

**MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO PASANTÍA EMPRESARIAL**

**DISEÑO DE SISTEMA PARA TELEMETRÍA DE CAUDAL Y NIVEL DE AGUAS  
BASADO EN CONTROL POR PLC Y HMI  
TANQUE CIRCULAR VEOLIA-TUNJA**

Por:

**Gilmar Alberto Arias Tejada**



**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**

**TUNJA**

**2021**

**MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO PASANTÍA EMPRESARIAL**  
**DISEÑO DE SISTEMA PARA TELEMETRÍA DE CAUDAL Y NIVEL DE AGUAS**  
**BASADO EN CONTROL POR PLC Y HMI**  
**TANQUE CIRCULAR VEOLIA-TUNJA**

Por:

**Gilmar Alberto Arias Tejada**

Proyecto presentado como opción de grado para optar al título profesional de Ingeniero  
Electrónico

Aprobado por:

**M.Sc. Ing. Carlos Alberto Cardona Coy**

Director

**M.Sc. Ing. Adolfo Ávila Barón**

Codirector



**Facultad de Ingeniería Electrónica**

**Universidad Santo Tomás**

**Tunja**

**2021**

*El contenido de este documento es solo responsabilidad de sus autores.*

*La Universidad Santo Tomás Seccional Tunja, junto con la Facultad de Ingeniería  
Electrónica quedan exoneradas de todas las consecuencias y responsabilidades que pueda  
causar este proyecto*

### **Nota de aceptación**

Proyecto final de graduación presentado a la facultad de ingeniería electrónica de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja para optar por el título de ingeniero electrónico, ante los siguientes evaluadores.

---

PhD. M. Sc. Esp. Ing. Luis Fredy Sosa Quintero  
**Lector**

---

PhD. M. Eng. Ing. Cesar Mauricio Galarza Bogotá  
**Lector**

---

M. Sc. Ing. Carlos Alberto Cardona Coy  
**Director del Proyecto**

---

M. Sc. Ing. Adolfo Ávila Barón  
**Codirector del proyecto**

## **Dedicatoria**

Gracias a mi Dios todopoderoso por brindarme la salud y perseverancia en hacer realidad lo propuesto en mi carrera universitaria.

A ti madre por brindarme esta oportunidad tan maravillosa de demostrar mis fortalezas, enseñarme que todo es posible y estoy hecho para grandes cosas.

Abuelita Carmen, sin ti nada de esto hubiera sido posible, sé que me cuidas junto a nuestro padre celestial.

A mis hermanos, para que puedan seguir mi ejemplo y no se rindan ante ningún obstáculo, para todo hay solución y hay que seguir adelante.

Gracias a las personas y amigos que aportaron en beneficio de mi aprendizaje y que confiaron en mí.

## **Agradecimientos**

Expreso mis más sinceros agradecimientos a las personas que han contribuido a que este proyecto se haga realidad:

Al ingeniero Carlos Alberto Cardona Coy, docente de la facultad de Ingeniería Electrónica Universidad Santo Tomas-Seccional Tunja, por su dirección y aprendizaje en temas relacionados con el proyecto.

A ti Marcela Fernández por tu asesoría y constante colaboración en el tema investigativo, pero sobre todo por tenerme tanta paciencia.

Al ingeniero Cesar Rene Castro, jefe de mantenimiento-Veolia Aguas de Tunja, por su apoyo y constante asesoría.

A todo el equipo de trabajo de la sede Tanque Circular Veolia Aguas de Tunja quienes con su conocimiento aportaron significativamente al desarrollo del proyecto y de quienes aprendí.

A todos aquellos que han contribuido al éxito de este proyecto de alguna manera.

## Tabla de contenido

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Resumen .....                                          | 14 |
| 1. Título .....                                        | 14 |
| 2. Introducción .....                                  | 14 |
| 3. Planteamiento y Formulación del Problema .....      | 15 |
| 3.1. Formulación de preguntas.....                     | 15 |
| 3.2. Hipótesis .....                                   | 15 |
| 3.3. Definición del problema .....                     | 15 |
| 3.4. Delimitación del problema.....                    | 16 |
| 4. Justificación.....                                  | 17 |
| 5. Objetivos .....                                     | 18 |
| 5.1. General.....                                      | 18 |
| 5.2. Objetivos específicos .....                       | 18 |
| 6. Marco Referencial .....                             | 18 |
| 6.1. Marco Teórico.....                                | 19 |
| 6.1.1. Automatización.....                             | 19 |
| 6.1.2. Controlador Lógico Programable PLC.....         | 19 |
| 6.1.3. Sensores.....                                   | 24 |
| 6.1.4. Telemetría en la automatización hidráulica..... | 30 |
| 6.1.5. SCADA.....                                      | 31 |
| 6.2. Marco legal .....                                 | 37 |
| 6.3. Estado del arte.....                              | 38 |
| 6.4. Marco Espacial .....                              | 39 |
| 7. Diseño metodológico.....                            | 44 |
| 8. Factibilidad y Recursos Disponibles .....           | 47 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 8.1. Factibilidad del Proyecto ..... | 47 |
| 9. Cronograma.....                   | 48 |
| 10. Inversión .....                  | 48 |
| 11. Análisis De Resultados.....      | 51 |
| 12. Recomendaciones .....            | 77 |
| 13. Conclusiones.....                | 78 |
| Referencias .....                    | 80 |

## **Tabla de tablas**

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Características de los PLC marca Siemens y Schneider Electric .....                         | 20 |
| Tabla 2.Comparación de los modelos de CPU .....                                                      | 22 |
| Tabla 3. Especificación de rangos de medición .....                                                  | 29 |
| Tabla 4. Características técnicas HMI Siemens vs Kinco .....                                         | 33 |
| Tabla 5.Datos Técnicos de los diferentes KTP Basic.....                                              | 35 |
| Tabla 6. Registro de caudal instantáneo .....                                                        | 66 |
| Tabla 7. Variables para el desarrollo de programación y procesamiento de señales de<br>sensores..... | 68 |

## Tabla de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Características de componentes comunes de PLC M221. Nota: adaptada de fuente (Siemens Simatic, 2018).....                                                                                                                                                       | 21 |
| Figura 2. MAG 8000 Estándar compacto. Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2018) .....                                                                                                                                                                                      | 26 |
| Figura 3. Variables para la medición de nivel en tanque (E: distancia de vacío; F: span (distancia de lleno); D: distancia entre membrana del sensor y superficie del producto; L: nivel; BD: distancia de bloqueo) Nota: Adaptado de fuente (Endress+Hauser, s.f.) ..... | 28 |
| Figura 4. Tipos de sensores de nivel PROSONIC. Nota: Adaptado de fuente (Endress+Hauser, s.f.) .....                                                                                                                                                                      | 30 |
| Figura 5. Estructura de panel PROFINET. Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2021) .....                                                                                                                                                                                    | 35 |
| Figura 6. Sede Tanque Circular Veolia Aguas de Tunja. Nota: elaboración propia .....                                                                                                                                                                                      | 41 |
| Figura 7. Ejemplo en la variación diaria de la demanda del sistema. Nota adaptada de fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2007) .....                                                                                                                                     | 42 |
| Figura 8. Ubicación de macromedidor en la entrada de Tanque de llenado Circular. Nota: elaboración propia .....                                                                                                                                                           | 42 |
| Figura 9. Ubicación de macromedidores en entrada y salida de Tanque El Carmen. Nota: elaboración propia .....                                                                                                                                                             | 43 |
| Figura 10. Tanque Gemelos Cuadrados. Nota: elaboración propia.....                                                                                                                                                                                                        | 43 |
| Figura 11. Actual sistema de medición de nivel de llenado en tanques. Nota: elaboración propia. ....                                                                                                                                                                      | 44 |
| Figura 12. Diagrama ubicación de rutas de cableado para proyecto y ubicación de los sensores existentes y faltantes en la sede Tanque Circular. Nota: elaboración propia .....                                                                                            | 52 |
| Figura 13. Caudalímetro marca Siemens instalado en la sede. Nota: elaboración propia.....                                                                                                                                                                                 | 53 |
| Figura 14. Interfaz de software SIMATIC PDM. Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2018) .....                                                                                                                                                                               | 54 |
| Figura 15. módulo por infrarrojos IrDA USB. Nota: Elaboración propia.....                                                                                                                                                                                                 | 55 |
| Figura 16. Módulo RS485. Nota: Elaboración propia.....                                                                                                                                                                                                                    | 55 |
| Figura 17. Diagrama de conexión RS 485 (1. Común, 2. conectar el blindaje al encapsulado y 3. el blindaje se debe conectar a tierra). Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2018) .....                                                                                      | 56 |

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 18. Diagrama para conexión RS 485 a modulo del macromedidor (1. Common y 2. Terminación). Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2018)..... | 56 |
| Figura 19. Sensor de nivel ultrasónico Prosonic Endress + Houser. Nota: elaboración propia .....                                               | 57 |
| Figura 20. PLC Modicon M221. Nota: elaboración propia.....                                                                                     | 58 |
| Figura 21. Software EcoStruxure (Schneider Electric). Nota: elaboración propia .....                                                           | 60 |
| Figura 22. Programación de Interfaz gráfica en software KincoHMIware. Nota: elaboración propia .....                                           | 61 |
| Figura 23. Ventana de Inicio de Interfaz gráfica. Nota: elaboración propia .....                                                               | 62 |
| Figura 24. Ventana de Menú Principal. Nota: elaboración propia .....                                                                           | 62 |
| Figura 25. Menu de macromedidores y ventana de alarma y visualizacion de caudal. Nota: elaboración propia .....                                | 63 |
| Figura 26. Menu de Sensores de nivel y ventana de alarma y nivel de llenado de tanque. Nota: elaboración propia. ....                          | 63 |
| Figura 27. Programación de integración de señales en TIA PORTAL-Siemens. Nota: elaboración propia .....                                        | 66 |
| Figura 28. Programación de alarmas High-Low en TIA PORTAL-Siemens. Nota: elaboración propia .....                                              | 67 |
| Figura 29. Programación de Normalización y escalado de señales 4-20 en TIA PORTAL-Siemens. Nota: elaboración propia .....                      | 68 |

## **Tabla de Anexos**

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 1. Cronograma excel.....                                                                | 48 |
| Anexo 2. Descripción detallada de instrumentos seleccionados para futura implementación ..... | 76 |

## Glosario

**Automatización industrial:** Es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para fines industriales.

**Instrumentación industrial:** Elementos que sirven para medir, transmitir, convertir, controlar o registrar variables de un proceso.

**PLC:** Controlador Lógico Programable.

**SCADA:** Control Supervisor y Adquisición de Datos.

**HMI:** Interfaz Humano-Maquina.

**MACROMEDIDOR:** Dispositivo que sirve para medir el flujo o caudal de agua

**m<sup>3</sup>:** Metros cúbicos.

**L/s:** Litros sobre segundo.

**PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales.

**PTAP:** Planta de tratamiento de aguas potables.

**Telemetría:** Herramienta que permite conocer en tiempo real las condiciones operativas de un tipo de infraestructura.

**PROFINET:** Estándar de comunicación marca Siemens utilizado en redes de automatización.

**Ladder:** Lenguaje de programación grafico utilizado en autómatas programables basado en esquemas eléctricos clásicos de control.

**TIA PORTAL:** (Portal de automatización totalmente integrado) Software de programación de PLC marca Siemens.

**EcoStruxure:** Software de programación de PLC marca Schneider Electric.

**Wincc:** Sistema de supervisión, control y adquisición de datos en HMI de Siemens.

## **Resumen**

Actualmente la sede Tanque Circular de Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P, no dispone de un sistema automatizado y actualizado que le permita controlar y supervisar adecuadamente, la medición de nivel de llenado de agua de los distintos tanques de almacenamiento ubicados en la sede y asimismo requiere de la implementación de nuevas tecnologías como la telemetría para centralizar las señales de los caudalímetros allí instalados, esto con el fin de disminuir tiempos de traslado, riesgo de accidentes, eficiencia en el tratamiento de datos para toma de decisiones y demás costos asociados en la recolección manual de lecturas.

Para desarrollar este proyecto de investigación, se identificaron y evaluaron las necesidades y condiciones presentes en el funcionamiento de la sede Tanque Circular.

El resultado esperado es la configuración e investigación de características en la instrumentación existente, propuesta de nuevas herramientas de medición basadas en sensores, la comparación y programación de diferentes PLC en simulación, así como la creación de una interfaz gráfica en HMI para la visualización de los datos de flujo en tiempo real.

**Palabras clave:** Automatización, HMI, PLC, SCADA, telemetría

## **1. Título**

Diseño de Sistema para Telemetría de Caudal y Nivel de Aguas Basado en Control por PLC y HMI Tanque Circular Veolia-Tunja.

## **2. Introducción**

La sede Tanque Circular de Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P, no dispone de un sistema automatizado y actualizado que le permita controlar y supervisar adecuadamente y de manera simultánea el monitorio de lecturas de los diferentes macromedidores con el fin de hacer más eficiente el proceso para la toma de decisiones, por consiguiente, se propuso el diseño de un sistema de Telemetría para medición de caudal y nivel de agua en tuberías y tanques ubicados en la sede Tanque Circular de la Empresa Veolía –Aguas de Tunja S.A. ESP.

La empresa Veolia Aguas de Tunja, busca eficiencia y seguridad en los procesos de medición y control que se llevan a cabo en la sede Tanque Circular, siendo la implementación y programación de PLC un método apropiado para llevar a cabo el proceso de automatización de los diferentes instrumentos hidrográficos a utilizar. Porque ayuda a reducir costos y aumentar el beneficio en el desarrollo eficiente de las actividades operativas de mantenimiento correctivo y preventivo.

Adicionalmente, la actualización de los instrumentos de medición suministra información para el cálculo de una inversión en el área de mantenimiento, y ofrece información confiable que mejora significativamente la toma de decisiones, con el fin de estandarizar procesos y mejorar su funcionamiento.

La automatización de procesos permite la reducción de esfuerzos, implementación de nueva tecnología, convertir procesos manuales en ágiles y precisos, disminuir el riesgo, asegurando el proceso de control, y permitiendo obtener datos en tiempo real, mejorando el proceso de planificación y toma de decisiones a mediano y largo plazo.

### **3. Planteamiento y Formulación del Problema**

#### **3.1. Formulación de Preguntas**

¿Por qué se debería complementar y actualizar la instrumentación actualmente instalada en la sede Tanque Circular de la empresa Veolia-Aguas De Tunja S.A. E.S. P?

#### **3.2. Hipótesis**

¿Utilizando los métodos de automatización y control, que tan viable es la mejora en el desempeño del proceso comparado al diseño actual?

¿De qué manera el uso de sistemas automatizados mejora la eficiencia y efectividad del registro de datos en tiempo real?

¿Cómo vincular, procesar y visualizar en un controlador lógico programable las señales de los instrumentos de medición dispersos en la sede?

¿Qué tipo de comunicación es más óptima para realizar la transferencia de señales de los instrumentos de medición?

#### **3.3. Definición del problema**

La transferencia y almacenamiento del servicio público de agua potable es un proceso que requiere constante supervisión y control por parte de los operarios e ingenieros especializados al sector hidráulico.

De acuerdo a los inconvenientes identificados, entre ellos la ubicación distante de los instrumentos para su correspondiente lectura, traslados innecesarios de los operarios y riesgos inherentes como accidentes laborales, la automatización del proceso de centralización de señales es la mejor solución para los problemas antes mencionados.

Hoy en día la sede Tanque Circular cuenta solamente con la instalación de 5 caudalímetros los cuales se encuentran en buen funcionamiento, pero lamentablemente no abarcan en su totalidad el monitoreo de los espacios de tuberías requerido, aparte de esto es de vital importancia la implementación de nuevo material sensorial para la medición adecuada de los distintos tanques de almacenamiento de la sede.

En el año 2020 el departamento de mantenimiento y gerencia de operaciones determino como viable la realización del proyecto de automatización del proceso de adquisición de señales de los diferentes macro medidores instalados y actualización e implementación de instrumentación faltante.

La automatización de procesos permite la reducción de esfuerzos, actualización de tecnología, pasar de procesos manuales, a procesos ágiles y precisos, suprimir o minimizar errores, ayuda a asegurar los procesos de control, la obtención de datos en tiempo real, mejora el proceso de planificación y toma de decisiones, en el caso específico del proyecto a desarrollar se hace posible a través del uso e implementación de controladores lógicos programables, e identificación de instrumentación industrial específica para el área de tratamiento de agua.

### **3.4. Delimitación del Problema**

La centralización de señales y el proceso de automatización en la planta de Tanque Circular de la empresa Veolia-Agua De Tunja S.A E.S.P ubicada en la Calle 19 #16-63 barrio Kennedy, lugar donde se hace la distribución y tratamiento de agua potable para el sector de la zona centro de la ciudad de Tunja, debido a los inconvenientes existentes, se evidencio la necesidad de actualizar los instrumentos existentes y la implementación de nuevas tecnologías, para que los procesos de medición y toma de datos deje de ser manual y brinden una mayor seguridad en la entrega de información que la normatividad vigente exige.

