el archivo HTML en la ventana de históricos y graficas en tiempo real para nuestro sistema se utilizará el CDN en la cabecera de los archivos estáticos.

```
<head>
    <script src="https://cdn.plot.ly/plotly-latest.min.js"></script>
</head>
```

Figura 3.45 CDN de la librería Plotly.js  
Fuente: (Plotly, 2020).

Finalmente es necesario usar el archivo en lenguaje JavaScript que es generado por el mismo framework.

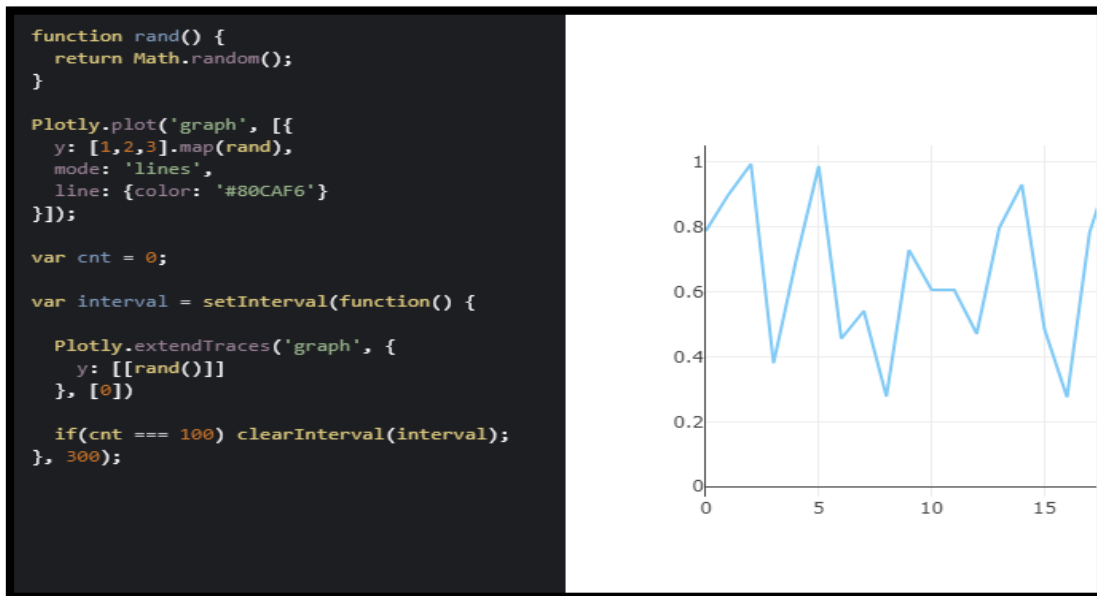


Figura 3.46 Código generado por el framework Plotly.js.  
Fuente: Autor ()

Este código puede ser manipulado con el fin de realizar el análisis de las gráficas de caudal y turbiedad.

### 3.5.3. Base de Datos

#### Creación y configuración de la Base de datos MongoDB Atlas

El almacenamiento de datos se realizará en la base de datos en la nube denominada MongoDB Atlas, esta base de datos permite almacenar un máximo de datos de hasta 512 megabytes al usarlo como un servicio gratuito y servicios pagados de hasta 100 gigabytes, la configuración para la creación de la base de datos se presenta a continuación.

Paso 1:

Creación de un nuevo Proyecto

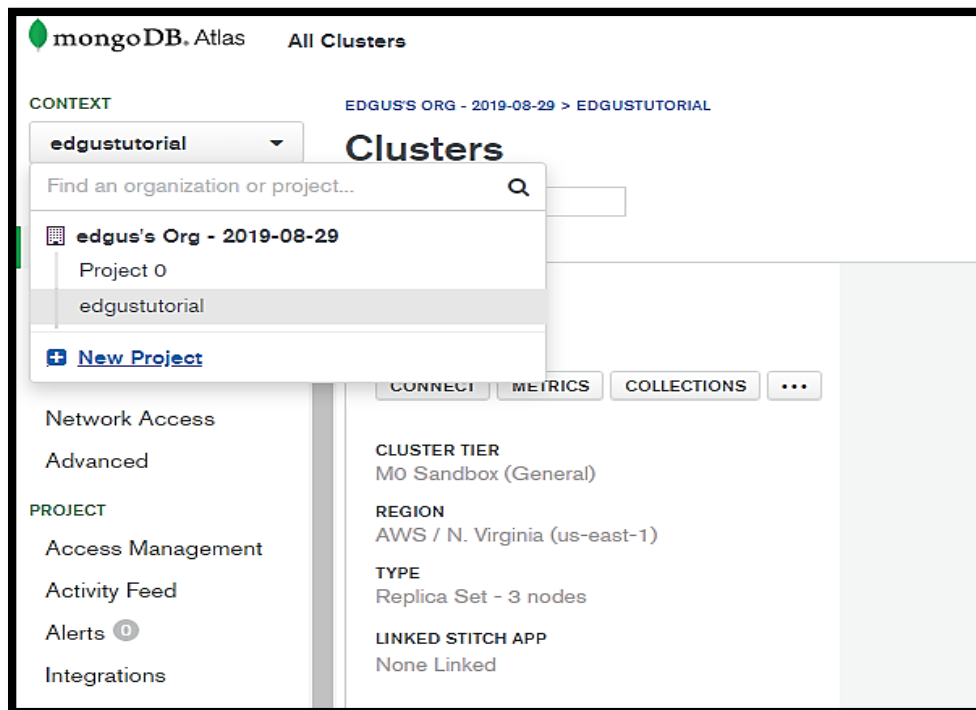


Figura 3.47 Ventana Inicial mongoDB.Atlas.  
Fuente: (mongoDB, 2019)

Paso 2:

Nombre del nuevo Proyecto

Nombre: Sistema-de-Monitoreo

The screenshot shows the 'Create a Project' interface. At the top, there's a progress bar with 'Name Your Project' selected and 'Add Members' as the next step. A 'Next' button is on the right. Below the progress bar, the heading 'Name Your Project' is followed by the instruction: 'Project names have to be unique within the organization (and other restrictions)'. A text input field labeled 'Project Name' is present. At the bottom right, there are 'Cancel' and 'Next' buttons.

Figura 3.48 Ventana para la asignación del nombre del proyecto  
Fuente: (mongoDB, 2019)

Paso 3:

Adicionar miembros y permisos

The screenshot shows the 'Create a Project' interface at the 'Add Members and Set Permissions' step. The progress bar now shows 'Name Your Project' as completed with a green checkmark and 'Add Members' as the current step. A 'Go Back' button is on the left and a green 'Create Project' button is on the right. Below the progress bar, there's a heading 'Add Members and Set Permissions' and a text input field for 'Invite new or existing users via email address...'. Below that, the instruction 'Give your members access permissions below.' is followed by a list of members. The first member is 'edgus-1993@hotmail.com (you)' with a dropdown menu set to 'Project Owner'. At the bottom right, there are 'Cancel', 'Go Back', and 'Create Project' buttons.

Figura 3.49 Ventana de adición de miembros y permisos.  
Fuente: (mongoDB, 2019)

Paso 4:

Creación del Cluster o Grupo

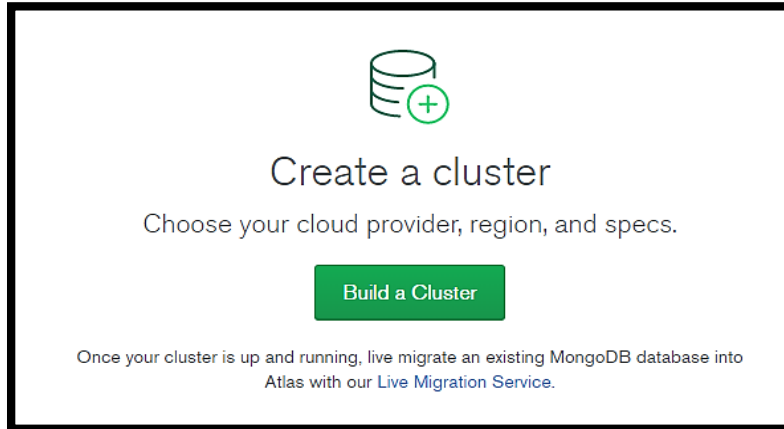


Figura 3.50 Ventana de creación del Cluster.  
Fuente: (mongoDB, 2019)

Paso 5:

Selección del tipo de servicio

Servicio: Free



Figura 3.51 Ventana de selección del tipo de servicio.  
Fuente: (mongoDB, 2019)

Paso 6:

Selección del servidor y ubicación

Servidor de cluster: aws - Ubicación: N. Virginia



Figura 3.52 Ventana para la selección servicios y ubicación de Cluster  
Fuente: (mongoDB, 2019)

Paso 7:

Creación de Cluster exitoso

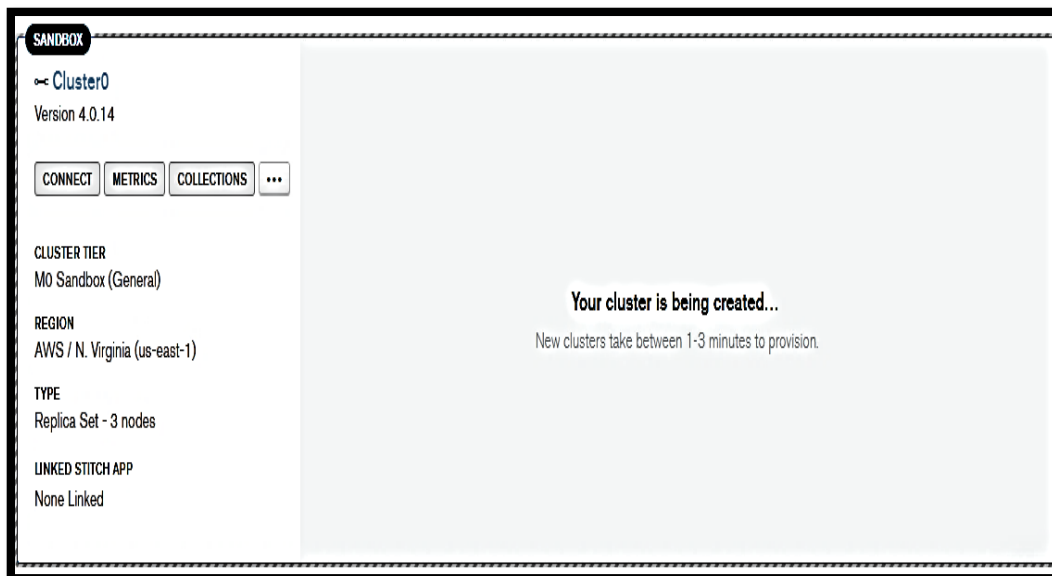


Figura 3.53 Ventana de creación de Cluster final.  
Fuente: (mongoDB, 2019)

Es necesario considerar que al ser un servicio gratuito de almacenamiento de datos no se podrá contar con el mejor de los servicios en cuestión rapidez y demás funciones, sin embargo, es una herramienta muy útil para evaluar el funcionamiento y operación del sistema remotamente.

#### 3.5.4. Despliegue de aplicación en la nube

La aplicación Web Server se desplegará en la nube a través de la plataforma Heroku para lo cual es necesario instalar los softwares siguientes:

- ✓ Git
- ✓ CLI Heroku

A continuación, se describe cada uno de los pasos necesarios para el despliegue de la aplicación en la nube.

Paso 1:

Inicializar un repositorio Git local.

```
$ cd myapp
$ git init
Initialized empty Git repository in .git/
$ git add .
$ git commit -m "My first commit"
Created initial commit 5df2d09: My first commit
 44 files changed, 8393 insertions(+), 0 deletions(-)
 create mode 100644 README
 create mode 100644 Procfile
 create mode 100644 app/controllers/source_file
```

Figura 3.54 Inicialización de un repositorio Git.  
Fuente: Autor ()

Paso 2:

Creación de una aplicación vacía sobre Heroku.

```
$ heroku create
Creating app... done, ● thawing-inlet-61413
https://thawing-inlet-61413.herokuapp.com/ | https://git.heroku.com/thawing-
```

Figura 3.55 Creación de un nuevo proyecto  
Fuente: Autor ()

Paso 3:

Confirmación de la creación del repositorio Git de heroku.

```
$ git remote -v
heroku https://git.heroku.com/thawing-inlet-61413.git (fetch)
heroku https://git.heroku.com/thawing-inlet-61413.git (push)
```

Figura 3.56 Confirmación de la creación del proyecto  
Fuente: Autor ()

Paso 4:

Agregar el control remoto al repositorio Git local.

```
$ heroku git:remote -a thawing-inlet-61413
set git remote heroku to https://git.heroku.com/thawing-inlet-61413.git
```

Figura 3.57 Agregado de la app al repositorio Git  
Fuente: Autor ()

Paso 5:

Renombre de los controles remotos.

```
$ git remote rename heroku heroku-staging
```

Figura 3.58 Renombre de la Aplicación  
Fuente: Autor ()

Paso 6:

Implementación de la aplicación sobre Heroku

```
$ git push heroku master
Initializing repository, done.
updating 'refs/heads/master'
...
```

Figura 3.59 Despliegue de la aplicación Web  
Fuente: Autor ()

Realizado cada uno de los pasos anteriores, la plataforma Heroku despliega la aplicación sobre el puerto 80 con el dominio siguiente:

- <https://systemmonitoring.herokuapp.com/>

# CAPÍTULO 4

## 4. Evaluación y Validación del Sistema de Monitoreo

### 4.1. Pruebas de funcionamiento

Para validar el sistema se efectuaron pruebas en relación a las prestaciones o funciones que desempeña el sistema y sus tiempos de respuesta.

Las funciones a considerar son las siguientes:

- ✓ Representación de datos en tiempo real
- ✓ Visualización de los estados de alarmas y eventos
- ✓ Almacenamiento y extracción de datos

Cada una de estas funciones es representada en la interfaz gráfica por medio de ventanas accesibles del navegador web.

#### **Representación de datos en tiempo real**

La interfaz muestra, las pantallas y elementos que han sido objetos primordiales en la dinamización. En la aplicación desarrollada se visualiza las variables de proceso, dando lugar a la interoperabilidad, en base a los controles presentados que hacen la presentación de la interfaz en cuestión.

La centralización de datos, almacenamiento, gestión de alarmas es la parte fundamental de sistema y lo realiza el Servidor Web, Cada una de estas funciones son representadas en la interfaz gráfica del sistema. La ventana principal (ver figura 4.1) cuenta con los indicadores indispensables para una efectiva vigilancia y gestión de la información, asociando a cada variable la representación que le compete. A esto también se presentan el panel de alarmas con las opciones de poder intervenirlos de forma local y remota, así como también indicadores de alertas y cuadros de visualización numérica de tiempo de ejecución autónoma del sistema de gestión.

En la Figura 4.1 se muestra la ventana de graficas en tiempo real con todos sus atributos para la visualización de los parámetros de entrada de agua a la planta, consta de barras de navegación configuradas con los parámetros subyacentes al proceso y estados de operación en tiempo de ejecución.