#### **4. Justificación**

El control automatizado con el paso de los años se ha convertido en eje fundamental de procesos en la industria porque reduce costos en tiempo asociados a la prestación de servicios y entrega de bienes al mercado, aumenta los flujos de información de manera eficiente aumentando la funcionalidad de los sistemas, libera de cierta manera las tareas rutinarias y repetitivas entre otros beneficios asociados.

Partiendo de lo expuesto anteriormente se argumenta la importancia de desarrollar este proyecto principalmente por diseñar un sistema para Telemetría de caudal y nivel de aguas basado en control por PLC y HMI, donde los operarios e ingenieros podrán parametrizar el estándar necesario y obtener los datos en tiempo real del flujo instantáneo y cantidad totalizada del paso del agua por los diferentes ductos o tuberías donde están instalados los macro medidores, asimismo almacenar dicha información, permitiendo el funcionamiento óptimo del sistema a futuro.

De la misma manera, el diseño de un sistema de medición de nivel en tanques de almacenamiento es de vital importancia para garantizar precisión en la lectura de datos comparado con el proceso manual que se realiza en la actualidad, donde la información entregada no es acertada y no corresponde con lo esperado por la empresa.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, tiene que ver con la labor del operario o de quien realiza la supervisión que lo hace en cada uno de los tanques y los macro medidores, dicho control se hará de manera remota unificando en un solo sitio dichas señales, apoyado por el uso de redes de comunicación, que permitirán la transmisión al PLC que las procesa, facilitando el control a distancia.

Una de las grandes ventajas de implementar un PLC es la adquisición de datos y sistema de control supervisado donde se puede incluir interfaces de operación, control, equipo de instrumentación y sistemas de comunicación, esto facilita un mejor manejo y procesamiento en la operación de las diferentes señales gracias a la lógica de programación en las variables a controlar y monitorear.

Por último, el desarrollo de este proyecto permitirá al pasante universitario abordar diferentes contextos en el área de la instrumentación industrial, entre ellos, el análisis e interpretación de los diferentes componentes necesarios para la implementación de nuevas tecnologías, así como la configuración de macromedidores y sensores de nivel e identificación de protocolos de comunicación.

## **5. Objetivos**

### **5.1. General**

Proponer un sistema de Telemetría para medición de caudal y nivel de agua en tuberías y tanques ubicados en la sede Tanque Circular de la Empresa Veolía –Aguas de Tunja S.A. ESP.

### **5.2. Objetivos Específicos**

**5.2.1.** Analizar los instrumentos existentes y faltantes que se utilizan para la medición de flujo y nivel de agua.

**5.2.2.** Establecer el tipo de PLC a configurar y el diseño de la programación de señales (Simulación).

**5.2.3.** Definir el modelo de pantalla HMI y creación de la interfaz.

**5.2.4.** Diseñar prototipo de la interfaz y programación de un sistema de control para el proceso de medición de caudal y nivel de agua de manera automática.

## **6. Marco Referencial**

En este capítulo se describirán las características más relevantes de los elementos a utilizar en cada una de las fases del proyecto, se identificarán los principios físicos de funcionamiento

y la evolución que han tenido dichos elementos, así como los estudios referentes similares realizados a nivel nacional e internacional junto a la localización geográfica del proyecto.

## **6.1. Marco Teórico**

### **6.1.1. Automatización.**

El proceso de enlazar un sistema y desarrollar software para la recolección de datos y control hace referencia a la automatización, es importante aclarar que en ningún caso esto reemplazara al ser humano en lo que respecta a la toma de decisiones. La automatización especializada es usada para analizar entradas de datos a través de sensores y a través del programa produce salidas de información por medio de actuadores. Esto permite controlar de forma precisa cualquier proceso industrial.

Se tiene conocimiento que existen dos tipos de sistemas de controladores DCS Sistema de Control Distribuido orientado a procesos de ambiente analógico y el PLC conocido como Controlador Lógico Programable que se usa en procesos de tipo discreto, por sus características pueden ser usados en cualquier tipo de proceso industrial.

Con el fin de automatizar los elementos del sistema se pueden utilizar dos maneras; la primera a través de control local y la segunda por medio de software usando dispositivos programables PLC y computadores los cuales analizan y toman decisiones para realizar la actividad.

### **6.1.2. Controlador Lógico Programable PLC.**

Los PLC son equipos que están preparados para convertir, procesar, almacenar y transmitir datos, haciendo uso de un protocolo de comunicación digital, recibe instrucciones y las ejecuta. Los controladores lógicos programables están compuestos por terminales de entrada donde se conectan los pulsadores o detectores entre otros, así como terminales de salida donde estarán conectadas bobinas de contadores, lámparas o electro lámparas o sensores en función de las señales recibidas según la programación establecida. Todo lo anterior ahorra tiempo y trabajo a la hora de hacer la programación porque cada contacto de salida responde a las funciones de los términos de entrada. Es importante aclarar que los PLC cumplen con los requerimientos de procesos continuos o discontinuos, así como el regula “presiones,

temperaturas, niveles y caudales, así como todas las funciones asociadas de temporización, conteo y lógica” (Martínez, 2015) a su vez contiene una tarjeta de comunicación adicional, convirtiéndose en un “poderoso satélite dentro de una red de control distribuido” (Martínez, 2015).

La empresa dispone con la implementación de varios controladores lógicos programables en las diferentes sedes, los cuales se encargan de procesar el tratamiento de señales de instrumentación hidrográfica para esto, se identifican los procesos complejos que realiza la planta de tratamiento de aguas residuales y la planta de tratamiento de agua potable, así como algunas estaciones de bombeo. Las marcas de PLC a utilizar por parte de la empresa y de los cuales mantiene relación con contratistas son la gama Modicon de Schneider Electric y Step S7-1200 de Siemens, las cuales mantienen características similares, por lo tanto, se realiza un proceso de programación simultaneo en las dos plataformas, realizando un análisis de desempeño para los dos PLC en el transcurso del diseño de Telemetría, también se tomaron en cuenta aspectos de inversión a futuro en donde se destacaron la comparación en precios.

Tabla 1. Características de los PLC Marca Siemens y Schneider Electric

| <b>Marca</b>                      | <b>Siemens</b>    | <b>Schneider Electric</b> |
|-----------------------------------|-------------------|---------------------------|
| <b>Gama</b>                       | Step S7-1200      | Modicon M221CE16R         |
| <b>Entradas Digitales</b>         | 8                 | 9                         |
| <b>Salidas De Relé</b>            | 6                 | 7                         |
| <b>Entradas Analógicas</b>        | 2                 | 2                         |
| <b>Entradas de alta Velocidad</b> | 5                 | 4                         |
| <b>Comunicación</b>               | PROFINET          | TCP IP                    |
| <b>Alimentación</b>               | De 100 a 240 V CA | De 100 a 240 V CA         |
| <b>Software de programación</b>   | TIA PORTAL V15    | EcoStruxure               |

Nota: Elaboración propia

Para el presente proyecto se optó por implementar el controlador S7-1200 que se caracteriza por ser flexible y potente y permite controlar diferentes dispositivos de acuerdo a las

múltiples necesidades de automatización. Su estructura compacta, flexibilidad en configuración y extenso paquete de instrucciones hace que el S7-1200 es idóneo para controlar diversas aplicaciones (Siemens Simatic, 2018). La CPU combina los siguientes elementos, además de otros, en una caja compacta para crear un controlador potente: microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET incorporado, E/S de Motion Control.

Instalado el programa en la CPU, cuenta con el sistema lógico necesario para vigilar y controlar cada uno de los dispositivos que contiene la aplicación. La CPU esta alerta de las entradas, así como de las salidas, estas últimas cambian de estado según la lógica predeterminada por el usuario, incluyendo lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, Motion Control, de la misma manera comunicación con otros dispositivos inteligentes (Siemens Simatic, 2018).

La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET

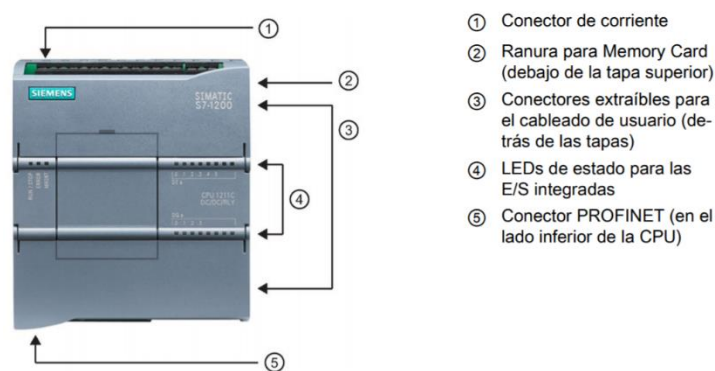


Figura 1. Características de componentes comunes de PLC M221. Nota: adaptada de fuente (Siemens Simatic, 2018)

En la Tabla 2 se relacionan los diferentes modelos de la gama S7 -1200 con sus respectivas características de trabajo y de acuerdo a las especificaciones requeridas por la empresa se decide seleccionar la gama CPU 1212C.

Tabla 2.Comparación de los modelos de CPU

| Función                                                                   |                 | CPU<br>1211C                                                                      | CPU<br>1212C                | CPU<br>1214C               | CPU<br>1215C         | CPU<br>1217C      |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------|
| Dimensiones<br>Físicas                                                    |                 | 90 x 100 x 75                                                                     |                             | 110 x<br>100 x 75          | 130 x<br>100 x 75    | 150 x<br>100 x 75 |
| Memoria de<br>usuario                                                     | Trabajo         | 50KB                                                                              | 75KB                        | 100KB                      | 125KB                | 150KB             |
|                                                                           | Carga           | 1MB                                                                               | 2MB                         | 4MB                        |                      |                   |
|                                                                           | Remanente       | 10KB                                                                              |                             |                            |                      |                   |
| E/S locales                                                               | Digital         | 6<br>Entradas/<br>4 Salidas                                                       | 8<br>Entradas/<br>6 Salidas | 14 Entradas/<br>10 Salidas |                      |                   |
|                                                                           | Analógico       | 2 Entradas                                                                        |                             |                            | 2 Entradas/2 Salidas |                   |
| Tamaño de la<br>memoria<br>imagen de<br>proceso                           | Entradas<br>(I) | 1024 bytes                                                                        |                             |                            |                      |                   |
|                                                                           | Salidas (Q)     | 1024 bytes                                                                        |                             |                            |                      |                   |
| Area de marcas (M)                                                        |                 | 4096 bytes                                                                        |                             | 8192 bytes                 |                      |                   |
| Ampliación con módulo de<br>señales (SM)                                  |                 | Ninguna                                                                           | 2                           | 8                          |                      |                   |
| Signal Board (SB),<br>Battery Board (BB) o<br>Communication Board<br>(CB) |                 | 1                                                                                 |                             |                            |                      |                   |
| Módulo de comunicación<br>(CM)<br><br>Ampliación en el lado<br>izquierdo  |                 | 3                                                                                 |                             |                            |                      |                   |
| Contadores<br>Rapidos                                                     | Total           | Se ha configurado un máximo de 6 para usar cualquier<br>entrada integrada o de SB |                             |                            |                      |                   |

|                                                 |                                                                                       |                                                                                |                  |                 |                 |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
|                                                 | 1MHz                                                                                  | -                                                                              |                  |                 | De lb.2 a lb.5  |
|                                                 | 100/80 KHz                                                                            | De la .0 a la .5                                                               |                  |                 |                 |
|                                                 | 30/20 KHz                                                                             | --                                                                             | De la .6 a la .7 | De la .6 a lb.5 | De la .6 a lb.1 |
|                                                 | 200 KHz                                                                               |                                                                                |                  |                 |                 |
| Salidas Pulsadas                                | Total                                                                                 | Se han configurado un máximo de 4 para usar cualquier salida integrada o de SB |                  |                 |                 |
|                                                 | 1MHz                                                                                  | --                                                                             |                  |                 | De Qa.0 a Qa.3  |
|                                                 | 100KHz                                                                                | De Qa.0 a Qa.3                                                                 |                  |                 | De Qa.0 a Qb.3  |
|                                                 | 20KHz                                                                                 | --                                                                             | De Qa.4 a Qa.5   | De Qa.4 a Qb.1  | --              |
| Memory Card                                     |                                                                                       | SIMATIC Memory Card (Opcional)                                                 |                  |                 |                 |
| Registros (Data logs)                           | Numero                                                                                | Como máximo 8 abiertos a la vez                                                |                  |                 |                 |
|                                                 | Tamaño                                                                                | 500MB por registro o limitado por la memoria de carga máxima disponible        |                  |                 |                 |
| Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real     | 20 días tip./12 días min. A 40° C (Condensador de alto rendimiento sin mantenimiento) |                                                                                |                  |                 |                 |
| Puertos de comunicación Ethernet PROFINET       | 1                                                                                     |                                                                                |                  | 2               |                 |
| Velocidad De ejecución de funciones matemáticas | 2.3 µs/Instrucción                                                                    |                                                                                |                  |                 |                 |

|                                        |                     |
|----------------------------------------|---------------------|
| <b>con números reales</b>              |                     |
| <b>Velocidad de ejecución booleana</b> | 0.08 µs/Instrucción |

Nota: Adaptada de fuente (Siemens Simatic, 2018)

### 6.1.3. Sensores.

Los sensores son dispositivos que están diseñados para recibir información desde el exterior conocida como variable de instrumentación, llámese temperatura, caudal, potencia, entre otros y transformarla a una magnitud diferente de manera eléctrica para poder cuantificar y manipular.

#### 6.1.3.1. MAG 8000 (Siemens).

Los instrumentos de medición de caudal a manejar por parte de la empresa son los FMAG8000 de Siemens de los cuales se encuentran 5 macromedidores instalados en la sede Tanque Circular, se planea seguir trabajando a futuro con esta gama pues la instrumentación se adapta a los requerimientos establecidos para las lecturas en tiempo real de flujo de agua en tuberías, adicionalmente, este tipo de instrumentación posee un tiempo de vida útil a largo plazo y no requiere de mantenimiento constante. La empresa posee alianzas directas con contratistas en la parte de automatización e instrumentación industrial de la marca Siemens.

El funcionamiento de un medidor de flujo magnético se basa en la ley de Faraday (Bunfil, s.f.) que establece que, el voltaje inducido en cualquier conductor mientras se mueve en ángulos rectos a través de un campo magnético es proporcional a la velocidad de ese conductor.

$$Es = \frac{1}{c} \times B \times v \times D$$

Las variables en la ecuación significan:

- Es = voltaje inducido hacia los electrodos (por el agua que se mueve dentro del campo magnético del aparato).
- B = densidad del campo magnético.

- $v$  = velocidad del líquido.
- $D$  = diámetro interno del equipo (usualmente similar al del tubo que se mide).
- $c$  = constante adimensional.

El volumen instantáneo o “gasto” de agua que circula a través de él es igual a la velocidad promedio del agua multiplicada por el área de la sección transversal del tubo, es decir:  $Q = A \times v$ . Entonces, a mayor voltaje inducido en el aparato registrador, significa que está circulando una mayor cantidad de agua.

Para que los medidores funcionen correctamente se debe generar alguna fuente de electricidad (necesaria para que el equipo pueda generar un campo magnético, luego enviar la señal al agua, y que posteriormente sea captada por los sensores del equipo), esto también requiere que exista flujo de agua en las tuberías (es el elemento conductor de la corriente eléctrica que se genera).

### **Diferencias principales respecto a otros tipos de medidores de flujo**

El medidor electromagnético es diferente de otros aparatos, precisamente por su principio de funcionamiento explicado anteriormente. Además, es distinto de los ultrasónicos, pues el electromagnético requiere una instalación fija, y contacto de los electrodos con el agua, cosa que no sucede con aquellos. Para contrarrestar la desventaja de instalación fija, el electromagnético suele tener mejor precisión.

Normalmente consta de dos componentes principales: el cuerpo del medidor, que va acoplado directamente sobre la tubería, y los accesorios electrónicos, los cuales dependiendo del modelo pueden estar unidos al medidor o estar alejados de él. Una posible lista de partes puede ser la que se detalla a continuación (se recomienda dirigirse a los manuales de cada equipo para verificar):

- Carcaza y recubrimiento interior
- Fuente de energía
- Unidad magnética
- Unidad sensorica (electrodos, galvanómetro, voltímetro)
- Acoplamiento al tubo de agua
- Pantalla (display)

- Controles de mando y programación
- Cables y conexiones
- Bridas o uniones entre tubos

Estos medidores son atractivos porque pueden ser leídos directamente en campo, o en otro sitio si se les provee de los dispositivos electrónicos apropiados para reenviar las señales a otro lugar, a ello se le llama telemetría y puede ser de tipo vía telefónica, radio, cableado directo, correo electrónico, o similar. Consecuente con lo anterior, y para el registro de flujo de agua que requiera monitoreo minucioso el medidor electromagnético consta de dos componentes de lectura frecuente, no es necesario que alguien esté visitando el sitio, leyendo y anotando varias veces al día, o varios días a la semana. El problema se simplifica empleando “*dataloggers*”, que son dispositivos electrónicos que pueden adosarse al medidor, o ser los que reciben las señales en el sitio de lectura remota, para ir almacenando los datos (Bunfil, s.f.).