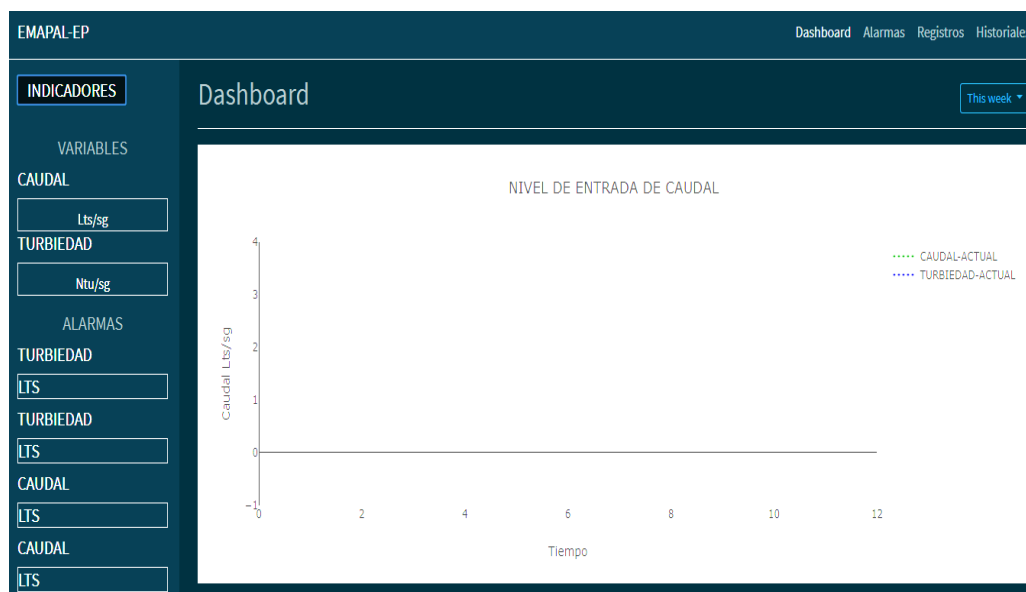


Figura 4.1 Interface de monitoreo  
Fuente: Autor ()

La interfaz dispone de varias secciones, de forma organizada y dedicadas a diferentes áreas operativas del proceso, y en las cuales se pueden monitorear el comportamiento del sistema y analizar la información, que provee los sensores.

La pantalla de ajustes de proceso, permite el entrenamiento remoto del sistema mediante la configuración de respuesta de los parámetros de control, al modificar la configuración de las variables actuadoras del proceso. Dado que cuenta con controles de alarmas que el usuario puede ajustar a su criterio, aconteciendo los parámetros característicos del proceso, caudal y turbiedad.

Las tendencias gráficas son un componente relevante del proceso. La trazabilidad de las condiciones de cambio de los parámetros, hace posible la comparación de sucesos positivos o negativos en el desarrollo y evolución de las variables de entrada en la planta.

La ventana de gráficas, permite realizar consultas históricas, almacenados en la base de datos de manera que se puede conocer el comportamiento que mantiene el ambiente en un periodo específico, brindado información de importancia al operador del proceso, contribuyendo a mejorar su intervención, disponiendo de un menú de selección de ventana de tiempo de forma histórica y real, mediante el cual se realiza el reporte de las variaciones medidas, la cual se expone en la Figura 4.2

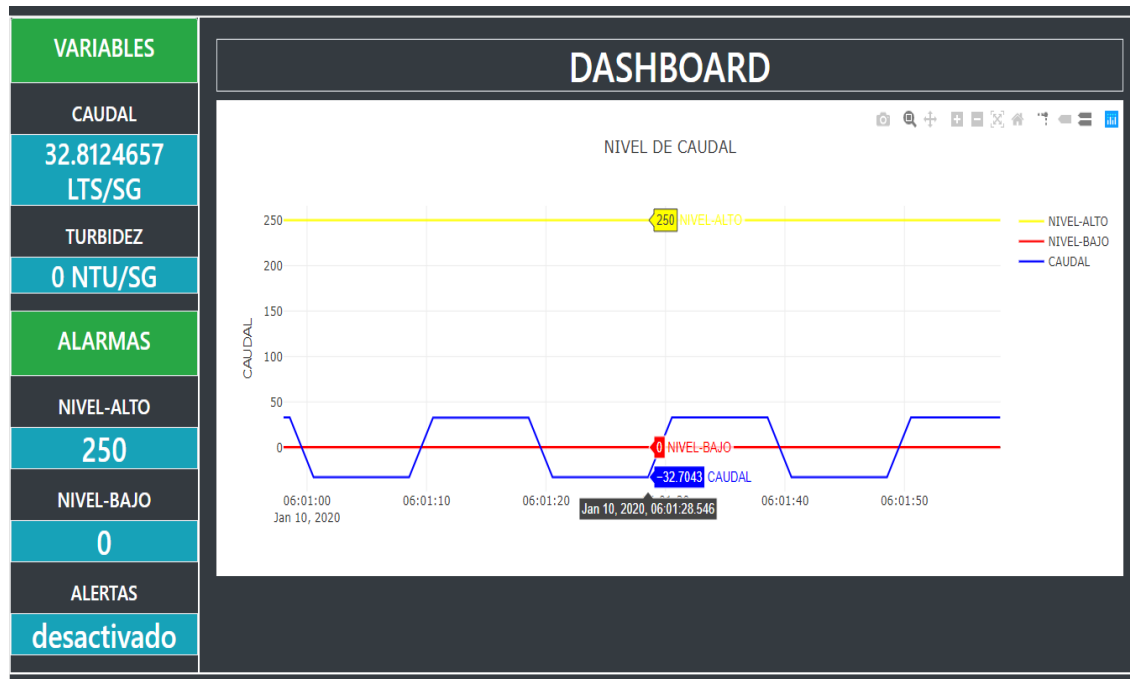


Figura 4.2 Graficas de las variables del proceso.  
Fuente: Autor ()

Otro aspecto importante en el monitoreo del proceso, es el reporte de novedades y registro de eventos, con respecto a los cambios asociados a las variables de entrada y sus niveles altos y bajos. Esto permite corroborar con situaciones que han afectado el proceso al producirse en un instante de tiempo determinado en las condiciones de entrada, dándole aviso al operario a través de una sirena o un correo electrónico con el fin que se pueda tomar las medidas correctivas pertinentes.

A través de la ventana de alarmas se exponen las incidencias, y condiciones del proceso, ante las alteraciones que suscitan sus parámetros. Está consta de controles de estado activas o inactivas dependiendo de las variables asociadas a

las alarmas para la activación, y configuración respectiva para condiciones de entrada de agua a la planta. En la Figura 4.3 se muestra la interfaz de registro de alarmas del proceso.



Figura 4.3 Ventana de registro de alarmas.  
Fuente: Autor ()

#### 4.1.1. Pruebas de funcionamiento de generación y almacenamiento de alarmas

Para la realización de las pruebas se definieron los parámetros establecidos en la tabla 4-1 para asegurar que el sistema se comporte apropiada y oportunamente, haciendo que los parámetros de caudal y turbiedad superficie estén dentro de los límites tolerables del proceso, para un monitoreo automático de las variables definidas.

Tabla 4-1 Valores de alarmas establecidas.

| ALARMAS     | CAUDAL (LTS/SG) | TURBIDEZ (NTU) |
|-------------|-----------------|----------------|
| UMBRAL ALTO | 110             | 5              |
| UMBRAL BAJO | 90              | 20             |

Fuente: Autor ()

Basado en estos valores, el sistema actuara en el proceso elevando el caudal desde 100 hasta 110 Lts. Ejecutando todas las funciones de alarma por el lapso de un 1 minuto, cuando las condiciones planteadas estén dadas. En el caso de que turbiedad alcanzase los 110 Lts se activa la alarma de Umbral alto, la cual expone un cuadro de aviso y eventos de alertas con el fin de establecer cambios en la dosificación en función del caudal caso contrario si baja de 90 se activara la alarma de Umbral bajo.

Para probar la operación del sistema, se ejecuta el servidor Web. La Figura 4.4 muestra la comunicación del servidor Web con las variables definidas en los puertos analógicos del PLC, y el estado de las alarmas.

```
activado
POST /datos 200 116.657 ms - 24
{ timestamp: 1578655649691,
  values:
    [ { id: 'Simulation Examples.Functions.Sine1',
      v: 32.7042961,
      q: true,
      t: 1578655640502 },
      { id: 'Simulation Examples.Functions.Sine1',
      v: 38.2757874,
      q: true,
      t: 1578655641509 },
      { id: 'Simulation Examples.Functions.Sine1',
      v: 39.9924126,
      q: true,
      t: 1578655642503 },
      { id: 'Simulation Examples.Functions.Sine1',
      v: 37.8556099,
      q: true,
      t: 1578655643510 },
```

Figura 4.4 Transmisión de datos del PLC al Servidor Web.  
Fuente: Autor ()

Del mismo modo en la Figura 4.5 se indica la comunicación del servidor Web con las variables de la interfaz gráfica.



Figura 4.5 Servidor Web transferencia de datos página Web.  
Fuente: Autor ()

Las pruebas, se realizaron simulando las variaciones de la caudal usando el Transmisor para el variar el caudal, este dispositivo generan los cambios en las entradas de corriente al PLC que necesita el sistema como estímulo para provocar la reacción de las alarmas generadas en la aplicación web.

En la Figura 4.6 Y 4.7 se indican los resultados obtenidos con los datos de Caudal y turbiedad almacenados en la base de datos y muestran el progreso de la medición histórica y en tiempo real, de la sección base de datos, mediante el sistema de monitoreo. En esta última se dispone de controles, que permite compartir la información con otros sistemas de análisis más críticos como Excel para reportes.



Figura 4.6 Respuesta del sistema para el caudal y turbiedad  
Fuente: Autor ()

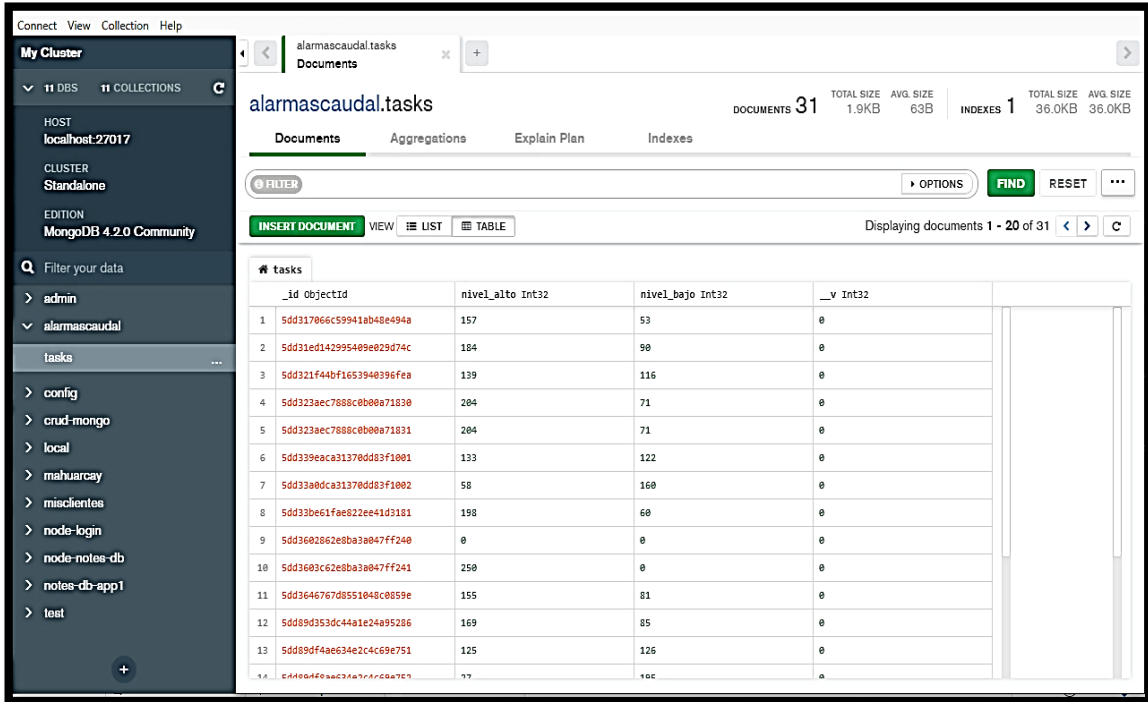


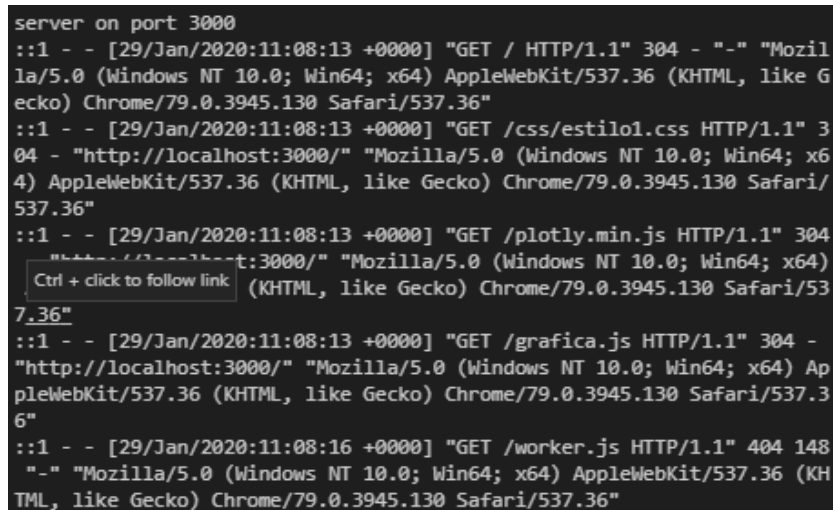
Figura 4.7 Visualización de los datos en MongoDB Compass Community.  
Fuente: Autor ()

## 4.2. Pruebas y verificación de resultados de conexión

### 4.2.1. Prueba de enlace de transmisión remota

El objetivo de estas pruebas, es establecer la disponibilidad del enlace y congestión del tráfico dentro de la red por TCP/IP. Tomando como base los tiempos de respuesta, ante los datos transmitidos hacia el Servidor Web y con las unidades de control y adquisición y también con la concurrencia de nuevos clientes conectados a la interfaz tanto local como remotamente a la aplicación.

La prueba se lleva a cabo mediante framework Morgan desde el terminal integrado de Visual Studio-Code donde se halla el servidor Web de la aplicación hasta el lugar donde se encuentran vinculados a la red LAN los controladores Modulo Ethernet CP-243-1, PC y PLC S7-226 centralizados en el servidor web, que administra los procesos de operación.



```
server on port 3000
::1 - - [29/Jan/2020:11:08:13 +0000] "GET / HTTP/1.1" 304 - "-" "Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.130 Safari/537.36"
::1 - - [29/Jan/2020:11:08:13 +0000] "GET /css/estilo1.css HTTP/1.1" 304 - "http://localhost:3000/" "Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.130 Safari/537.36"
::1 - - [29/Jan/2020:11:08:13 +0000] "GET /plotly.min.js HTTP/1.1" 304 - "http://localhost:3000/" "Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.130 Safari/537.36"
::1 - - [29/Jan/2020:11:08:13 +0000] "GET /grafica.js HTTP/1.1" 304 - "http://localhost:3000/" "Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.130 Safari/537.36"
::1 - - [29/Jan/2020:11:08:16 +0000] "GET /worker.js HTTP/1.1" 404 148 "-" "Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/79.0.3945.130 Safari/537.36"
```

Figura 4.8 Testeo de direcciones remotas del WebServer  
Fuente: Autor ()

Los enlaces definidos para los distintos componentes con el servidor Web en el cual se realiza la consulta y entrega de paquetes, se ha determinado un tiempo promedio de entrega de la información de un paquete de 304 ms, esto según siempre y cuando el tráfico de envió de paquetes se haga vía peticiones GET en el mismo enlace. Como se observa en la figura 4.9 la entrega de paquetes a través de la red

no tiene saturación ni interrupción, siendo él envío de paquetes rápido y consistente en la arquitectura del sistema.

```
GET / 304 21.030 ms - -  
GET /css/estilo1.css 304 6.486 ms - -  
GET /plotly.min.js 304 60.863 ms - -  
GET /grafica.js 304 0.884 ms - -  
GET /worker.js 404 12.006 ms - 148
```

Figura 4.9 Tiempos de respuesta de páginas remotas

Fuente: Autor ()

El sistema de monitoreo puede ser vista y ejecutada sin mayor problema, también en plataformas móviles. Bajo las condiciones de operación de la aplicación con el proceso, ante la disposición de un medio de enlace óptimo que evade los tiempos de espera extensos o fallos en la conexión de la red poniendo en evidencia las funcionalidades y capacidades de la plataforma con equipos de bajo nivel de procesamiento y en entornos multiplataforma y lo que es más la gestión remota a través de la web.