El macromedidor MAG8000 (figura 2) de la marca Siemens (Siemens, 2018) es un contador de agua con microprocesador, pantalla gráfica y tecla que le ofrece al cliente un funcionamiento y datos óptimos in situ, se utiliza en aplicaciones de contaje comerciales, municipales y de riego. El transmisor guía el campo magnético hacia el sensor, evalúa la señal de caudal del sensor y calcula el volumen de caudal en circulación. Además, suministra la información requerida a través de las interfaces de salida de impulsos o de comunicación integradas, como parte de una solución técnica. Su funcionalidad, información y diagnósticos inteligentes garantizan un excelente rendimiento del caudalímetro, así como un flujo de información que permite optimizar el suministro y la facturación de agua.



Figura 2. MAG 8000 Estándar compacto. Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2018)

Entre las ventajas del MAG 8000 se cuentan, instalación sencilla, pérdida de presión reducida, no requiere mantenimiento, medición bidireccional y un contador inteligente (Siemens, 2018).

#### **6.1.3.2. Medición de nivel ultrasónica PROSONIC M FMU 40/41(Endress + Houser)**

Este tipo de sensor se encuentra implementado en algunos tanques de almacenamiento de la empresa en la ciudad de Tunja, su óptimo desempeño en el proceso de medición de nivel ha demostrado que la marca PROSONIC es útil en el registro y transmisión de las señales, este sensor corrige las fluctuaciones de medida que puede generar cambios físicos en el entorno y mantiene un registro de los tiempos de medida. Es por esto que para este proyecto la empresa decide realizar la compra de esta gama de sensores.

El sistema ultrasónico de medición de nivel se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

Los sensores trabajan a una frecuencia de 20 kHz a 200 kHz, estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión, el medio ambiente de gases o vapores, aumentando o disminuyendo la velocidad del sonido y se reflejan en la superficie del sólido o del líquido. A frecuencias mayores (unos 50 kHz) las ondas sónicas penetran las capas de aire o vapores del tanque con menor amortiguamiento.

El sensor emisor dispone de un oscilador excitador para enviar un impulso ultrasónico a la superficie del fluido y el sensor receptor recibe esta señal reflejada, enviando una señal función del tiempo transcurrido y, por lo tanto, del nivel a un transmisor electrónico analógico dotado de protocolo HART para la obtención de una señal digital. La exactitud de estos instrumentos es de unos  $\pm 5$  mm o bien del  $\pm 0,25\%$  al  $\pm 1\%$ .

La utilización del microprocesador permite, a través de un programa, almacenar el perfil ultrasónico del nivel, y así tener en cuenta las características particulares de la superficie del líquido, tal como la espuma, compensando con el software los falsos ecos y las variaciones de velocidad del sonido, con lo cual se mejora la exactitud de la medida. Por otro lado, el ordenador facilita la conversión del nivel a volumen del tanque para usos de inventario y,

además, proporciona características de auto comprobación (self-checking) del instrumento (Creus, 2011).

Este sensor M FMU 40/41 transmite impulsos ultrasónicos hacia la superficie del producto, éstos se reflejan y retornan al sensor. El Prosonic M establece el tiempo  $t$  que avanza entre la emisión y la recepción de un impulso. Este utiliza este tiempo  $t$  (y la velocidad del sonido  $c$ ) para calcular la distancia  $D$  entre la membrana del sensor y la superficie del producto, siendo (Endress+Hauser, s.f.):

$$E = \frac{c \cdot t}{2}$$

El instrumento comprende la distancia de vacío  $E$  indicada por el usuario, puede determinar el nivel a partir de:  $L = E - D$

A través de un sensor de temperatura integrado, el equipo tiene en cuenta los cambios que sufre la velocidad de sonido debido a las variaciones de temperatura.

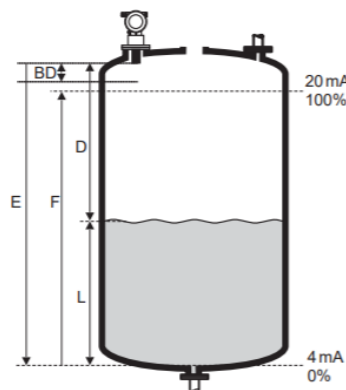


Figura 3. Variables para la medición de nivel en tanque (E: distancia de vacío; F: span (distancia de lleno); D: distancia entre membrana del sensor y superficie del producto; L: nivel; BD: distancia de bloqueo) Nota: Adaptado de fuente (Endress+Hauser, s.f.)

A continuación, se muestran los rangos de medición de cada uno de los tipos de sensor, tanto para medición de líquidos como para sólidos:

Tabla 3. Especificación de rangos de medición

| Sensor | BD    | Rango max. Con líquidos | Rango max. Con áridos |
|--------|-------|-------------------------|-----------------------|
| FMU40  | 0,25m | 5m                      | 2m                    |
| FMU41  | 0,35m | 8m                      | 3,5m                  |
| FMU42  | 0,4m  | 10m                     | 5m                    |
| FMU43  | 0,6m  | 15m                     | 7m                    |
| FMU44  | 0,5m  | 20m                     | 10m                   |

Nota: Adaptado de fuente (Endress+Hauser, s.f.)

Con respecto a la aplicación (Endress+Hauser, s.f.):

Puede hacer medición de nivel de forma continua y sin invadir en los fluidos, pastas, lechadas entre otros, asimismo realiza medición de caudal en canales tipo vertedero o abiertos. Integra el sistema por medio de HART (estándar), 4...20mA – PROFIBUS PA – Fieldbus FOUNDATION.

A continuación, se detallan medidas de algunos tipos de sensores de nivel:

- FMU 40: 5 m para fluidos / 2 m para materiales áridos i
- FMU 41: 8 m para fluidos/ 3,5 m para materiales áridos
- FMU 42: 10 m para fluidos / 5 m para materiales áridos
- FMU 43: 15 m para fluidos / 7 m para materiales áridos
- FMU44: 20 m para fluidos / 10 m para materiales áridos



Figura 4. Tipos de sensores de nivel PROSONIC. Nota: Adaptado de fuente (Endress+Hauser, s.f.)

Algunas de sus características y ventajas son (Endress+Hauser, s.f.): puesta en marcha fácil y rápida mediante ajuste en campo guiado por menús en la pantalla indicadora con cuatro líneas de texto, método de medición no invasiva que minimiza los requisitos de servicio, apto para zonas con peligro de deflagración por materiales gaseosos o pulverulentos, posibilidad de instalación con roscas a partir de G 1½“ o 1½ NPT y superiores y demás.

#### **6.1.4. Telemetría en la automatización hidráulica**

La telemetría como lo menciona Rodríguez (2014) es una herramienta que reconoce “en tiempo real las condiciones operativas de la infraestructura hidráulica dentro y fuera del área” entre ellas “la medición y control a distancia de equipos de los sistemas de forma manual o automática, niveles de tanques, condiciones de los bombeos, medidores de flujo, presión, parámetros eléctricos, etc.”; de la misma manera admite la automatización y el control de manera remota, identificando fallas y reduciendo el tiempo de respuesta en situaciones críticas, “permitiendo así el envío de la información recabada hacia un sistema de monitoreo y/o despliegue de datos en intranet desde cualquier computadora, así como desde la Web” (internet) con un usuario y contraseña (Rodríguez, 2014).

La información es transmitida a través de comunicación inalámbrica, sin desconocer que se puede realizar vía teléfono, fibra óptica, otras, el sistema de telemetría es alimentada por datos e instrucciones para que funciones correctamente. Para el caso específico, remotamente se extraen los datos o valores de un sistema de acueducto, como caudales, presiones, parámetros de calidad de agua y las variables correspondientes de los equipos electrónicos. Su objetivo es permitir la toma de decisiones en cuanto a las acciones a realizar en operación

de acueductos “cerrar o abrir válvulas, redistribuir el almacenamiento, encender o apagar equipos de bombeo o inclusive reducir o aumentar la producción en las plantas” (Chaparro, 2011). Para realizar este proceso desde el centro de control se requiere de una infraestructura adecuada entre ellas contactos, relés y actuadores, que permita remotamente operar válvulas, equipo de bombeo.

#### **6.1.5. SCADA**

Es un sistema automatizado que controla y gestiona todos los procesos de producción de una empresa. Es eficiente y adaptable, ya que puede monitorear cualquier tipo de operación. Maneja de manera eficiente los indicadores, la visualización de la planta operaria y la interacción de los procesos gestionados, desde un espacio intuitivo.

Las visualizaciones de las variables están orientadas en registrar los datos generales en el sistema, revisando todos los procesos y así, generando una información en tiempo real de lo ocurrido en las áreas industriales. Lo anterior, a fin de permitir la mejora constante de la empresa.

El funcionamiento del sistema SCADA como SIMATIC WINCC permite automatizar procesos de manera eficaz e intuitiva, adicional a esto está dotado de potentes funciones para la supervisión de procesos y enfocado a todos los sectores de la industria.

Registra en tiempo real todos los datos de productividad, genera un puente comunicativo entre los operadores, los dispositivos de mando y los sistemas coordinados. Al funcionar de manera autónoma y automática, el control de la información crea a escala, y a medida que se requieran, los datos necesarios para el entendimiento funcional de la sección establecida. Es decir, provee a todos los usuarios la información que genera el proceso productivo.

Su manejabilidad hace que la revisión del proceso alcance a las diferentes áreas de trabajo, como lo son: supervisión, control de calidad, control de producción, almacenamiento de datos y demás. Da vía a la comunicación interna, encaminándola a la consecución de resultados de calidad, haciendo que los índices de control crezcan, por medio de un completo proceso de retroalimentación.

La retroalimentación o *feedback* es una de las ventajas más representativas que proporciona SCADA, ya que, dentro de la automatización de los procesos, el conocer los datos completos

de la gestión industrial, ayuda eficazmente a identificar observaciones y a plantear soluciones que lleven a la optimización de resultados en los ambientes de comunicación industrializada.

La recopilación completa de la información, permite mejorar todos los aspectos del funcionamiento de la empresa, ya que la información se tiene almacenada en bases de datos, lo que permite su fácil acceso.

Asimismo, los componentes esenciales del sistema permiten la conexión con múltiples unidades de terminal remota, por medio de una estación maestra o servidores con aplicaciones HMI y con una segura infraestructura de comunicación para que todos los usuarios puedan revisar la información condensada en la plataforma.

Dentro de las funciones de SCADA, se destacan:

- **Monitorear:** revisión constante de los procesos, desde el inicio hasta el final de la operación.
- **Gestionar:** recopilación permanente de datos que permiten al usuario entender el interés de evaluación de procesos.
- **Controlar:** interpretación de datos que identifican puntos a mejorar o a modificar, con el fin de ejecutar de la manera más adecuada los procesos de control de calidad.
- **Administrar:** organización de datos, almacenamiento, análisis de resultados y automatización de los procesos existentes.
- **Revisar:** verificación del sistema dentro del contexto de producción, el cual guarda el historial de los procesos, con el fin de analizar detalladamente las tareas realizada, utilizando herramientas como el generador de Informes.

La automatización de los procesos provee entonces, maneras satisfactorias para el monitoreo del trabajo general de la sección administrada, mostrando gráficas históricas o tendencias, tablas de eventos y permisos, y accesos de conectividad entre usuarios y operarios en general. Dicho monitoreo se realiza por medio de una estación monopuesto o multipuesto y un controlador lógico.

En sí, SCADA es una opción ideal de automatización de procesos industriales y de producción, ya que su interfaz regulada provee y controla toda la información que ayuda a entender los aspectos esenciales de las variables estipuladas por la empresa (Gómez, 2021) .

#### **6.1.5.1. Pantalla SIMATIC HMI Basic Panel-KTP 700 Basic.**

El desarrollo de la simulación de la interfaz gráfica se desarrolla en dos marcas de HMI (Human Machine Interface), de la marca china Kinco la serie de pantallas MT4434T/TE y de la marca Siemens la pantalla SIMATIC HMI Basic Panel-KTP 700 Basic, la desventaja que tiene esta última con respecto al HMI Kinco es su precio, sus características técnicas son similares, a continuación, se relacionan las más relevantes:

Tabla 4. Características técnicas HMI Siemens vs Kinco

| <b>Marca</b>                     | Siemens             | Kinco               |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Gama</b>                      | KTP700 Basic        | MT4434T/TE          |
| <b>Tamaño</b>                    | 7"                  | 7"                  |
| <b>Resolución</b>                | 800 x 480 Pixeles   | 800 x 480 Pixeles   |
| <b>Color</b>                     | 65536 colores       | 65536 colores       |
| <b>Puertos COM</b>               | RS232, RS485, RS422 | RS232, RS485, RS422 |
| <b>Protocolo de Comunicación</b> | PROFINET            | TCP IP              |
| <b>Memoria De Datos</b>          | 256M                | 64M                 |
| <b>Memoria De Programa</b>       | 512M                | 128M                |
| <b>Software De Programación</b>  | Win CC              | Kinco HMI ware      |

Nota: Elaboración propia

La solicitud por parte del servicio de mantenimiento es que el tipo de comunicación entre el PLC y HMI sea confiable en la transmisión de los datos, es por esto que es seleccionada por el manejo de la pantalla la marca Siemens, porque, tanto la programación del PLC y la construcción de la interfaz gráfica se pueden realizar desde el mismo software (TIA PORTAL V15).

Otro factor que se le atribuye, es la implementación del protocolo de comunicación PROFINET pues permite la operación de transmisión a altas velocidades y mantiene una integración perfecta entre los componentes.

PROFINET IO es muy similar a PROFIBUS en Ethernet, mientras que PROFIBUS usa comunicaciones cíclicas para intercambiar datos con controladores programables a una velocidad máxima de 12Meg en baudios, PROFINET IO utiliza la transferencia de datos cíclicos para intercambiar datos con controladores programables a través de Ethernet, al igual que con PROFIBUS, tanto un controlador programable como un dispositivo deben tener un conocimiento previo de la estructura y el significado de los datos, en ambos sistemas, los datos se organizan como ranuras que contienen módulos con el número total de puntos de E/S para un sistema y la suma de los puntos de E/S para los módulos individuales.

Los controladores IO asignan datos IO de los dispositivos PROFINET IO a la imagen de proceso del controlador, en los controladores programables Siemens S7, los datos de E/S, alarmas y datos de estado se asignan a la imagen de proceso de la misma manera que se realiza para los dispositivos PROFIBUS, estos valores de datos están disponibles para ser utilizados por el programa de control, los controladores IO deben admitir los siguientes tipos de servicios:

- **Intercambio de datos cíclico** – el intercambio de datos entre los controladores IO y los dispositivos IO.
- **Intercambio de datos acíclicos** – El intercambio de datos de configuración y diagnóstico.
- **Alarmas** – intercambio de datos de alarma de un dispositivo IO a un controlador IO.
- **Gestión de contexto** – Procesamiento de conexión.

Los supervisores IO se utilizan para la puesta en servicio y la recopilación de datos de diagnóstico, los supervisores de IO pueden leer y escribir datos de diagnóstico internos asociados con la pila de PROFINET IO o datos de diagnóstico proporcionados por el programa de aplicación de un dispositivo, los supervisores de IO también pueden leer y escribir datos de configuración utilizando servicios de objetos de datos de registro especiales, no cíclicos, estos tipos de dispositivos solo se pueden usar durante el proceso de puesta en

servicio o se pueden usar como HMI para mostrar datos de diagnóstico al usuario final (logicbus, 2019).

Siemens considera las exigencias de los usuarios de una visualización y un manejo de alta calidad, incluso en máquinas e instalaciones pequeñas o medianas. El precio de los nuevos dispositivos se orienta en el de los paneles existentes, sin embargo, las prestaciones se han ampliado considerablemente. Dos de los aspectos decisivos a este respecto son la alta resolución y la intensidad de 65.500 colores. También se ha mejorado claramente la conectividad, para la que puede elegirse una interfaz PROFINET o PROFIBUS más conexión USB. La sencilla programación, que se lleva a cabo con la nueva versión de software de WinCC en el TIA PORTAL, los nuevos paneles se configuran y manejan con gran facilidad.

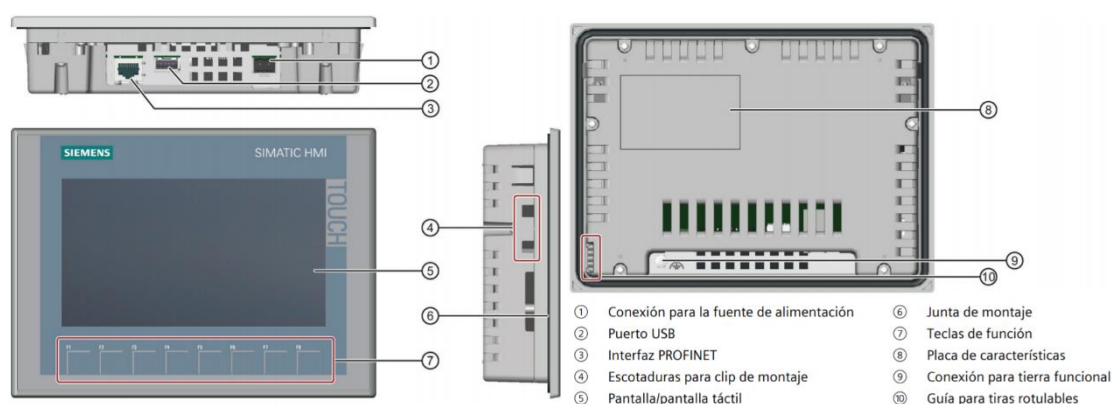


Figura 5. Estructura de panel PROFINET. Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2021)

En la Tabla 5 se relacionan los diferentes modelos de la gama KTP Basic con sus respectivas características de trabajo y de acuerdo a las especificaciones requeridas por la empresa se decide seleccionar la gama KTP700 Basic junto con una red de comunicación PROFINET.

Tabla 5. Datos Técnicos de los diferentes KTP Basic

|                                   | KTP400 Basic      | KTP700 Basic       | KTP700 Basic DP |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| <b>Peso sin embalaje</b>          | Aprox.360 g       | Aprox.780 g        | Aprox.800 g     |
| <b>Tipo</b>                       | LCD-TFT           |                    |                 |
| <b>Área activa de la pantalla</b> | 95 x 53,9mm(4,3") | 154,1 x 85,9mm(7") |                 |

|                                                   |                               |                                     |                   |                 |
|---------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------------|
| Resolución                                        |                               | 480 x 272 pixeles                   | 800 x 480 pixeles |                 |
| Colores Representables                            |                               | 16 bits (65536 colores)             |                   |                 |
| Regulación de brillo                              |                               | Si                                  |                   |                 |
| Retroiluminación-Half Brightness Life Time (MTBF) |                               | LED 20.000 h                        |                   |                 |
| Clase de error de pixel según EN ISO 9241-307     |                               | II                                  |                   |                 |
| Tipo                                              |                               | Pantalla táctil analógica resistiva |                   |                 |
| Teclas de función                                 |                               | 4                                   | 8                 |                 |
| Etiqueta rotulable                                |                               | Si                                  |                   |                 |
| Memoria de datos                                  |                               | 256MB                               |                   |                 |
| Memoria de programa                               |                               | 512MB                               |                   |                 |
| 1 x RS 422/RS 485                                 |                               | -                                   |                   | Max. 12 Mbits/s |
| 1 x Ethernet RJ45                                 |                               | 10/100 Mbits/s                      |                   | -               |
| USB 2.0                                           |                               | Si                                  |                   |                 |
| Tensión Nominal                                   |                               | +24 V DC                            |                   |                 |
| Rango de tensión admisible                        |                               | 19,2 ... 28,8 V (-20%, +20%)        |                   |                 |
| Transitorios, máximo admisible                    |                               | 35 V (500 ms)                       |                   |                 |
| Tiempo entre dos transitorios, mínimo             |                               | 50s                                 |                   |                 |
| Consumo                                           | Típico                        | Aprox. 125 mA                       | Aprox. 230 mA     | Aprox. 230 mA   |
|                                                   | Corriente Continua            | Aprox. 310 mA                       | Aprox. 440 mA     | Aprox. 500 mA   |
|                                                   | Max.                          |                                     |                   |                 |
|                                                   | Extracorrente de conexión I²t | Aprox. 0,2 A²s                      |                   |                 |

|                                                       |             |      |      |
|-------------------------------------------------------|-------------|------|------|
| <b>Consumo De Potencia</b>                            | 3W          | 5,5W | 5,5W |
| <b>Fusible Interno</b>                                | Electrónico |      |      |
| <b>Reloj en tiempo real respaldado, sincronizable</b> | Si          |      |      |
| <b>Respuesta Acústica</b>                             | Si          |      |      |

Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2021)

## 6.2. Marco legal

De acuerdo al reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS Resolución 033 de 2017 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), es pertinente tener en cuenta de los aspectos generales relacionados a continuación (artículos 1, 2 y 10):

Primero, esta resolución establece los requisitos técnicos mínimos a cumplir en cada una de las fases para a la implementación de infraestructura relacionada con los servicios domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Segundo, se aplicará en todas las empresas prestadoras de servicios públicos relacionadas con acueducto, alcantarillado y aseo incluyendo contratistas, interventores, entre otros que participen en el proceso (Ley 142 de 1994).

Por último y con respecto a los estudios básicos mínimos exigidos para la presentación de un proyecto, y específicamente en temas relacionados con hidrología, necesitan información de “caudales, niveles y volúmenes de sedimentos para cada una de las corrientes”, con base en esta información deberá evaluar y adoptar planes de acción a corto y mediano plazo con el fin de garantizar la efectividad en la toma y procesamiento de la misma para asegurar resultados a largo plazo.

El reglamento técnico también establece que, para controlar la disponibilidad de agua y el balance hídrico, se deben analizar e interpretar datos históricos de la cantidad y calidad del agua en cada una de sus fuentes, como insumo necesario de planeación estratégicas en cada una de las entidades involucradas.

### **6.3.Estado del arte**

Controlar los niveles y flujos de agua es una tarea de importancia en diferentes procesos industriales, por la diversidad de usos que tiene el preciado líquido, Suárez y Tipán (2007) en este sentido propusieron un sistema de medición y control de nivel de agua en los pozos de un tren de laminación en la fábrica de Acería del Ecuador ADELCA, para introducir nuevas tecnologías “para solucionar los problemas de inundaciones y de niveles de agua fuera de los valores críticos” por eso propone un sistema de medición mediante sensores ultrasónicos analógicos, y Controlador Lógico Programable - PLC, SIEMENS de la familia S7-200, esto permite controlar los niveles máximos y mínimos de cada pozo y mantiene una recepción continua de información de sus niveles de agua.

Los investigadores Vergara, Molina y Machado (2011) propusieron el desarrollo de un prototipo para controlar las variables de nivel y flujo utilizando una interfaz HMI, buscaban con el mismo, hacer un control más efectivo de dichas variables sin sacrificar la velocidad que debe tener el proceso y con equipos fácilmente escalables en la industria. Una de las principales conclusiones del estudio está relacionadas con “las ecuaciones del sistema de caudal de agua y la ecuación de control PID son aplicables y tiene un resultado coherente con los datos reales”.

De la misma manera Flores (2017), propone interactuar desde la academia con la programación como elemento fundamental de los sistemas automáticos de las empresas, lo hace por medio de un PLC S7-1200, los estudiantes a través de la práctica, elaborando un módulo didáctico podrán controlar el nivel de agua para evitar el derramamiento y otros problemas en la producción, y lograrán aparte de obtener un aprendizaje significativo, comprobar que la automatización representa resultados positivos en el sector empresarial.

Asimismo, la investigación propuesta por Vera y Bastidas (2017) es un claro ejemplo de la importancia de aplicar los conocimientos adquiridos en la formación académica universitaria y lo hacen a través de la propuesta tecnológica donde se muestra el análisis y diseño de un sistema para el proceso de control de nivel y de flujo en el llenado de un tanque, el proyecto basado en investigación y pruebas experimentales, incorporando elementos y equipos como sensores, bombas, variador de frecuencia, pantalla HMI, convertidores y PLC, utilizados para evitar el derramamiento y los costos por desperdicio así como la precisión en el llenado de

nivel requerido. El resultado obtenido demuestra que la estabilización de la planta con retroalimentación disminuyó con la aplicación de controladores.

En esta misma línea, al implementar un PLC en este caso Mitsubishi FX3g 14MR/ES y proponer sistemas de control permiten mejorar el funcionamiento y el uso por parte de los operarios, esto termina disminuyendo el costo de la implementación sistematizada, el suministro de agua será el adecuado y evitará el desperdicio del líquido (Sandoval, Villabona, Rincón, Quintero, & Tarazona, 2018).

Andrade (2019) en su módulo didáctico para controlar nivel y caudal de agua, mediante sistema SCADA, PLC y algoritmo PID propuesto, de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, se dedicó a comprender de manera práctica conceptos como sistemas de control, instrumentación, controlador lógico, entre otros, el módulo propuesto le permitió controlar de manera automática el caudal y nivel de agua, mediante la implementación de un algoritmo de control PID, destaca que las pruebas de funcionamiento lo han llevado a generar cambios en el set point y generando perturbaciones, para observar la respuesta del proceso y evaluar el sistema de control.

El desarrollo de un sistema de automatización y control del sistema de distribución de agua desde la planta de tratamiento de Jove Rancho-Colcapirhua diferentes lugares del municipio, fue desarrollado usando sensores de medición, como de nivel, presión y caudal, con el fin de medir el caudal de agua que sale y el nivel de agua en los tanques donde llega, para su visualización utilizaron PLC's con entradas análogas y digitales, la visualización fue a través de HMI's instalados en cada tanque, esto ha facilitado el trabajo de los operarios, haciendo eficiente y productiva su labor (Echart, 2021).

#### **6.4. Marco Espacial**

##### **Sede Tanque Circular Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P**

Veolia Aguas de Tunja, es una empresa dedicada a la gestión de servicios públicos y alcantarillado, comienza operaciones en el año de 1997. El sistema de acueducto de la ciudad de Tunja se caracteriza por operar por gravedad, su fuente principal de abastecimiento es el

embalse “Teatinos”. El sistema está condicionado con características que le permite ser conmutado con estaciones de bombeo ubicadas por la ciudad, en puntos estratégicos, las estaciones se abastecen también de agua subterránea, explotada a través de pozos profundos que se encuentran ubicados en el Valle del Río Jordán de la ciudad de Tunja.

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Tunja se divide en redes matrices (colectores principales), redes menores (colectores secundarios que reciben descargas domiciliarias directas), el sistema receptor final de los vertimientos (interceptor). Otros componentes del sistema corresponden a las estructuras de separación localizadas a lo largo de los interceptores, el sistema de bóvedas en mampostería y los zanjones o cárcavas que están distribuidos por los flancos oriental y occidental de la ciudad.

La mayor parte de la red de alcantarillado de la ciudad corresponde un sistema combinado de recolección de aguas negras y aguas lluvias; solamente desde el año 1999 se empezó a exigir la separación de los caudales sanitarios y pluviales de las nuevas urbanizaciones.

El agua residual es conducida desde el punto de generación hasta la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), a través del sistema de alcantarillado de la ciudad de Tunja, el cual está conformado por redes secundarias o menores, bóvedas, colectores, interceptores, emisario final y estructuras de separación o aliviaderos (Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P., s.f.).

La sede Tanque Circular se encuentra ubicada en el sector de la Calle 19 #16-63 barrio Kennedy, empieza su funcionamiento hace más de 25 años y se encarga del almacenamiento y la distribución del servicio público de agua al sector centro de la ciudad de Tunja.



Figura 6. Sede Tanque Circular Veolia Aguas de Tunja. Nota: elaboración propia

Para llevar a cabo el suministro de agua potable en una población, se deben considerar aspectos importantes como el almacenamiento y la regulación. Un sistema de distribución óptimo especifica claramente criterios operativos básicos, que van desde la variación en consumo durante un tiempo determinado, percibido por los consumidores, hasta el uso de un sistema para el bombeo a través de válvulas y equipos instalados en los diferentes tanques dispuestos para su almacenamiento. Estos criterios son fuente de información importante para los implicados en el trabajo de campo, mejorando ostensiblemente la toma de decisiones, además, permite aumentar la eficiencia del sistema disminuyendo el riesgo en el suministro y el deterioro de las instalaciones.

Posteriormente, se hace una conceptualización con respecto a la diferencia que existe entre los términos de almacenamiento y regulación, este último hace referencia al sistema de almacenamiento de agua potable que a través del gasto desde la fuente satisface las necesidades variables del consumidor durante el día, permite almacenar el volumen de agua necesario para satisfacer la demanda cuando es mayor el consumo del habitual, los periodos de regulación son de 24 horas aproximadamente. El almacenamiento por su parte, corresponde a la capacidad de acopio que poseen los tanques para sufragar un suministro adicional en eventos imprevistos (Comisión Nacional del Agua, 2007).

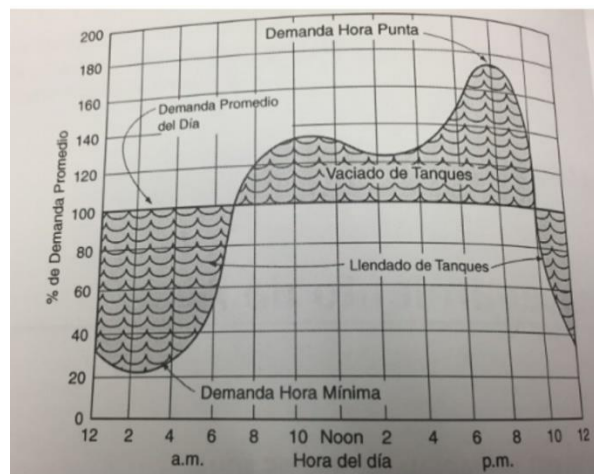


Figura 7. Ejemplo en la variación diaria de la demanda del sistema. Nota adaptada de fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2007)

La sede actualmente funciona de manera óptima en flujo y almacenamiento de agua para el sector central de la ciudad de Tunja, la operación se lleva a cabo a través de monitoreo constante por parte de los operarios en los tanques de almacenamiento ubicados en los tres puntos distantes de la sede. Parte del flujo de agua que sale de la planta de tratamiento de agua potable llega directamente por bombeo al primer tanque de almacenamiento de la sede llamado Circular (Figura 8), el líquido antes de llegar a su recepción pasa por uno de los macromedidores instalados en la tubería principal para realizar un constante manejo de datos de flujo.



Figura 8. Ubicación de macromedidor en la entrada de Tanque de llenado Circular. Nota: elaboración propia

A partir del Tanque Circular se realiza una bifurcación hacia el tanque el Carmen (Figura 9), el cual tiene implementado un macromedidor con lectura en L/s en la entrada del tanque y otro en la salida.



Figura 9. Ubicación de macromedidores en entrada y salida de Tanque El Carmen. Nota: elaboración propia

De la misma manera, al llegar el ducto principal al tanque gemelos cuadrados (Figura 10) se realiza una bifurcación en la salida del ducto, pues este tanque cuenta con una división de almacenamiento. De este modo, partiendo del almacenamiento que existe en este tanque, se lleva a cabo la principal distribución del servicio público de agua hacia la zona centro de la ciudad de Tunja.



Figura 10. Tanque Gemelos Cuadrados. Nota: elaboración propia

Cada tanque dispone de un sistema ambiguo para la medición del nivel de llenado (Figura 11) debido a que en la parte exterior se encuentra un tubo con longitud equivalente a cada

uno de los tanques y para su medición ingresan una varilla metálica en la cual marcan con la humedad el nivel de agua.



Figura 11. Actual sistema de medición de nivel de llenado en tanques. Nota: elaboración propia.

## 7. Diseño metodológico

Este proyecto se desarrolló a través de una metodología cualitativa que se sustenta en evidencias orientadas a describir un fenómeno con el fin de comprender y explicar usando diferentes técnicas (Sánchez, 2019), bajo el método deductivo, haciendo uso de conceptos generales de la instrumentación y la automatización, con el fin de inspeccionar de manera remota el proceso de medición y caudal de agua, con sus respectivos parámetros y controlar el sistema de manera remota para mejorar su eficiencia y eficacia.