Cualquier modificación realizada en las variables o nodos en los servidores, repercute inmediatamente en todos los clientes conectados. De igual modo un cambio, desde un cliente se ve reflejado, tanto en los servidores como en el resto de clientes.

Las pruebas llevadas a cabo han sido satisfactorias, respecto a la conexión permitiendo analizar y comprender la transmisión de paquetes de datos con ello que el sistema de monitoreo, efectivamente está funcionando y operando con el protocolo HTTP concretamente en los puertos 3000 y 80, en ambos servidores externos y con el servidor interno del sistema.

#### **4.2.2. Análisis de resultados**

Las pruebas realizadas, dan a conocer los tiempos de respuesta de la aplicación para sucesos generados en la planta, mediante el análisis de tráfico y rutas de acceso, así también su funcionamiento mediante transferencia API. De ello se han obtenido los siguientes resultados:

- Se ha confirmado que el tráfico del sistema basado en el modelo cliente-servidor generado con el estándar API captura satisfactoria los recursos del PLC para la presentación de los datos en la aplicación web
- El servidor Web puede soportar varias peticiones de los usuarios desde varias plataformas web con tiempos de respuesta muy rápidos.
- La comunicación y respuesta de los dispositivos gobernados por el sistema es casi al instante. La lectura y escritura de variables del PLC han funcionado en base a los principios y requerimientos otorgados por el protocolo Http.
- Cualquier cambio en las páginas Web de los servidores, han repercutido inmediatamente en todos los clientes conectados, operando con distintos dispositivos.
- La concurrencia de nuevos clientes en los servidores dentro de la arquitectura es del todo admitida. Así también con la transferencia de datos se ha asegurado un control apropiado del proceso.
- Las alarmas se ejecutan con rapidez cuando se han generado los sucesos repentinos de cambio en las variables de entrada.

# CAPÍTULO 5

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

---

### 5.1. Conclusiones

Considerando el objetivo general planteado con respecto a diseñar e implementar un sistema de monitoreo en la etapa de entrada de la planta de tratamiento de agua potable usando instrumentos de medición, adquisición y tecnología Web se determinó las siguientes conclusiones:

- La información obtenida de las tareas de vigilancia que realizan los operadores de planta en la etapa de entrada permitió el modelamiento óptimo del sistema, mismo que sirvió de base para el diseño del sistema.
- El diseño del sistema de monitoreo utilizando el modelo de automatización de procesos industriales (Pirámide CIM) y el modelo cliente-servidor para la creación de la estructura hardware y software permitió la integración ordenada y satisfactoria de los instrumentos de medición y adquisición con la tecnología Web.
- La implementación del sistema de monitoreo se realizó con instrumentos y equipos previamente instalados por la empresa útiles para la estructura hardware del sistema, lo que ayudo en la reducción de costos, además la aplicación WebServer también fue creado con herramientas de software libre convirtiendo al sistema muy viable para su implementación en otras etapas dentro de la planta.
- La validación del sistema de monitoreo realizada mediante la puesta en marcha y la evaluación de su funcionamiento permitió determinar los tiempos de respuesta del sistema con resultados positivos convirtiéndose en una herramienta útil para la alerta, la interacción amigable con las variables de entrada y el registro de su evolución que ha facilitado la detección de situaciones anómalas y su diagnóstico.

Con estas conclusiones se logró verificar y validar la hipótesis planteada, al diseñar e implementar un sistema de monitoreo versátil que permite mejorar las tareas de vigilancia y análisis de datos logrando disminuir problemas asociados a variaciones repentinas que se producen en los valores de caudal y turbidez, usando tecnología Web como una alternativa para aplicaciones industriales.

## **5.2. Recomendaciones**

Una vez realizada la implementación y en base a los resultados obtenidos se propone las siguientes recomendaciones:

- Se observó la posibilidad de utilizar la misma arquitectura del sistema, en otros procesos debido a que la empresa cuenta con varios instrumentos de medición inutilizados.
- Si bien el sistema es efectivo a nivel local y remoto, sus capacidades de almacenamiento pueden ser mejorados al expandirse, al utilizar servicios de almacenamiento en la nube no tan costosos que pueden mejorar la velocidad y eficiencia del sistema de esta forma el operador tendrá una interacción rápida con las variables del proceso.
- En el tiempo de diseño e implementación del sistema, se apreció las prestaciones y capacidades de la multiplataforma Node.js. En este aspecto se ha visto una oportunidad, para realizar aplicaciones de interfaz gráfica más grandes y con arquitecturas escalables y versátiles adecuadas a los procesos.
- Una forma de mejorar las funcionalidades de comunicación del sistema, es implementando la aplicación sobre el servidor de la empresa, con esto la arquitectura será más escalable y permitirá con facilidad la adaptación de nuevas tecnologías, incluso acoplar protocolos de comunicación más avanzados como GraphQL, React, Angular entre otras tecnologías modernas.

# BIBLIOGRAFÍA

ABB. (6 de Noviembre de 2019). *ABB*. Obtenido de <https://new.abb.com/plc/es/automatas-programables-plc>

Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial*. Mexico: Alfaomega, MARCOMBO S.A.

DevCode. (3 de 11 de 2019). *DevCode*. Obtenido de <https://devcode.la/blog/frontend-y-backend/>

EMAPAL-EP. (2019). *EMAPAL*. Azogues.

Endress-Hauser. (1 de Enero de 2019). *Endress+Hauser*. Obtenido de <https://www.endress.com/en>

EPMAPS. (1 de Enero de 2019). *EPMAPS*. Obtenido de <https://www.aguaquito.gob.ec/calidad-de-agua-potable-en-plantas-de-tratamiento/>

ETAPA-EP. (2 de 10 de 2019). *etapa*. Obtenido de <https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable>

Git. (3 de 11 de 2019). *Git*. Obtenido de <https://git-scm.com/about>

HEROKU. (1 de 10 de 2019). *Heroku Dev Center*. Obtenido de <https://devcenter.heroku.com/articles/git>

*Historia de la Web*. (2 de 29 de 2014). Obtenido de <http://charliedaw2236.blogspot.com/>

Joan Colomer, J. M. (2019). *CEA*. Obtenido de <https://www.ceautomatica.es>

Josep Balcells, J. R. (1997). *Autómatas Programables*. Barcelona: MARCOMBO S.A.

Mongo DB. (3 de Noviembre de 2019). *mongoDB*. Obtenido de <https://www.mongodb.com/es>

mongoDB. (5 de Diciembre de 2019). *mongoDB.Atlas*. Obtenido de <https://cloud.mongodb.com/>

Nacional Instruments. (2 de Diciembre de 2019). *Nacional Instruments*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr.html>

neosoft. (3 de 11 de 2019). *neosoft*. Obtenido de <https://www.neosoft.es/blog/que-es-una-aplicacion-web/>

Node.js. (2 de 11 de 2019). *NODE*. Obtenido de <https://nodejs.org/es/>

Plotly. (10 de Diciembre de 2020). *Plotly.js*. Obtenido de <https://plot.ly/javascript/>

Rodriguez, A. (2008). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona: MARCOMBO S.A.