Las técnicas utilizadas fueron de tipo documental y de campo, en la primera, se recopiló información necesaria para la elaboración del marco teórico, esto permitió aplicar los conceptos básicos en el desarrollo de esta propuesta, así como identificar las diferentes aplicaciones de los diferentes componentes utilizados, en el segundo, se dividió en 6 fases articuladas a cada uno de los objetivos específicos, los cuales permitirán dar cumplimiento al objetivo general del proyecto estas fases son:

| <b>Fase 1. Inspección de la ruta en donde se implementará el proyecto</b>                                                                                                           |                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Objetivo:</b> Proponer un sistema de medición de caudal y nivel de agua en tuberías y tanques ubicados en la sede Tanque Circular de la Empresa Veolía –Aguas de Tunja S.A. ESP. |                                             |
| <b>Actividades</b>                                                                                                                                                                  | <b>Producto</b>                             |
| Realizar recorrido de la planta.                                                                                                                                                    | Plano del trayecto del proyecto (PDF, DWG). |

| <b>Fase 2. Identificación de la ubicación de la instrumentación existente y faltante e investigación de sus características técnicas</b> |                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Objetivo:</b> Analizar los instrumentos existentes que se utilizan para la medición de flujo y nivel de agua.                         |                                                           |
| <b>Actividades</b>                                                                                                                       | <b>Producto</b>                                           |
| Consulta de características y especificaciones en manuales, fichas y guías técnicas.                                                     | Manuales de macromedidores y sensores de nivel.           |
| Programación de salidas de macromedidores y sensores de nivel.                                                                           | Software de programación de macromedidores (SIMATIC PDM). |

| <b>Fase 3. Análisis las características del controlador lógico programable y sus componentes más importantes</b>        |                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Objetivo:</b> Establecer el tipo de PLC a configurar y el diseño de la programación de señales.                      |                                                                                                   |
| <b>Actividades</b>                                                                                                      | <b>Producto</b>                                                                                   |
| Investigar los diferentes modelos de la familia de PLC Modicon M221 de la marca Schneider Electric-PLC Siemens S7-1200. | Manuales Técnicos.                                                                                |
| Tratamiento y procesamiento de las señales de los sensores utilizados (Simulación).                                     | Software de programación SoMachine Basic (Ecostruxure) (Schneider Electric)-TIA PORTAL (Siemens). |

|                                                                                                                                |                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Fase 4. Selección y programación de pantalla HMI (Human Machine interface) de acuerdo a sus características principales</b> |                                                                                                                                     |
| <b>Objetivo:</b> Definir el modelo de pantalla HMI y creación de la interfaz.                                                  |                                                                                                                                     |
| <b>Actividades</b>                                                                                                             | <b>Producto</b>                                                                                                                     |
| Identificación de propiedades del hardware de la pantalla HMI.                                                                 | Manual técnico de pantalla HMI (GL 070E-Green Series) Marca Kinco.<br>Manual técnico de pantalla HMI (KTP 700 Basic) Marca Siemens. |
| Programación de interfaz de usuario en la pantalla.                                                                            | Software Kinco D'Tools<br>WIN CC.                                                                                                   |

|                                                                                                                                            |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <b>Fase 5. Centralización de señales de sensores a un controlador lógico programable y visualización de datos de medición</b>              |                       |
| <b>Objetivo:</b> Diseñar un sistema que sea capaz de controlar todo el proceso de medición de caudal y nivel de agua de manera automática. |                       |
| <b>Actividades</b>                                                                                                                         | <b>Producto</b>       |
| Enlace de cada una de las etapas del sistema y verificación de sus resultados-Simulación.                                                  | Operación de sistema. |

|                                                                                                                                                       |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Fase 6. Entrega y validación</b>                                                                                                                   |                        |
| <b>Objetivo:</b> Entregar la simulación del sistema que permita controlar todo el proceso de medición de caudal y nivel de agua de manera automática. |                        |
| <b>Actividades</b>                                                                                                                                    | <b>Producto</b>        |
| Entrega de simulación del diseño, ajuste de correcciones y entrega final.                                                                             | Simulador del sistema. |

## 8. Factibilidad y Recursos Disponibles

### 8.1. Factibilidad del Proyecto

| Factibilidad Técnica                                                     |                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Recurso                                                                  | Disponibilidad                                                                      |
| Equipo de cómputo con el software ECOSTRUXURE MACHINE BASIC. TIA PORTAL. | Computador portátil ASUS con sistema operativo Windows 10, recurso del estudiante.  |
| Material bibliográfico con fines documentales.                           | Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, Universidad Santo Tomás. |

| Factibilidad Económica                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recurso                                                                                                                                                | Disponibilidad                                                                                                                                                                                                                |
| Para el desarrollo del proyecto se requiere el uso de hardware, software y recursos humanos que por sus servicios representan una inversión económica. | Universidad Santo Tomás:<br>Asesoría equipos, infraestructura de laboratorios, bases de datos.<br>Estudiante:<br>Recursos en efectivo para cubrir servicios de comunicaciones, mantenimiento de equipo de cómputo y software. |

| Factibilidad Operativa                                                                                           |                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Recurso                                                                                                          | Disponibilidad                                                             |
| Considerando los requerimientos del proyecto, es necesaria la consulta en material bibliográfico relacionado con | Desarrollo propio con el apoyo de los colaboradores Veolia Aguas de Tunja. |

|                                              |  |
|----------------------------------------------|--|
| automatización e instrumentación industrial. |  |
|----------------------------------------------|--|

## 9. Cronograma

Anexo 1. Cronograma Excel

## 10. Inversión

A continuación, se relacionan las diferentes opciones de inversión que puede llegar a realizar la empresa de acuerdo a las características exigidas para los materiales o herramientas a utilizar:

PLC Marca Siemens S7-1200 Referencia 1212C

| <b>MATERIALES<br/>HERRAMIENTAS</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                                                                                                    | <b>CANTIDAD:</b> | <b>VALOR<br/>UNITARIO:</b> | <b>VALOR<br/>TOTAL A<br/>INVERTIR:</b> |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| PLC SIEMENS S7-1200                | Referencia 1212C, alimentación 100...240 V AC, I/D 8, I/A2, O/D 6 RELES, expansiones posibles 2, tipo de conexión bornera de tornillo | 1                | \$1.605.000                | \$1.605.000                            |
| Expansión Entradas Digitales       | Referencia TM3DI8, I/D 8, tipo de conexión: bornera de tornillo                                                                       | 1                | \$689.000                  | \$689.000                              |
| Expansión Entradas Análogas        | Referencia TM3AI4 I/A 4 tipo de                                                                                                       | 1                | \$1.417.000                | \$1.417.000                            |

|                 |                               |   |             |                    |
|-----------------|-------------------------------|---|-------------|--------------------|
|                 | conexión: bornera de tornillo |   |             |                    |
| Macromedidor    | HMI SIEMENS                   | 1 | \$4.065.000 | \$4.065.000        |
| <b>SUBTOTAL</b> |                               |   |             | <b>\$7.776.000</b> |

PLC Marca Siemens S7-1200 Referencia 1214C

| <b>MATERIALES<br/>HERRAMIENTAS</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                                                                                                   | <b>CANTIDAD:</b> | <b>VALOR<br/>UNITARIO:</b> | <b>VALOR<br/>TOTAL A<br/>INVERTIR:</b> |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| PLC SIEMENS S7-1200                | Referencia 1214C, alimentación 100...240 V AC, I/D 8, I/A2, O/D 6 RELE, expansiones posibles 8, tipo de conexión bornera de tornillo | 1                | \$2.248.000                | \$2.248.000                            |
| Expansión Entradas Digitales       | Referencia TM3DI8, I/D 8, tipo de conexión: bornera de tornillo                                                                      | 1                | \$689.000                  | \$689.000                              |
| Expansión Entradas Análogas        | Referencia TM3AI4 I/A 4 tipo de conexión: bornera de tornillo                                                                        | 1                | \$1.417.000                | \$1.417.000                            |
| Macromedidor                       | HMI SIEMENS                                                                                                                          | 1                | \$4.065.000                | \$4.065.000                            |
| <b>SUBTOTAL</b>                    |                                                                                                                                      |                  |                            | <b>\$8.419.000</b>                     |

PLC SCHNEIDER

| <b>MATERIALES<br/>HERRAMIENTAS</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                                                                                                                           | <b>CANTIDAD:</b> | <b>VALOR<br/>UNITARIO:</b> | <b>VALOR<br/>TOTAL A<br/>INVERTIR:</b> |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------------------|
| PLC SCHNEIDER                      | Referencia<br>TM221CE16R.<br>Alimentación<br>100...240 V AC. I/D<br>9, IA2, OD 7 Relé,<br>expansiones posibles<br>4, tipo de conexión<br>bornera de tornillo | 1                | \$2.145.000                | \$2.145.000                            |
| Expansión Entradas<br>Digitales    | Referencia TM3DI8,<br>I/D 8, tipo de<br>conexión: bornera de<br>tornillo                                                                                     | 1                | \$690.800                  | \$690.800                              |
| Expansión Entradas<br>Análogas     | Referencia TM3AI4<br>I/A 4 tipo de<br>conexión: bornera de<br>tornillo                                                                                       | 1                | \$1.595.000                | \$1.595.000                            |
| Pantalla HMI                       | HMI KINCO                                                                                                                                                    | 1                | \$750.000                  | \$750.000                              |
| <b>SUBTOTAL</b>                    |                                                                                                                                                              |                  |                            | <b>\$5.180.800</b>                     |

## **11. Análisis De Resultados**

### **FASE 1: Inspección de la ruta donde se implementará el proyecto**

A finales de diciembre de 2020 y principios de enero de 2021 se realizó el recorrido por la planta de la empresa Veolia de la ciudad de Tunja, esto con el fin de adaptarse e interactuar con todos los procesos hidrográficos que maneja la compañía. La acertada orientación de los coordinadores de sección y operadores de mantenimiento permitió comprender con claridad los procesos en cada uno de los proyectos ya implementados. Se procedió a recibir retroalimentación de los proyectos que estaban en funcionamiento permanente y que contaban con maquinaria de automatización en la PTAR y PTAP de la ciudad, asimismo, se hizo un análisis de los proyectos propuestos para ser desarrollados a futuro. Esto permitió identificar como prioritario que la sede Tanque Circular, necesitaba de un control adecuado durante el proceso de recolección y transmisión de los datos suministrados por los caudalímetros allí instalados, de tal forma que el proceso mejorara su eficiencia a través de la actualización e implementación de nuevas tecnologías.

Teniendo en cuenta lo anterior, se establece con el coordinador de mantenimiento el modelo óptimo para la centralización de señales a través del uso de Telemetría para los 5 macromedidores instalados en la sede, así como implementación de instrumentación faltante. Para hacer esto posible, en primera instancia se realizó un trabajo de reconocimiento en terreno de la ruta y ubicación, tanto de la tubería como la instrumentación que se planea instalar, esto permitió diseñar un plano de ruteo (Figura 12) de ductos de la sede, especificando la ruta principal del proyecto y la ubicación de la instrumentación existente y faltante.

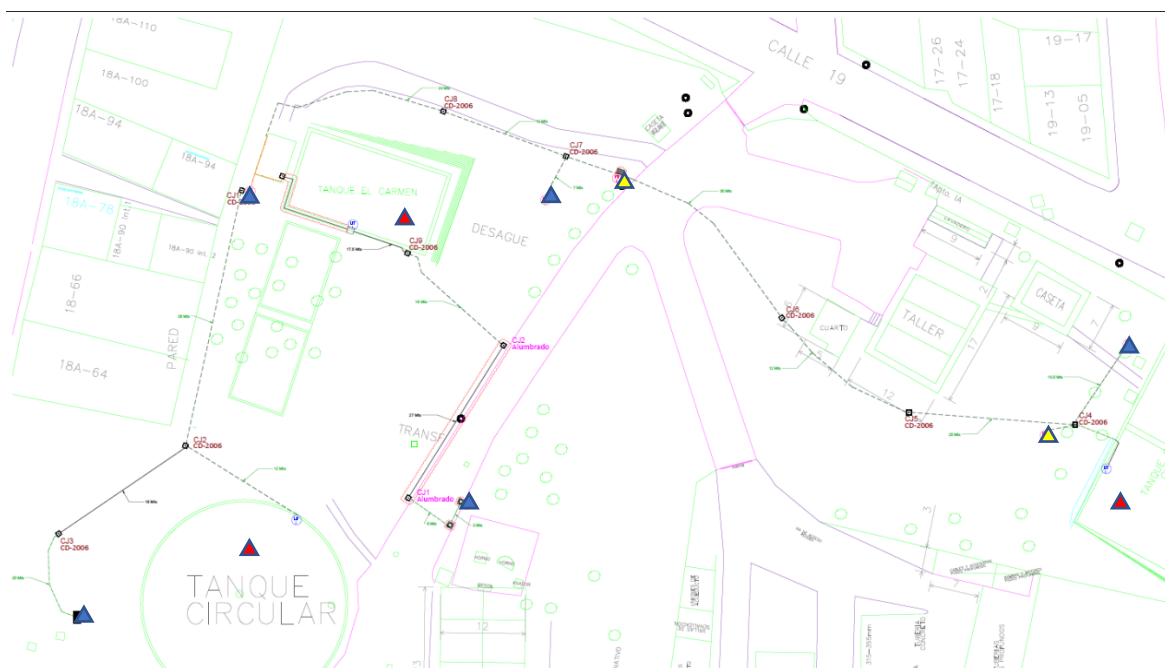


Figura 12. Diagrama ubicación de rutas de cableado para proyecto y ubicación de los sensores existentes y faltantes en la sede Tanque Circular. Nota: elaboración propia

El siguiente cuadro explica las convenciones utilizadas en la figura 12:

| Símbolo de ubicación en la ruta | Instrumentos existes y faltantes |
|---------------------------------|----------------------------------|
|                                 | Macromedidores instalados (5)    |
|                                 | Macromedidores faltantes (2)     |
|                                 | Sensores de nivel faltantes (3)  |

El Figura 12 muestra detalladamente la ubicación de los diferentes caudalímetros instalados en las rutas de tubería, los cuales cumplen la función de medir el paso de agua en los diferentes sectores de la sede, igualmente, se pretende implementar un sistema actualizado haciendo uso de nuevas tecnologías, instalando sensores de nivel en los tres tanques de almacenamiento que hacen parte de esta sede, y complementando la instrumentación existente.

En los procesos industriales, es importante definir los tipos de actuadores a controlar, estos pueden ser electrohidráulicos, electroneumáticos o electromecánicos, estos componentes

permiten comandar un proceso a través de señales eléctricas que se transmiten desde la HMI de un sistema SCADA o de un tablero eléctrico. En la sede Tanque Circular se cuenta con la instalación de caudalímetros electromagnéticos (Figura 13).



Figura 13. Caudalímetro marca Siemens instalado en la sede. Nota: elaboración propia

Los caudalímetros instalados en la sede cumplen la función de suministrar información y datos de la cantidad de agua que pasa en determinado tiempo, estos están ubicados tanto en la entrada como en la salida de los 3 tanques principales de la sede. La configuración de los instrumentos depende de la necesidad que se requiera en la medición, de esta manera existe 3 caudalímetros que mantienen una configuración de lectura de caudal totalizado y 2 que están configurados con caudal totalizado e instantáneo

En el proceso de automatización y control es indispensable contar con equipos de medición y adquisición de datos de variables físicas como controladores o sensores. En la actualidad la planta de Veolia cuenta con equipos de medición de flujo, presión, temperatura, oxígeno y nivel; los cuales transforman una señal física o química en una señal eléctrica que anteriormente es amplificada y procesada por dispositivos especializados para así ingresar a un Controlador Lógico Programable, para registrar, visualizar y controlar desde ordenadores o tableros eléctricos.

## **Fase 2. Identificación de características técnicas de instrumentación existente y faltante**

A finales del mes de enero de 2021 y con una duración de 2 semanas se realizó un proceso de investigación e indagación sobre los diferentes métodos existentes para realizar la calibración y configuración de los macromedidores. Dicha investigación permitió establecer

que el Siemens Flowtool y SIMATIC PDM (Siemens, 2018) (Figura 14) son sistemas adecuados por ser herramientas universales de múltiples proveedores establecidas para la configuración, parametrización, puesta en marcha, diagnóstico y mantenimiento de dispositivos de campo inteligentes (sensores y actuadores) y componentes de campo (E / S remotas, multiplexores, dispositivos de sala de control, controladores compactos), además, contiene una vigilancia simple de los valores del proceso, interrupciones y señales de estado/diagnóstico del dispositivo, por lo anterior, se realizó la instalación de dicho software.

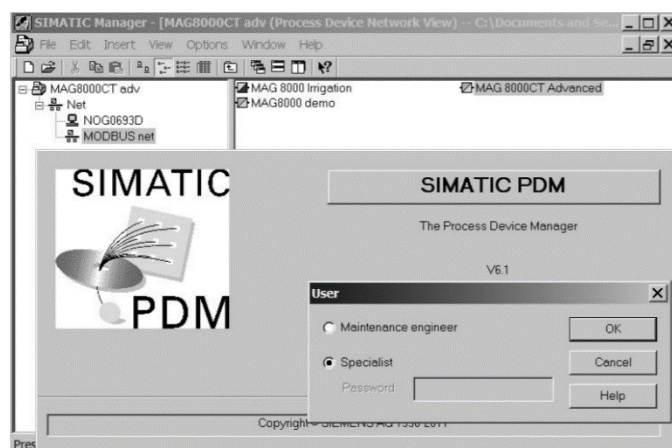


Figura 14. Interfaz de software SIMATIC PDM. Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2018)

El dispositivo se entrega de serie en la configuración con unidades de totalizador y caudal en m y m<sup>3</sup>/h, respectivamente. Sin embargo, el dispositivo se puede configurar manualmente para que funcione con otras unidades. La salida de impulsos se puede configurar como volumen, alarma o llamada. El ajuste predeterminado en fábrica permite activar con la salida A el flujo hacia delante y con la salida B la salida de alarma.

El proceso de transmisión de datos se realizó a través de un módulo por infrarrojos IrDA USB (Figura 15), el dispositivo funciona de modo *plug&play* con una velocidad de transferencia de 115Kbps y permite enviar y recibir datos de modo *Half Duplex*.



Figura 15. módulo por infrarrojos IrDA USB. Nota: Elaboración propia

Se hace aclaración con respecto al dispositivo anterior (Módulo por Infrarrojos IrDA USB), al encontrarse desactualizado no se logró el óptimo funcionamiento para el manejo de los datos, por consiguiente, se optó por utilizar un módulo RS485 (Figura16), con el cual se puede realizar comunicación MODBUS estándar.



Figura 16. Módulo RS485. Nota: Elaboración propia

La conexión RS 485 requiere el uso de un par equilibrado (para D+ - D-) y de un tercer cable (común) (Siemens, 2018). Para el par equilibrado utilizado en un sistema RS 485 es preciso utilizar una impedancia característica con un valor entre 100 y 120 ohmios. El blindaje requiere la conexión permanente al encapsulado MAG 8000 con la abrazadera ilustrada en la figura de la sección de instalación del cable, consulte Fuente de alimentación.

**Terminación del bus:** Para funcionar adecuadamente es necesario terminar correctamente todas las redes basadas en RS 485. Colocar una terminación en cada extremo del segmento. El módulo MODBUS RTU (permite colocar una terminación de 120 ohmios colocando el

conector puente (jumper) a proximidad de los terminales en posición "ON". La terminación se entrega con ajuste de fábrica "ON".

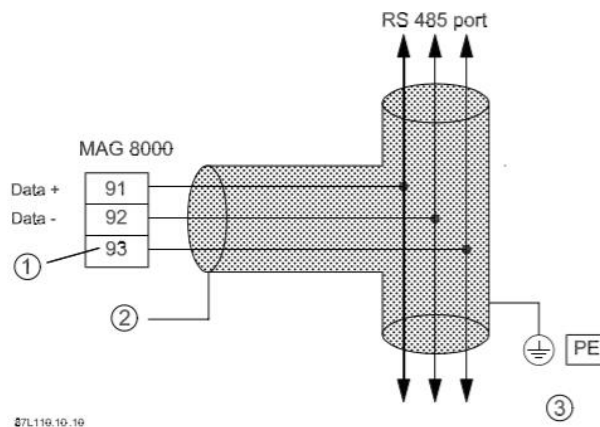


Figura 17. Diagrama de conexión RS 485 (1. Común, 2. conectar el blindaje al encapsulado y 3. el blindaje se debe conectar a tierra). Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2018)

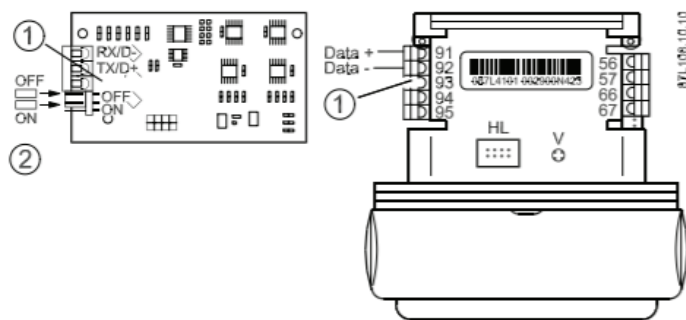


Figura 18. Diagrama para conexión RS 485 a módulo del macromedidor (1. Common y 2. Terminación). Nota: Adaptado de fuente (Siemens, 2018)

Los dispositivos a configurar son 5 macromedidores SITRANS FMAG 8000, de los cuales de espera obtener datos de flujo en valores instantáneos y totalizados, en la configuración del Software SIMATIC PDM, se realizó la modificación de los parámetros requeridos por la empresa en los cuales en cada macromedidor se maneja un envío por pulsos cada segundo de

los valores en tiempo real, estos datos ingresan por cada una de las entradas del PLC para su respectivo registro.

Se plantea también la instalación a futuro de sensores de nivel para cada uno de los tanques de almacenamiento de agua. Los requerimientos por parte del coordinador de mantenimiento en primera instancia es que los sensores puedan medir el llenado continuo del tanque y que el reflejo por parte de luz externa no influya en los datos de la lectura de llenado, para cumplir con las necesidades que requiere la empresa, y a partir de una investigación de instrumentación en el área hidrográfica, se determinó la elección de sensores de nivel ultrasónicos marca Endress + Houser, modelo Prosonic FMU (Figura 19).



Figura 19. Sensor de nivel ultrasónico Prosonic Endress + Houser. Nota: elaboración propia

### **Fase 3. Análisis de características del controlador lógico programable y sus componentes más importantes**

Para los meses de febrero y marzo se da inicio al proceso investigativo para conocer las características principales del PLC a implementar. Por recomendación del coordinador de mantenimiento fue seleccionado el PLC serie M221 (Figura 20), modelo Modicon de marca Schneider Eléctric, su elección se hace teniendo en cuenta el gran desempeño, características y economía que ofrece esta marca en asociación con la empresa Veolia al ser uno de los

principales distribuidores en la implementación de automatización e instrumentación industrial para PTAR y PTAP en la ciudad de Tunja. Cabe resaltar que este mismo modelo está siendo usado en varias estaciones de bombeo distribuidas en la ciudad para controlar el flujo y presión de los ductos.

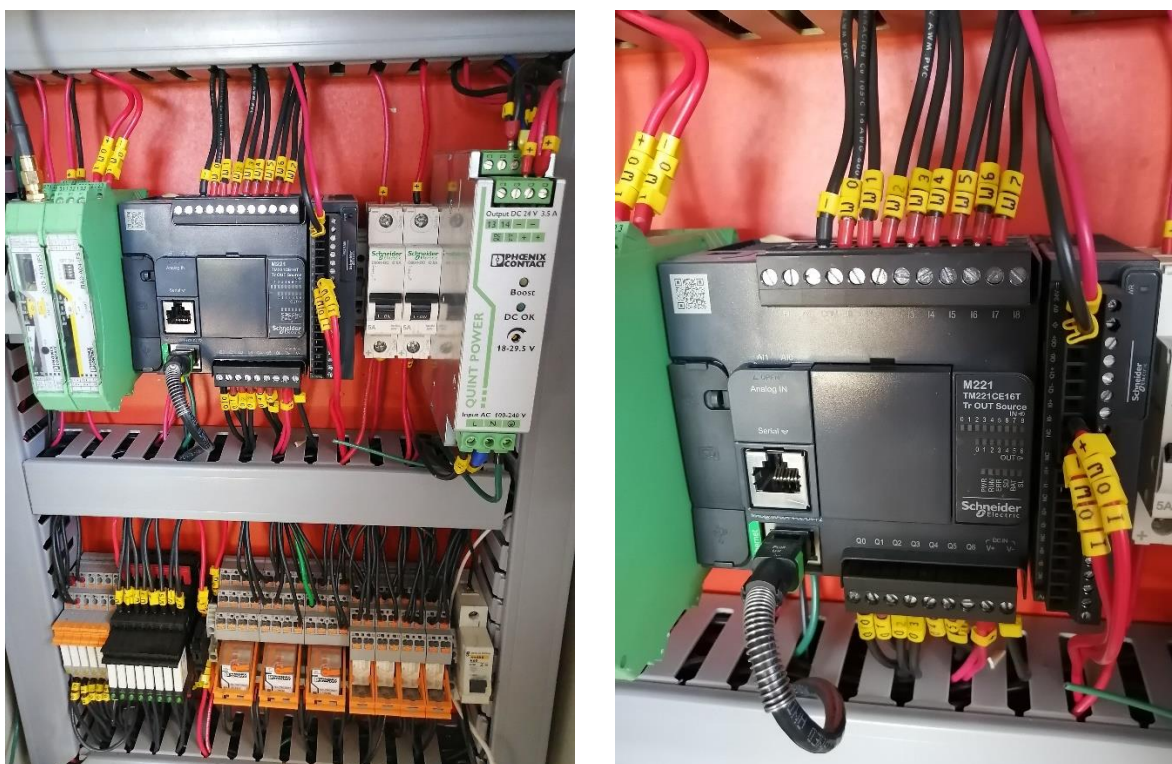


Figura 20. PLC Modicon M221. Nota: elaboración propia

Con la información recolectada en las diferentes estaciones de bombeo se definió el modelo idóneo de la serie M221 a utilizar en relación a sus características de hardware. En el funcionamiento de los macromedidores las salidas pueden ser tanto de 4-20 ma, 4-10 a 10V, por un método de transmisión de comunicaciones, en este caso se ha usado las salidas por pulsos, esto quiere decir que por cada pulso que el macromedidor emita su señal será recibida en la entrada digital definida por el PLC. Adicionalmente, la programación interna se debe realizar parametrizando el dato de la cantidad de agua que esté pasando durante un tiempo determinado en cada pulso que se genere e incluirlas en un contador ascendente, esto depende de cómo este configurado cada macromedidor.

Ahora bien, con relación a estas especificaciones es muy importante tener en cuenta el manejo de entradas ya sean digitales o análogas, al realizar en el caso particular, un manejo de 10 instrumentos, trabajando simultáneamente equivale, a la necesidad de 7 entradas digitales para los macromedidores, dichas entradas deben ser de alta resolución porque necesitan un manejo en la velocidad de transmisión superior a los 100KHz con protección de Relé en las entradas digitales, esto se debe a que es necesario realizar una transmisión por pulsos cada segundo, en el caso del PLC Modicon solamente cuenta con 4 de las 9 entradas que superen esta característica, esto quiere decir que habrán 3 macromedidores que necesitaran entradas digitales de esta categoría y para dar solución a esto se requiere la instalación de módulos de ampliación.

Con respecto a los sensores de nivel que son 3, se decide manejar una salida a 4-20mA dependiendo de la capacidad de cada tanque, el valor máximo de llenado estará representado por la transmisión de una señal de corriente de 20 mA y en su estado vacío una señal de 4 mA. Para esto se hará uso de un módulo de expansión de señales análogas, pues las dos entradas que se incluyen en el PLC solamente manejan señales de 0 a 10 V.

El software a trabajar para la programación del PLC Modicon es Eco Struxure Machine Basic (Figura 21) cuenta con una interfaz de manejo de programación Ladder, que permite interactuar en óptimas condiciones según requerimientos del proceso que se está implementando, sin embargo, y de manera paralela se venía realizando el desarrollo de la programación a través del software TIA PORTAL de la marca Siemens, teniendo que en cuenta que sus funciones de manejo son cómodas y amigables para el usuario, una de sus ventajas hace referencia a la cantidad significativa de bloques de interacción, tanto lógicas como matemáticas que posee, que conlleva a hacer un manejo de parámetros con un desarrollo más eficiente.



Figura 21. Software EcoStruxure (Schneider Electric). Nota: elaboración propia

Dicho lo anterior, Modicon mantiene un entorno de programación simple, pero con la desventaja de asumir que el programador tiene una experiencia previa a la familiarización de las características lógicas del entorno del software, por el contrario, TIA PORTAL mantiene un entorno gráfico de programación Ladder mediado por bloques que facilitan la comprensión y el desarrollo del programa, junto con una interfaz gráfica de apoyo para el usuario en situaciones complejas. Es por esto que, realizada la investigación profunda de cada uno de los PLC mencionados, se establece que no solo la ventaja en la facilidad de programación es importante, sino que existen elementos adicionales a tener en cuenta como son las características de hardware y el beneficio económico que puede llegar ofrecer a mediano y largo plazo el software TIA PORTAL para las organizaciones.

#### Fase 4. Selección y programación de pantalla HMI (Human Machine interface) de acuerdo a sus características principales

A finales de marzo y durante el mes de abril de 2021 se adelanta el proceso de selección de la pantalla HMI, que permite la configuración de la interfaz gráfica donde se visualizaran los datos que se encuentran interactuando entre la parte de instrumentación y PLC. El coordinador de mantenimiento sugiere la implementación de una pantalla HMI marca Kinco de 7 pulgadas, para realizar la programación de la interfaz, fue necesario la interacción con los softwares Kinco Dtools y Kinco HMIware (Figura 22). A través de estos softwares se realizó el diseño de las ventanas y sus respectivos parámetros en la visualización de los datos, el tipo de comunicación implementado para esta pantalla fue TCP IP donde el maestro fue la pantalla y como esclavo el PLC, los parámetros de direcciones IP para cada servidor se realizaron en la configuración de la pantalla. Es importante resaltar que la configuración de

la interfaz para este tipo de pantalla es compleja porque no se encuentra fácilmente información disponible que permita la comprensión de sus características y el funcionamiento. Es por esto que se decidió trabajar simultáneamente la interfaz en un entorno de programación compatible, con el anterior PLC Siemens como segunda opción, ante la inminente falta de progreso del modelo sugerido por el coordinador.

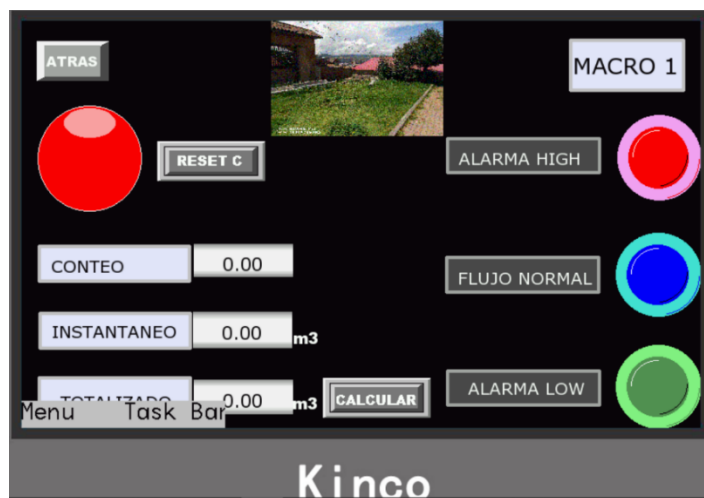


Figura 22. Programación de Interfaz gráfica en software Kinco HMIware. Nota: elaboración propia

La pantalla implementada fue una KTP700 Basic de 7 pulgadas que conservaba las mismas características de hardware en comparación con la pantalla Kinco, se aclara que la marca Siemens ofrece a los usuarios un ambiente de programación eficiente, al contar en este caso, con interfaz Wincc en modalidad dinámica por su fácil implementación de herramientas gráficas. Suele ser un entorno organizado y comprensible a la hora de la vinculación de las variables y su interacción con el proceso desarrollado en el PLC.

La interfaz desarrollada tanto para Kinco como para Wincc dispone de una ventana de inicio en donde se visualiza el nombre de proyecto, la empresa donde se implementa el proyecto, el mensaje de presentación y un botón de menú (Figura 23).



Figura 23.Ventana de Inicio de Interfaz gráfica. Nota: elaboración propia

A continuación, en la ventana menú se visualizan 4 botones donde se encuentra la opción de selección de macromedidores, otro para selección de sensores de nivel, un tercer botón para seleccionar información general de los macromedidores implementados y un último botón, con información general de los sensores de nivel a implementar en los tanques de almacenamiento (Figura 24).

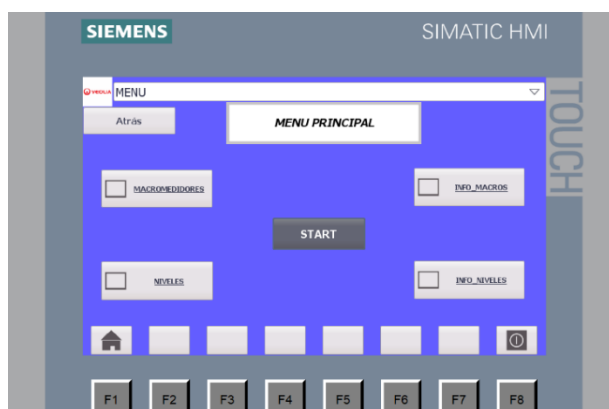


Figura 24.Ventana de Menú Principal. Nota: elaboración propia

Ingresando al botón del menú de macromedidores se muestran 7 opciones de selección para cada uno de los macromedidores en donde se puede visualizar una fotografía de ubicación, el caudal instantáneo en medida de L/s, caudal totalizado en medidas de  $m^3$ , un botón de reset y una parametrización de alarmas High -Low, en el cual se da a conocer si existe un caudal que sobrepase el rango estándar, así como el rango mínimo de flujo y el estado normal para

su óptimo funcionamiento. Se destaca que los datos se visualizan simultáneamente en cada una de las vistas de acuerdo a requerimientos del usuario (Figura 25).



Figura 25. Menu de macromedidores y ventana de alarma y visualización de caudal. Nota: elaboración propia

Por último, se dispone de la sección del menú de los sensores de nivel el cual contará con el gráfico de un tanque con condiciones de parametrización dependiendo del rango que se haya configurado por la medida de cada tanque. También, estas ventanas cuentan con el mismo sistema de alarmas High-Low implementados en la sección de macromedidores (Figura 26).



Figura 26. Menu de Sensores de nivel y ventana de alarma y nivel de llenado de tanque. Nota: elaboración propia.

## **Fase 5. Centralización de señales de sensores a un controlador lógico programable y visualización de datos de medición**

Para el desarrollo de la etapa inicial de este proyecto, la empresa requiere que se realice el proceso de automatización en simulación y características de instrumentación necesarias para tener seguridad de que el proyecto pueda implementarse con satisfacción en el futuro.

A partir del mes de Mayo entra en desarrollo la programación de los dos PLC propuestos, según requerimientos, el prototipo del proyecto simulado en software se desarrolla con base en una metodología donde se asocian las señales de los sensores objeto de medición y se procesan en el PLC, es por esto que en primera instancia parte del programa inicial comprende la creación de un generador de pulsos por segundo, reemplazando el funcionamiento de la transmisión de los datos por parte del macromedidores, teniendo en cuenta que los datos reales no son accesibles para quienes no tienen vinculación laboral directa por disposiciones de la empresa.

El generador de pulsos está basado en un manejo de configuración de temporizadores en estado ON/OFF, esta parte del programa consta de tres etapas, en el primero se genera un pulso el cual dará inicio al temporizador que tendrá su estado de encendido durante 100 ms, en la segunda etapa tendrá un estado de apagado durante 1 ms, y en la tercera etapa mantendrá un estado de *reset* con un tiempo de 100 ms. Esta configuración se realizó teniendo en cuenta que se necesitaba obtener solamente un dato de lectura en el instante que sea requerido, con esto se obtendrá una salida la cual se guardara en un estado de memoria llamado pulso.