Rodríguez, A. (2013). *Sistemas SCADA tercera edición*. Mexico D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Rojas, J. (2015). *Modelamiento de los Sistemas de potabilizacion de agua caso EMAPAL-EP*. Obtenido de [dspace.ups.edu.ec](https://dspace.ups.edu.ec)

Siemens AG. (2008). *SIEMENS*. Obtenido de [http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data\\_files/automatizacni\\_systemy/mikrosystemy/simatic\\_s7200/manual\\_s7\\_200\\_2005\\_en.pdf](http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/automatizacni_systemy/mikrosystemy/simatic_s7200/manual_s7_200_2005_en.pdf)

SUHISSA. (12 de Diciembre de 2019). *SUHISSA*. Obtenido de <https://suhissa.com.mx/sistemas-de-monitoreo/>

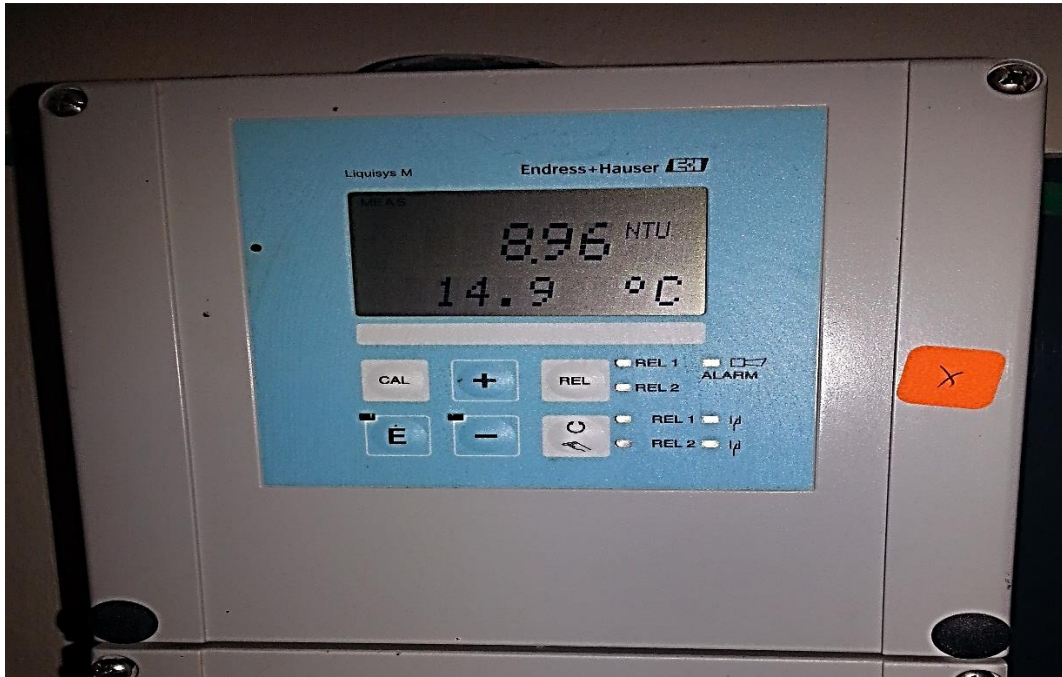
Vicente Guerrero, R. Y. (2010). *Comunicaciones Industriales*. Alfaomega.