El contacto pulso ingresa a un bloque de contador el cual está configurado a un límite de 16 valores y un estado reset el cual permite un ciclo repetitivo del conteo, los macromedidores implementados en la planta tienen una configuración de transmisión de datos cada 15 segundos.

Inicialmente, la empresa solicito que el eje principal de la programación se concentrara en la visualización del flujo totalizado de los macromedidores para esto se estaba realizando una conversión de unidades tanto de L/s para caudal instantáneo como en m<sup>3</sup> para el totalizado, lo anterior basándose en el registro de las configuraciones realizadas anualmente por parte de los proveedores de mantenimiento de los caudalímetros, donde solamente uno de los 7

caudalímetros cuenta con lectura de flujo instantáneo. Al probar el funcionamiento con la conversión se establece por parte del coordinador de mantenimiento que este sistema no entrega la solución a la problemática identificada por la empresa y es por esto que se decide buscar un método de integración de señales a través del tiempo, la metodología para dar solución a lo anterior, se basa en la recolección de datos de manera manual y comparando dichos datos con las lecturas entregadas por la empresa.

Se llegó a la conclusión, que implementado la ecuación general de caudal se realiza un registro de un valor de volumen transcurrido durante 15 segundos, este valor se divide en 15, para poder obtener así la cantidad de agua que pasa cada segundo.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde Q equivale a caudal

V= volumen de liquido

t= tiempo transcurrido

Para la implementación de esta integración de señales en el programa se decide implementar un bloque de suma del valor integrado junto con un estado de memoria que guardara el resultado de operación en un ciclo repetitivo y continuo. Esto quiere decir que el dato ira aumentando cada segundo con el mismo valor ingresado, sumándose consigo mismo.

El dato almacenado de la anterior operación se moverá a otro estado de memoria, haciendo uso del bloque de transferencia (Move), esto para que los datos no se sobrescriban o traslapen. Luego de esto se buscó una forma ideal para realizar el anterior proceso con un intervalo progresivo de 15 segundos haciendo uso de Arrays en bloques de programa, así el valor generado a los 15 segundos siendo este el superior se restará junto con el valor inicial, por último, este resultado que corresponde al caudal totalizado estará actualizándose cada 15 segundos, al obtener un valor adecuado de los datos se decide realizar la conversión de m<sup>3</sup> a L/s dividiendo este valor entre 15. Esta configuración fue aplicada en la configuración de los 6 macromedidores restantes, obteniendo un resultado óptimo en la lectura de los valores procesados.

El proceso se puede simplificar mediante la siguiente ecuación de ejemplo:

Cada macromedidor genera un reporte de datos cada 15 segundos

$$\frac{M2 - M1}{TM} = Q$$

Si se reemplazan los valores de la Figura 26 en la ecuación donde:

- M2 es igual al dato máximo de la matriz = 3195.5999
- M1 es igual al dato mínimo de la matriz = 2791.7999
- Tiempo de registro = 15 Segundos
- Q = Caudal en L/s

$$\frac{3195.5999 - 2791.7999}{15s} = 26.92 \text{ L/s}$$

Entonces este macromedidor está registrando un caudal de 26.92 L/s lo cual es congruente con el registro en las lecturas de medidas de instrumentación por parte de la empresa.

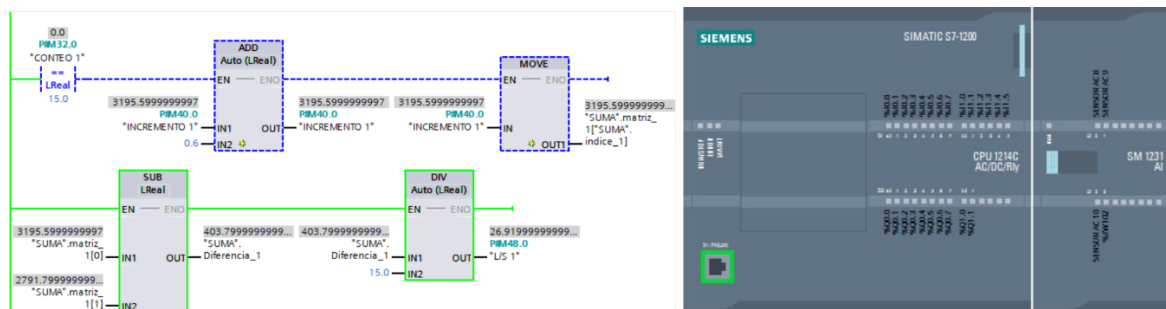


Figura 27. Programación de integración de señales en TIA PORTAL-Siemens. Nota: elaboración propia

Tabla 6. Registro de caudal instantáneo

| Caudalímetro | Caudal instantáneo (L/s) |
|--------------|--------------------------|
| macro 1      | 26                       |
| macro 2      | 77                       |
| macro 3      | 21                       |
| macro 4      | 112                      |
| macro 5      | 58                       |

|         |    |
|---------|----|
| macro 6 | 95 |
| macro 7 | 40 |

Nota: Elaboración propia

En la simulación del proyecto se vincula un sistema de alarmas High-Low, el diseño de este sistema se construye a partir de la comparación entre el dato de caudal instantáneo en tiempo real y los límites máximo, mínimo y un rango en estado normal, dependiendo del estado en que se encuentre el valor del caudal se activaran cada una de las salidas de los estados de alarma.

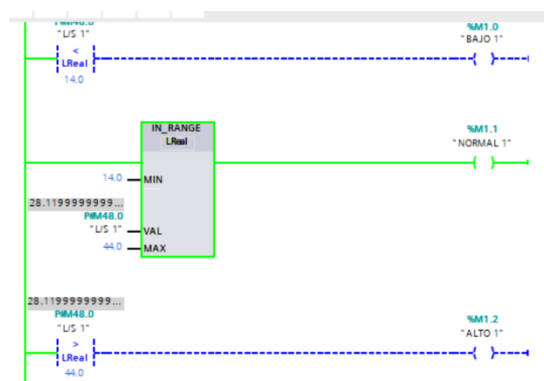


Figura 28. Programación de alarmas High-Low en TIA PORTAL Siemens. Nota: elaboración propia

En la programación del registro de datos de los sensores implementados en los tanques de llenado se hace uso de un bloque “Normalizar” este bloque normaliza el valor de la variable de la entrada VALUE representándolo en una escala lineal. Los parámetros MIN y MAX sirven para definir los límites de un rango de valores que se refleja en la escala.

En función de la posición del valor que se debe normalizar en este rango de valores, se calcula el resultado y se deposita como número en coma flotante en la salida OUT.

Si el valor que se debe normalizar es igual al valor de la entrada MIN, la salida OUT devuelve el valor “0.0”. Si el valor que se debe normalizar es igual al valor de la entrada MAX, la salida OUT devuelve el valor “1.0”, la normalización de datos cumple la función de parametrizar el rango de la señal 4-20 que ingresa en la entrada analógica del PLC en un rango de 0 para un valor mínimo y 27.648 para el valor máximo, para conocer este rango, se debe consultar la documentación de la tarjeta de entradas analógicas, en ella se puede evidenciar,

que para el tipo de configuración, intensidad y 4...20 mA, el rango de valores que lee el PLC en la entrada analógica es de 0 a 27648, en un funcionamiento normal de la entrada analógica, un valor de 0 correspondería a 4 mA y 27648 correspondería a 20 mA, el dato que resulta de este bloque se ingresa en la entrada de un bloque de escalado, configurando el rango dependiendo de la altura de cada tanque, de esta manera a la salida se obtendrá el dato de lectura que registre el sensor. Se incluyó la misma metodología de alarma High-Low que se implementó en los macromedidores, en este caso, dependiendo de un desborde de llenado del tanque, un estado vacío del mismo, o un rango normalizado de llenado del tanque. Por último y no menos importante, se resalta la implementación palabras de memoria “tipo real” y “long real” debido a la cantidad extensa y continua de valores que se están registrando.

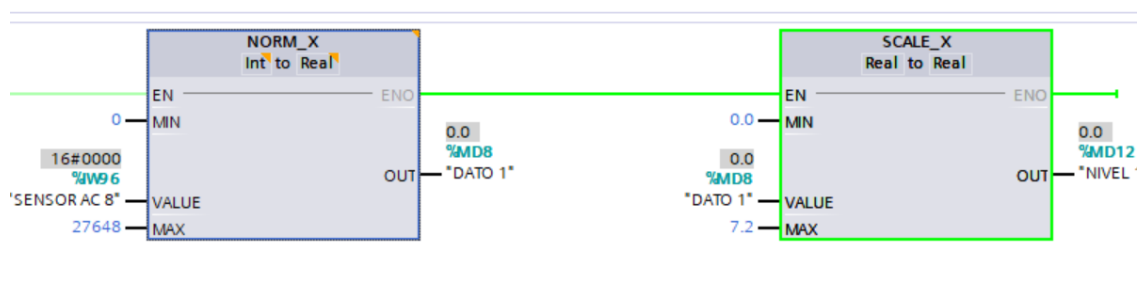


Figura 29. Programación de Normalización y escalado de señales 4-20 en TIA PORTAL Siemens. Nota: elaboración propia

A continuación, se visualiza la tabla de las variables a utilizar para el desarrollo de la programación y procesamiento de señales en los sensores

Tabla 7. Variables para el desarrollo de programación y procesamiento de señales de sensores

| Nombre de Variable | Tipo de datos | Dirección | Descripción                                                              |
|--------------------|---------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------|
| ET0                | Bool          | %M0.0     | Etapla inicial de primer temporizador (100ms-estado ON) Generador pulsos |
| ET1                | Bool          | %M0.1     | Etapla de apagado segundo temporizador (1ms-estado OFF) Generador pulsos |

|                       |       |        |                                                                              |
|-----------------------|-------|--------|------------------------------------------------------------------------------|
| ET2                   | Bool  | %M0.2  | Etapa reset tercer temporizador (500ms-estado RESET) Generador de pulsos     |
| START                 | Bool  | %M0.3  | Botón de inicio de sistema                                                   |
| PULSO                 | Bool  | %M0.4  | Variable de memoria que guarda los pulsos que se están generando             |
| <b>MACROMEDIDOR 1</b> |       |        |                                                                              |
| LIM_1                 | Bool  | %M0.5  | Variable que guarda cada segundo el dato de contador de 0 a 1-Macro 1        |
| LIMITE<br>MAXIMO 1    | Bool  | %M0.6  | Variable que guarda dato máximo para contador de 0 a 16 pulsos-Macro 1       |
| RESET<br>CONTADOR 1   | Bool  | %M0.7  | Reset del contador de 0 a 16 pulsos                                          |
| Matriz_1              | Array |        | Guarda los datos máximo y mínimo de caudal en el lapso de 15 segundos        |
| Diferencia_1          | LReal |        | Guarda la cantidad de caudal en m3 en el transcurso de 15 segundos           |
| Índice_1              | Int   |        | Variable en donde se movió el dato progresivo del registro                   |
| BAJO 1                | Bool  | %M1.0  | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango mínimo |
| NORMAL 1              | Bool  | %M1.1  | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango normal |
| ALTO 1                | Bool  | %M1.2  | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango máximo |
| CONTEO 1              | LReal | %M32.0 | Guarda el conteo del registro de valores en el contador para el macro 1      |
| INCREMENTO<br>1       | LReal | %M40.0 | Variable que almacena el dato progresivo de caudal en 15 segundos            |
| L/S 1                 | LReal | %M48.0 | Cantidad de caudal en Litros sobre segundo                                   |
| <b>MACROMEDIDOR 2</b> |       |        |                                                                              |

|                       |       |        |                                                                              |
|-----------------------|-------|--------|------------------------------------------------------------------------------|
| LIM_2                 | Bool  | %M1.3  | Variable que guarda cada segundo el dato de contador de 0 a 1-Macro 2        |
| LIMITE MAXIMO 2       | Bool  | %M1.4  | Variable que guarda dato máximo para contador de 0 a 16 pulsos-Macro 2       |
| RESET CONTADOR 2      | Bool  | %M1.5  | Reset del contador de 0 a 16 pulsos                                          |
| Matriz_1              | Array |        | Guarda los datos máximo y mínimo de caudal en el lapso de 15 segundos        |
| Diferencia_1          | LReal |        | Guarda la cantidad de caudal en m3 en el transcurso de 15 segundos           |
| Índice_1              | Int   |        | Variable en donde se movió el dato progresivo del registro                   |
| BAJO 2                | Bool  | %M1.6  | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango mínimo |
| NORMAL 2              | Bool  | %M1.7  | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango normal |
| ALTO 2                | Bool  | %M2.0  | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango máximo |
| CONTEO 2              | LReal | %M56.0 | Guarda el conteo del registro de valores en el contador para el macro 2      |
| INCREMENTO 2          | LReal | %M64.0 | Variable que almacena el dato progresivo de caudal en 15 segundos            |
| L/S 2                 | LReal | %M72.0 | Cantidad de caudal en Litros sobre segundo                                   |
| <b>MACROMEDIDOR 3</b> |       |        |                                                                              |
| LIM_3                 | Bool  | %M2.1  | Variable que guarda cada segundo el dato de contador de 0 a 1-Macro 3        |
| LIMITE MAXIMO 3       | Bool  | %M2.2  | Variable que guarda dato máximo para contador de 0 a 16 pulsos-Macro 3       |
| RESET CONTADOR 3      | Bool  | %M2.3  | Reset del contador de 0 a 16 pulsos                                          |

|                       |       |        |                                                                              |
|-----------------------|-------|--------|------------------------------------------------------------------------------|
| Matriz_1              | Array |        | Guarda los datos máximo y mínimo de caudal en el lapso de 15 segundos        |
| Diferencia_1          | LReal |        | Guarda la cantidad de caudal en m3 en el transcurso de 15 segundos           |
| Índice_1              | Int   |        | Variable en donde se movió el dato progresivo del registro                   |
| BAJO 3                | Bool  | %M2.4  | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango mínimo |
| NORMAL 3              | Bool  | %M2.5  | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango normal |
| ALTO 3                | Bool  | %M2.6  | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango máximo |
| CONTEO 3              | LReal | %M80.0 | Guarda el conteo del registro de valores en el contador para el macro 3      |
| INCREMENTO 3          | LReal | %M88.0 | Variable que almacena el dato progresivo de caudal en 15 segundos            |
| L/S 3                 | LReal | %M96.0 | Cantidad de caudal en Litros sobre segundo                                   |
| <b>MACROMEDIDOR 4</b> |       |        |                                                                              |
| LIM_4                 | Bool  | %M2.7  | Variable que guarda cada segundo el dato de contador de 0 a 1-Macro 4        |
| LIMITE MAXIMO 4       | Bool  | %M3.0  | Variable que guarda dato máximo para contador de 0 a 16 pulsos-Macro 4       |
| RESET CONTADOR 4      | Bool  | %M3.1  | Reset del contador de 0 a 16 pulsos                                          |
| Matriz_1              | Array |        | Guarda los datos máximo y mínimo de caudal en el lapso de 15 segundos        |
| Diferencia_1          | LReal |        | Guarda la cantidad de caudal en m3 en el transcurso de 15 segundos           |
| Índice_1              | Int   |        | Variable en donde se movió el dato progresivo del registro                   |

|                       |       |         |                                                                              |
|-----------------------|-------|---------|------------------------------------------------------------------------------|
| BAJO 4                | Bool  | %M3.2   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango mínimo |
| NORMAL 4              | Bool  | %M3.3   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango normal |
| ALTO 4                | Bool  | %M3.4   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango máximo |
| CONTEO 4              | LReal | %M104.0 | Guarda el conteo del registro de valores en el contador para el macro 4      |
| INCREMENTO 4          | LReal | %M112.0 | Variable que almacena el dato progresivo de caudal en 15 segundos            |
| L/S 4                 | LReal | %M120.0 | Cantidad de caudal en Litros sobre segundo                                   |
| <b>MACROMEDIDOR 5</b> |       |         |                                                                              |
| LIM_5                 | Bool  | %M3.5   | Variable que guarda cada segundo el dato de contador de 0 a 1-Macro 5        |
| LIMITE MAXIMO 5       | Bool  | %M3.6   | Variable que guarda dato máximo para contador de 0 a 16 pulsos-Macro 5       |
| RESET CONTADOR 5      | Bool  | %M3.7   | Reset del contador de 0 a 16 pulsos                                          |
| Matriz_1              | Array |         | Guarda los datos máximo y mínimo de caudal en el lapso de 15 segundos        |
| Diferencia_1          | LReal |         | Guarda la cantidad de caudal en m3 en el transcurso de 15 segundos           |
| Índice_1              | Int   |         | Variable en donde se movió el dato progresivo del registro                   |
| BAJO 5                | Bool  | %M4.0   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango mínimo |
| NORMAL 5              | Bool  | %M4.1   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango normal |
| ALTO 5                | Bool  | %M4.2   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango máximo |

|                       |       |         |                                                                              |
|-----------------------|-------|---------|------------------------------------------------------------------------------|
| CONTEO 5              | LReal | %M128.0 | Guarda el conteo del registro de valores en el contador para el macro 5      |
| INCREMENTO 5          | LReal | %M136.0 | Variable que almacena el dato progresivo de caudal en 15 segundos            |
| L/S 5                 | LReal | %M144.0 | Cantidad de caudal en Litros sobre segundo                                   |
| <b>MACROMEDIDOR 6</b> |       |         |                                                                              |
| LIM_6                 | Bool  | %M4.3   | Variable que guarda cada segundo el dato de contador de 0 a 1-Macro 6        |
| LIMITE MAXIMO 6       | Bool  | %M4.4   | Variable que guarda dato máximo para contador de 0 a 16 pulsos-Macro 6       |
| RESET CONTADOR 6      | Bool  | %M4.5   | Reset del contador de 0 a 16 pulsos                                          |
| Matriz_1              | Array |         | Guarda los datos máximo y mínimo de caudal en el lapso de 15 segundos        |
| Diferencia_1          | LReal |         | Guarda la cantidad de caudal en m3 en el transcurso de 15 segundos           |
| Índice_1              | Int   |         | Variable en donde se movió el dato progresivo del registro                   |
| BAJO 6                | Bool  | %M4.6   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango mínimo |
| NORMAL 6              | Bool  | %M4.7   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango normal |
| ALTO 6                | Bool  | %M5.0   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango máximo |
| CONTEO 6              | LReal | %M152.0 | Guarda el conteo del registro de valores en el contador para el macro 6      |
| INCREMENTO 6          | LReal | %M160.0 | Variable que almacena el dato progresivo de caudal en 15 segundos            |
| L/S 6                 | LReal | %M168.0 | Cantidad de caudal en Litros sobre segundo                                   |
|                       |       |         |                                                                              |

| <b>MACROMEDIDOR 7</b>                             |       |         |                                                                              |
|---------------------------------------------------|-------|---------|------------------------------------------------------------------------------|
| LIM_7                                             | Bool  | %M5.1   | Variable que guarda cada segundo el dato de contador de 0 a 1-Macro 7        |
| LIMITE MAXIMO 7                                   | Bool  | %M5.2   | Variable que guarda dato máximo para contador de 0 a 16 pulsos-Macro 7       |
| RESET CONTADOR 7                                  | Bool  | %M5.3   | Reset del contador de 0 a 16 pulsos                                          |
| Matriz_1                                          | Array |         | Guarda los datos máximo y mínimo de caudal en el lapso de 15 segundos        |
| Diferencia_1                                      | LReal |         | Guarda la cantidad de caudal en m3 en el transcurso de 15 segundos           |
| Índice_1                                          | Int   |         | Variable en donde se movió el dato progresivo del registro                   |
| BAJO 7                                            | Bool  | %M5.4   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango mínimo |
| NORMAL 7                                          | Bool  | %M5.5   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango normal |
| ALTO 7                                            | Bool  | %M5.6   | Se acciona cuando el nivel de flujo del caudalímetro está en el rango máximo |
| CONTEO 7                                          | LReal | %M176.0 | Guarda el conteo del registro de valores en el contador para el macro 7      |
| INCREMENTO 7                                      | LReal | %M184.0 | Variable que almacena el dato progresivo de caudal en 15 segundos            |
| L/S 7                                             | LReal | %M192.0 | Cantidad de caudal en Litros sobre segundo                                   |
| <b>SENSOR DE NIVEL DE LLENADO-TANQUE CIRCULAR</b> |       |         |                                                                              |
| BAJO 8                                            | Bool  | %M5.7   | Se acciona cuando el nivel de llenado del tanque está en el rango mínimo     |
| NORMAL 8                                          | Bool  | %M6.0   | Se acciona cuando el nivel de llenado del tanque está en el rango normal     |

|                                                            |      |        |                                                                          |
|------------------------------------------------------------|------|--------|--------------------------------------------------------------------------|
| ALTO 8                                                     | Bool | %M6.1  | Se acciona cuando el nivel de llenado del tanque está en el rango máximo |
| DATO 1                                                     | Real | %MD8   | Dato de señal 4-20 normalizado                                           |
| NIVEL 1                                                    | Real | %MD12  | Escalamiento de rango del dato normalizado                               |
| SENSOR AC 8                                                | Word | %IW96  | Entrada Analógica por parte de la señal 4-20 del sensor de nivel         |
| <b>SENSOR DE NIVEL DE LLENADO-TANQUE EL CARMEN</b>         |      |        |                                                                          |
| BAJO 9                                                     | Bool | %M6.2  | Se acciona cuando el nivel de llenado del tanque está en el rango mínimo |
| NORMAL 9                                                   | Bool | %M6.3  | Se acciona cuando el nivel de llenado del tanque está en el rango normal |
| ALTO 9                                                     | Bool | %M6.4  | Se acciona cuando el nivel de llenado del tanque está en el rango máximo |
| DATO 2                                                     | Real | %MD16  | Dato de señal 4-20 normalizado                                           |
| NIVEL 2                                                    | Real | %MD20  | Escalamiento de rango del dato normalizado                               |
| SENSOR AC 9                                                | Word | %IW98  | Entrada Analógica por parte de la señal 4-20 del sensor de nivel         |
| <b>SENSOR DE NIVEL DE LLENADO-TANQUE GEMELOS CUADRADOS</b> |      |        |                                                                          |
| BAJO 10                                                    | Bool | %M6.5  | Se acciona cuando el nivel de llenado del tanque está en el rango mínimo |
| NORMAL 10                                                  | Bool | %M6.6  | Se acciona cuando el nivel de llenado del tanque está en el rango normal |
| ALTO 10                                                    | Bool | %M6.7  | Se acciona cuando el nivel de llenado del tanque está en el rango máximo |
| DATO 3                                                     | Real | %MD24  | Dato de señal 4-20 normalizado                                           |
| NIVEL 3                                                    | Real | %MD28  | Escalamiento de rango del dato normalizado                               |
| SENSOR AC 10                                               | Word | %IW100 | Entrada Analógica por parte de la señal 4-20 del sensor de nivel         |

Nota: Elaboración propia

## **Fase 6. Entrega y validación**

Durante el mes de junio de 2021, adelantado el proceso de comparación de la programación con los softwares de la marca Schneider y Siemens, se llegó a un consenso junto al coordinador de mantenimiento y se tomó la decisión de seleccionar el software TIA PORTAL como modelo de fácil adaptación a los requerimientos planteados al inicio del proyecto, debido al desarrollo eficiente en la programación, bajo costo para su adquisición, transmisión de datos menos compleja, características diferenciadoras en hardware y programación dinámica en la interfaz para el manejo por parte del usuario.

A partir de lo anterior, se realiza la unificación de las diferentes fases del proyecto que comprende la simulación de los datos recolectados por los macromedidores, programación del procesamiento e integración de las señales de caudalímetros y sensores de nivel junto con la configuración de alarmas High- Low, simulación de interfaz gráfica en pantalla HMI y su conexión y transmisión de datos por cable PROFINET.

Se procede con la socialización de los resultados principales que a continuación se detallan:

Entrega de archivo de programa general de la simulación de la centralización de señales, donde se explica de manera detallada el desarrollo del programa, el procesamiento e integración de señales requerido por el coordinador de mantenimiento y programación de alarmas High- Low, así como programación de rangos de medición de nivel de llenado en tanques, se entrega funcionando y sin reporte de fallas durante su ejecución.

El programa cuenta con su interfaz gráfica simulada visualizada en una pantalla HMI, donde el usuario pondrá interactuar de manera dinámica a través de las diferentes ventanas, realizando lectura de los datos relevantes en caudal instantáneo y totalizado, ubicación de cada uno de los instrumentos, y estado de alarmas.

Como complemento se anexa un archivo Excel (Anexo 2) con la descripción detallada de cada uno de los instrumentos que fueron elegidos para la implementación a futuro del sistema propuesto, entre ellos caudalímetros, sensores de nivel, características y hojas técnicas de PLCs trabajados, e información relevante de las pantallas HMI.

Anexo 2. Descripción detallada de instrumentos seleccionados para futura implementación.

## **12. Recomendaciones**

- Al momento de trabajar con controladores lógicos programables es indispensable pensar en el rendimiento de este para el desarrollo de los procesos que requiere a comparación de buscar un método económico y accesible.
- Esta prueba piloto puede ser replicada en cada una de las sedes de Veolía Aguas de Tunja, esto permitirá condensar toda la información de la instrumentación industrial implementada a un solo punto de referencia.
- Es recomendable para la empresa mantener los instrumentos para la comunicación de datos o señales actualizada ya que esto puede generar pérdida de tiempo en los procesos de desarrollo del proyecto.
- A largo plazo se sugiere elevar el nivel de automatización y migrar hacia los sistemas 4.0, mejorando el monitoreo y control de cada proceso, asimismo, al optar por la implementación y desarrollo con automatización de marcas no reconocidas es aconsejable el tener un conocimiento previo por parte del personal de mantenimiento de información sobre el sistema a implementar, ya que el migrar a este tipo de tecnologías tal vez desarrolladas en otros países suele ser confuso a la hora de su configuración.
- Es importante el mantener un control en el orden del manejo de las variables y es recomendable llevar un registro predeterminado como lo requiera el programa, ya que al registrarlas manualmente puede existir el problema de que se traslapen las variables y el programa no funcione cuando se ejecute.

### 13. Conclusiones

- La recolección y organización de datos propios de los instrumentos tales como sus características físicas, eléctricas y mecánicas, surgen como una herramienta tecnológica para apoyar a los colaboradores de la empresa en labores como el mantenimiento, cambio o ingeniería del proceso.
- La comparación del desarrollo en la programación y simulación del proceso de diseño del proyecto permite establecer el sistema y plataforma más idóneo de acuerdo a las necesidades que requiere la empresa.
- La toma de datos estándar previa ha sido mejorada gracias a la implementación de nuevas tecnologías, pasando de un proceso manual a uno automatizado disminuyendo tiempos de respuesta y aumentando la eficiencia del proceso.
- El macromedidor FMAG 8000 en comparación con otros caudalímetros, es un dispositivo que se caracteriza por su fácil manejo en la configuración de sus parámetros además de esto, cuenta con 2 tipos de software para su parametrización lo que hace que las opciones de desarrollo según lo requiera el usuario sean mucho más cómodas.
- Al realizar el modelamiento de la simulación del proyecto se lleva a cabo un análisis a profundidad de las características de cada uno de los instrumentos, comportamiento de las señales a tratar, desempeño de funcionamiento y prevención de futuros problemas al realizar una implementación
- El protocolo de comunicación a trabajar para la comunicación entre la pantalla HMI y el PLC fue PROFINET porque mantiene varias opciones en la configuración de topología y medios flexibles, existe la iniciativa de implementar un tipo de cable de fibra óptica lo que hace que su comunicación sea más rápida y fiable o, por otra parte, también se pueden implementar comunicaciones inalámbricas punto a punto o multipunto.
- TIA PORTAL es un innovador sistema utilizado en el campo de la ingeniería que permite eficientemente configurar los procesos de producción y planificación de manera intuitiva, esto hace que el desarrollo de la programación, parametrización y

diagnóstico aumente su efectividad, pues optimiza la calidad y mantiene consistencia de todo el proceso de producción.

- A través del trabajo realizado simultáneamente entre los diferentes softwares de programación tanto del PLC como de la interfaz gráfica HMI se pudo verificar y elegir las plataformas que se adecuaban perfectamente a lo que requería el desarrollo del proyecto, garantizando optimización, ahorro en presupuesto y fácil manejo del entorno simulado.
- Se dejan plasmados en una base de datos las características principales de la instrumentación hidrográfica elegida para el registro de datos de caudal y llenado de tanques, así como su comparación para una futura inversión en precios, esto para tener la seguridad de implementar la instrumentación específica y adecuada para el óptimo desarrollo e implementación del proyecto.

## Referencias

- Andrade, R. (2019). Módulo didáctico para controlar nivel y caudal de agua, mediante sistema SCADA, PLC y algoritmo PID. *Revista de investigaciones en energía, medio ambiente y tecnología: RIEMAT*, 4(2), 50-62. Obtenido de <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2196>
- Bunfil, R. (s.f.). *Serie Autodidáctica de Medición del Agua*. México. Obtenido de <http://201.116.60.182/CONAGUA07/Noticias/Electromagnetico.pdf>
- Chaparro, J. (2011). Desarrollo e Implementación de una Aplicación en LabVIEW para la Estación de Bombeo el Carmen Acueducto Metropolitano de Bucaramanga S.A. E.S.P. *Tesis de pregrado*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/13DisenoConstruccionyOperacionDeTanquesDeRegulacion.pdf>
- Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. México: Alfaomega.
- Echart, J. (2021). Automatización y control del sistema de distribución de agua Tramo Jove Rancho- Colcapirhua. *DDigital - UMSS*. Obtenido de <http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/21507>
- Endress+Hauser. (s.f.). *Información técnica Prosonic M FMU40/41/42/42/44*.
- Flores, G. (2017). Desarrollo de prácticas de automatización a través de un módulo didáctico con el PLC S7-1200 para el control automático de llenado de un tanque. *Tesis de pregrado*. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4664>
- Gómez, J. (2021). Diagramación y Actualización de los Sistemas de Control e Instrumentación en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Tunja. *Tesis de pregrado*. Tunja: Universidad Santo Tomás.

- Kinco Automation. (2008). *Kinco DTools User Manual*. Shangai.
- Kinco. (s.f). *Green Series HMI GL070/GL070E*. Shangai.
- logicbus. (10 de julio de 2019). *Logicbus*. Obtenido de Profinet CBA:  
<https://www.logicbus.com.mx/blog/profinet-cba/>
- Martínez, H. (2015). Módulo Didáctico para Prácticas de Laboratorio con Controladores Lógicos Programables. *Tesis de maestría*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/9535/1/1080214939.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución Número 0330 de 2017*. Bogotá. Obtenido de  
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>
- Rodríguez, G. (2014). Servicio de agua y drenaje de Monterrey. Monterrey, México. Obtenido de  
[https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/2015/AN\\_EAS\\_PRESENTACIONES2014/Presentaciones%20C%20y%20T/13%20Telemetria%20SADM/PRESENTACION%20TELEMETRIA%20ANEAS%202014.pdf](https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/2015/AN_EAS_PRESENTACIONES2014/Presentaciones%20C%20y%20T/13%20Telemetria%20SADM/PRESENTACION%20TELEMETRIA%20ANEAS%202014.pdf)
- Sánchez, F. (2019). Fundamentos Epistémicos de la Investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 102-122.
- Sandoval, C., Villabona, J., Rincón, A., Quintero, A., & Tarazona, B. (2018). *Diseño de un sistema de control de presión y caudal para un banco de emulación de riego empleado en PLC Mitsubishi (FX3G-14MR/ES) y su manipulación a través de un PC (Computador Portatil)*. Bucaramanga: Unidad Tecnológica de Santander. Obtenido de <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1250/3.Control%20Presion%20Caudal%20Mitsubischi.pdf?sequence=1>
- Schneider Electric. (2014). *Contraladores Lógicos Modicon M221*.
- Schneider Electric. (2016). *Módulos de ampliación Modicon TM3*.

Schneider Electric. (2017). *Manual de formación M221*. España: Instituto Schneider Electric de Formación.

Siemens. (2018). *Caudalímetros electromagnéticos SITRANS MAG 8000*.

Siemens. (2018).  
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109748101/liberaci%C3%B3n-para-el-suministro%3A-simatic-pdm-v9-1?dti=0&lc=es-AR>. Obtenido de Liberación para el suministro: SIMATIC PDM V9.1:  
<https://support.industry.siemens.com/cs/document/109748101/liberaci%C3%B3n-para-el-suministro%3A-simatic-pdm-v9-1?dti=0&lc=es-AR>

Siemens. (2021). *Paneles de Operador Basic Panels 2nd Generation*. Alemania.

Siemens Simatic. (2018). *Manuel de Sistema Controlador Programable S7 - 1200*.

Slicetex Electronics. (s.f.). <http://www.slicetex.com/>. Obtenido de UTILIZAR PLC COMO SERVIDOR MODBUS TCP (ESCLAVO):  
<http://www.slicetex.com/docs/an/an022/index.php>

Slicetex Electronics. (s.f.).  
[http://www.slicetex.com/hmi/kinco/index.php#Entorno\\_Programacion](http://www.slicetex.com/hmi/kinco/index.php#Entorno_Programacion). Obtenido de HMI>KINCO:  
[http://www.slicetex.com/hmi/kinco/index.php#Entorno\\_Programacion](http://www.slicetex.com/hmi/kinco/index.php#Entorno_Programacion)

Suárez, J., & Tipán, L. (2007). Implementación de un sistema de medición y control de nivel de agua en los pozos de un tren de laminación. *Tesis de pregrado*. Quito , Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4248>

Vera, S., & Bastidas, Z. (2017). Análisis y Diseño de un Sistema de control utilizando PLC para el proceso de Fuido y Nivel de llenado de tanques. *Tesis de pregrado*. Libertad, Ecuador: Universidad Estatal Península de Santa Elena. Obtenido de  
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4055/1/UPSE-TET-2017-0006.pdf>

Vergara, J., Molina, R., & Machado, C. (2011). Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos. *Revista de Ciencia y Tecnología*(6), 9-18. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/5055/505554810003.pdf>