# Anexos

# ANEXO A

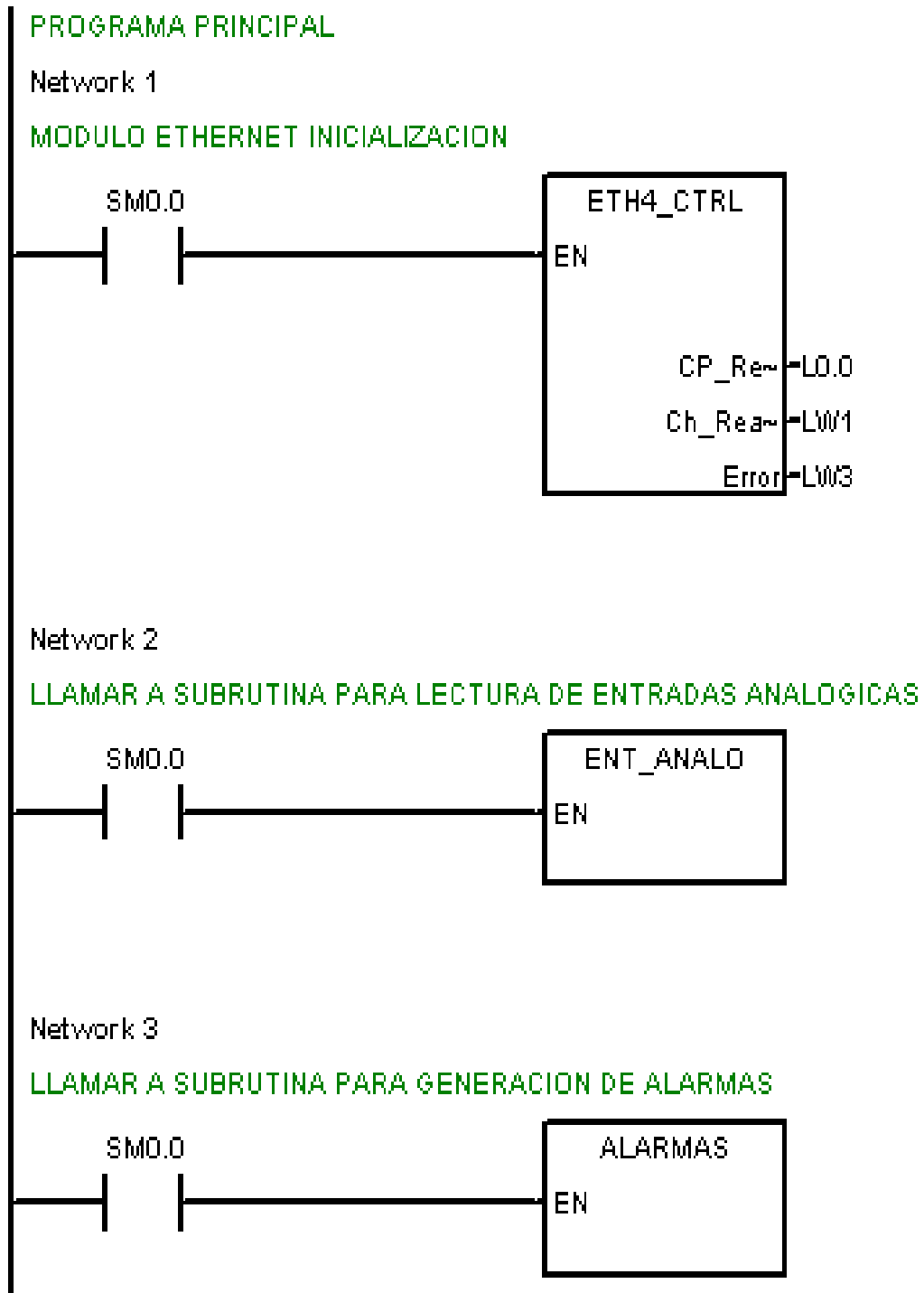
## Conexión eléctrica de equipos

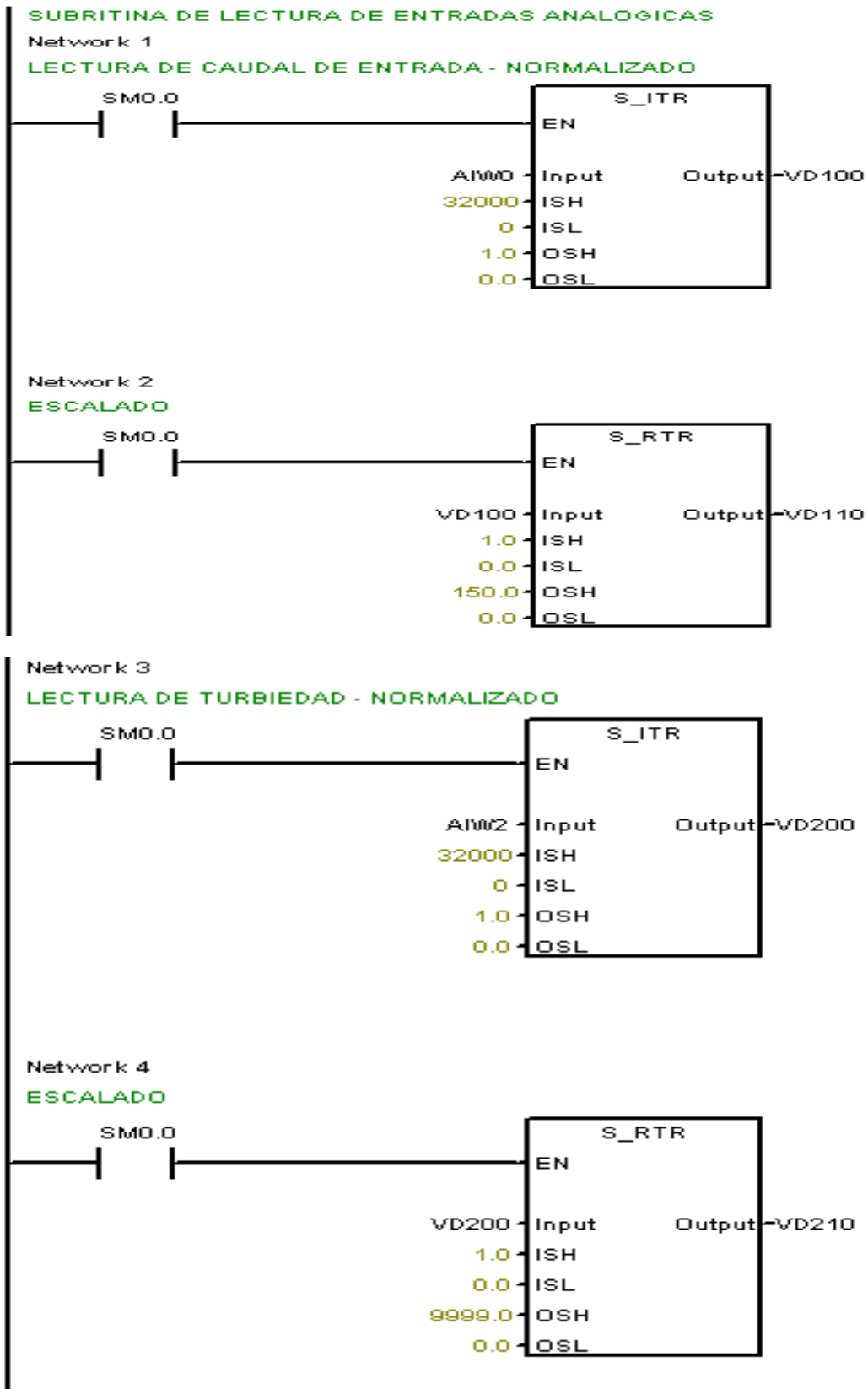




# ANEXO B

## Programa del PLC S7-226

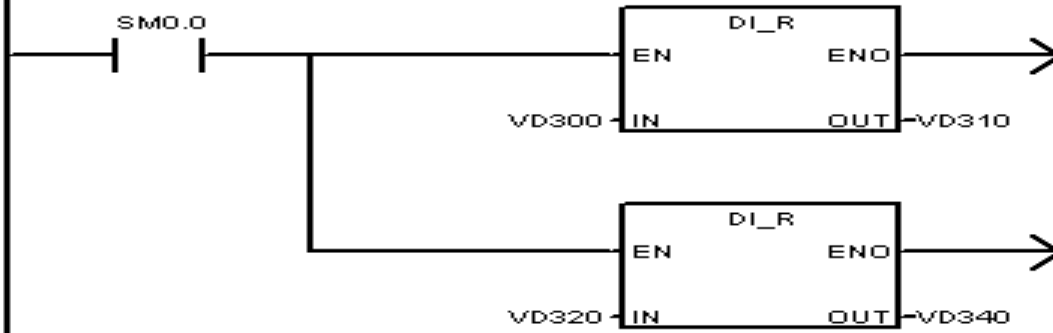




ALARMAS

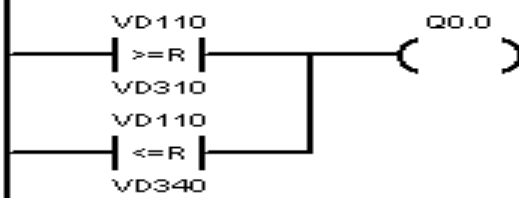
Network 1

ALARMAS CAUDAL CONVERSION ENTERO DOBLE - REAL



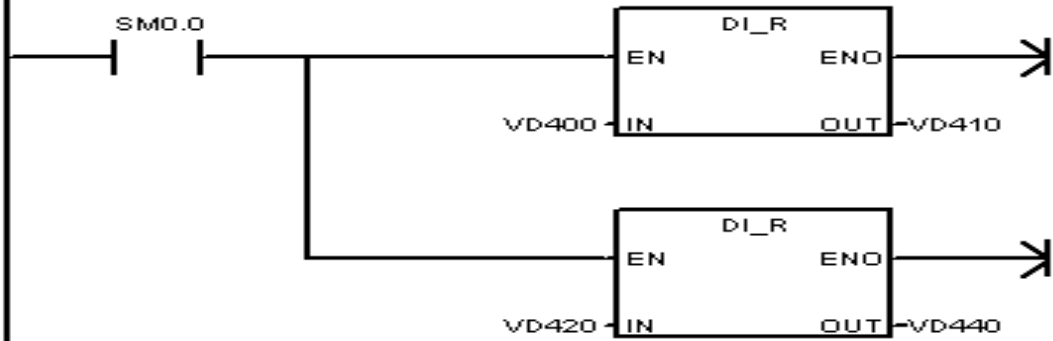
Network 2

CONDICIONES DE ALARMAS DE CAUDAL UMBRALES ALTO Y BAJO



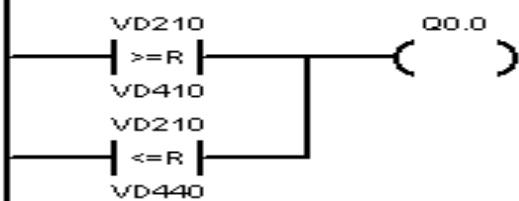
Network 3

ALARMAS TURBIEDAD CONVERSION ENTERO DOBLE - REAL



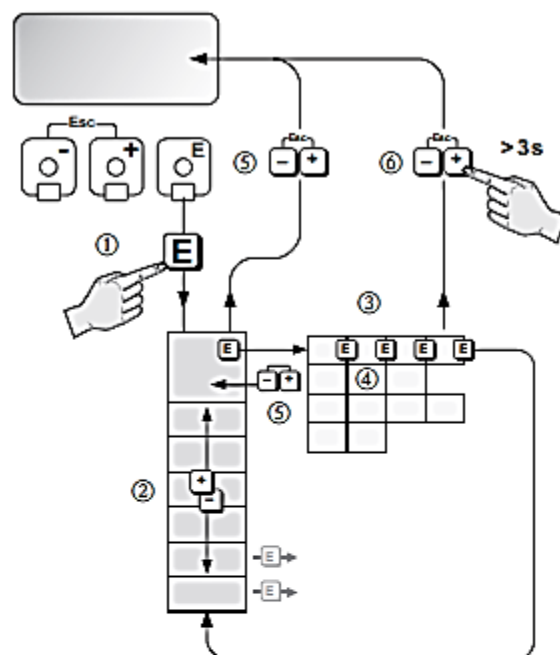
Network 4

CONDICIONES DE ALARMAS DE TURBIDEZ UMBRALES ALTO Y BAJO



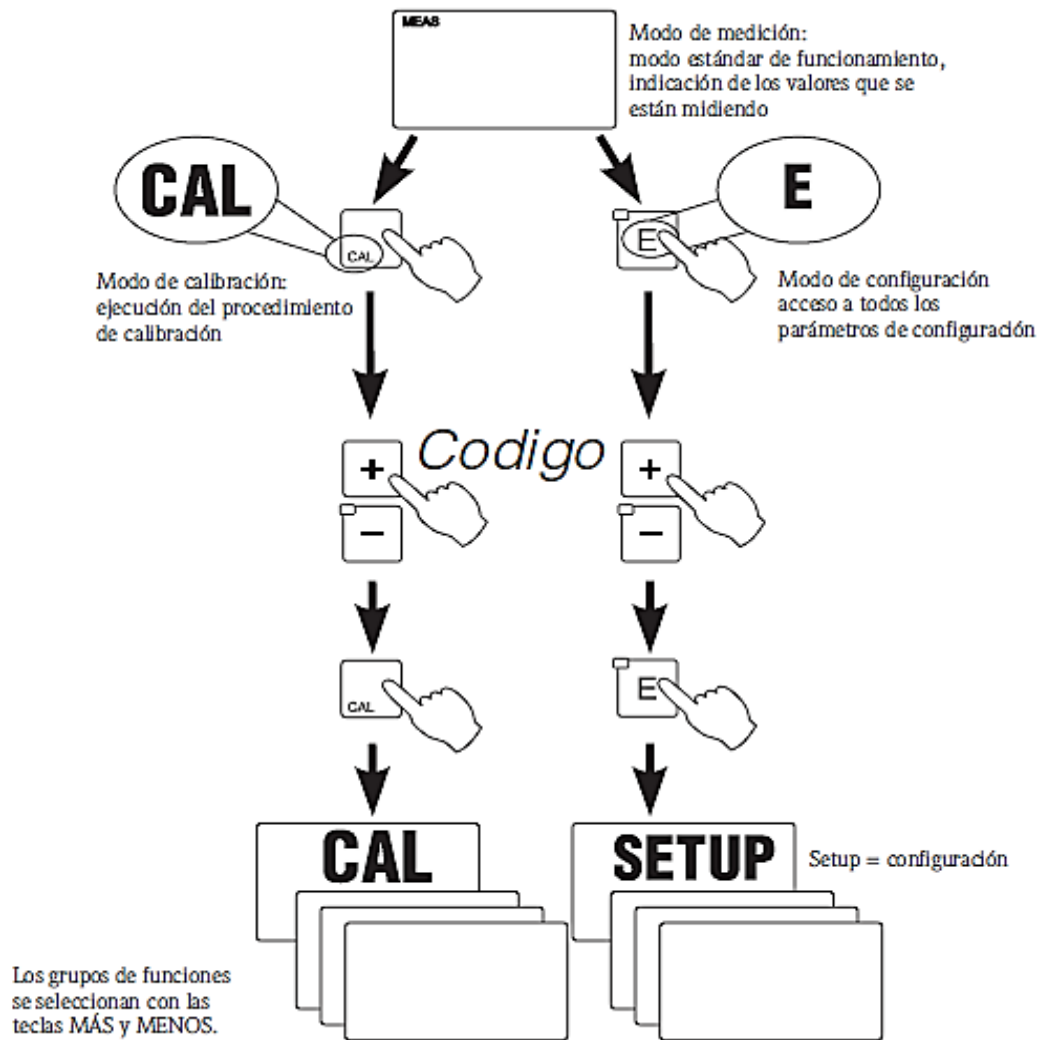
## ANEXO C

### Matriz de configuración del transmisor de caudal



1. → Se accede a la matriz de funciones (partiendo de la indicación de valores medidos)
2. → Se selecciona un grupo (p. ej., FUNCIONAMIENTO (OPERATION))  
 → Se confirma la selección
3. → Se selecciona una función (p. ej., LENGUAJE (LANGUAGE))  
 → Se confirma la entrada
4. → Se introduce el código 50 (solo la primera vez que usted acceda a la matriz de funciones)  
 → Se confirma la entrada  
 → Se modifica la función / selección (p. ej., ENGLISH)  
 → Se confirma la selección
5. → Retorno paso a paso a la indicación de valores medidos
6. > 3 s → Retorno inmediato a la indicación de valores medidos

## Matriz de configuración del transmisor de turbidez



# ANEXO D

## CENTRO DE IDIOMAS

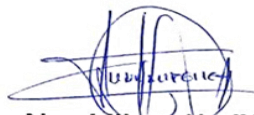
### ABSTRACT

This research project, aimed at monitoring processes in the treatment of drinking water, includes the design and deployment of a web-based surveillance system during the input stage of the Mahuarcay treatment plant, which is part of the municipal public company EMAPAL-EP. The application is able to measure the flow rate and turbidity values in the plant input through electronic sensors and transmitters, to be displayed in a web GUI developed with web technologies such as the multi-platform runtime environment Node.js and the JavaScript programming language, providing the user with the necessary warning mechanisms, as well as a user-friendly interface with the input variables and a log of their progress to help detect unusual events in order to set up adjustment criteria and changes in the process.

**KEY WORDS: DRINKING WATER TREATMENT, MONITORING SYSTEM, WEB GUI**

Azogues, 13 de febrero del 2020

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y SUSCRIBO



**Abg. Liliana Urgilés Amoroso, Esp.**  
**COORDINADORA CENTRO DE IDIOMAS AZOGUES**



# ANEXO E

## Tesis - Edwin Morquecho Rev4

INFORME DE ORIGINALIDAD

**10%** INDICE DE SIMILITUD  
**9%** FUENTES DE INTERNET  
**1%** PUBLICACIONES  
**4%** TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

|   |   |     |
|---|---|-----|
| 1 | <a href="http://repository.upb.edu.co">repository.upb.edu.co</a><br>Fuente de Internet      | 1%  |
| 2 | <a href="http://www.ceautomatica.es">www.ceautomatica.es</a><br>Fuente de Internet          | 1%  |
| 3 | <a href="http://edoc.pub">edoc.pub</a><br>Fuente de Internet                                | 1%  |
| 4 | <a href="http://docslide.us">docslide.us</a><br>Fuente de Internet                          | 1%  |
| 5 | <a href="http://sistemamid.com">sistemamid.com</a><br>Fuente de Internet                    | 1%  |
| 6 | <a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a><br>Fuente de Internet            | <1% |
| 7 | <a href="http://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a><br>Fuente de Internet      | <1% |
| 8 | Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA<br>Trabajo del estudiante | <1% |

## Tesis - Edwin Morquecho Rev4

por Edwin Morquecho

Fecha de entrega: 27-feb-2020 08:03p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1265613111

Nombre del archivo: EDWIN\_MORQUECHO\_V4.docx (14.53M)

Total de palabras: 12571

Total de caracteres: 68335



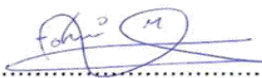
# ANEXO F



## PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, EDWIN GUSTAVO MORQUECHO CHUQUI, portador (a) de la cédula de ciudadanía Nro.,0302716691. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“SISTEMA DE MONITOREO DEL CAUDAL Y TURBIDEZ EN LA ETAPA DE ENTRADA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MAHUARCAY PERTENECIENTE A LA EMPRESA EMAPAL-EP, BASADO EN LA TECNOLOGÍA WEB SERVER Y CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de Los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 09 de marzo de 2020

F: .....

EDWIN GUSTAVO MORQUECHO CHUQUI  
0302716691

[www.ucacue.edu.ec](http://www.ucacue.edu.ec)

Cuenca: Av. de las Américas y Tarqui. ☎ Telf: 2830751, 2824365, 2826563 Azogues: Campus Universitario "Luis Cordero El Grande", (Frente al Terminal Terrestre).  
☎ Telf: 593 (7) 2241 - 613, 2243-444, 2245-205, 2241-587 Cañar: Calle Antonio Ávila Clavijo. ☎ Telf: 072235268, 072235870 San Pablo de la Troncal: Cdla. Universitaria  
km.72 Quinceava Este y Primera Sur ☎ Telf: 2424110 Macas: Av. Cap. José Villanueva s/n ☎ Telf: 2700393, 2700392

# ANEXO G



## El Bibliotecario de la Sede Azogues

### CERTIFICA:

Que: **MORQUECHO CHUQUI EDWIN GUSTAVO**, con cédula de ciudadanía Nro. **0302716691**, de la Carrera de: **INGENIERIA ELECTRONICA**

No adeuda libros, a esta fecha: **9 de marzo del 2020**.



Byron Alonso Torres Romo  
Bibliotecario

Biblioteca Universitaria  
MONS. "FROILAN POZO QUEVEDO"

[www.ucacue.edu.ec](http://www.ucacue.edu.ec)

Cuenca: Av. de las Américas y Tarqui. ☎ Telf: 2630751, 2624365, 2626563 Azogues: Campus Universitario "Luis Cordero El Grande", (Frente al Terminal Terrestre).  
☎ Telf: 593 (7) 2241 - 613, 2243-444, 2245-205, 2241-587 Cañar: Calle Antonio Ávila Clavijo. ☎ Telf: 072235268, 072235870 San Pablo de la Troncal: Cda. Universitaria  
km.72 Quinceava Este y Primera Sur ☎ Telf: 2424110 Macas: Av. Cap. José Villanueva s/n ☎ Telf: 2700393, 2700392

