

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS
PARA LA INTEGRACIÓN DE LAS MEDICIONES ANALÍTICAS DE ENTRADA Y
SALIDA DE LA PTAP TULCÁN DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE
POPAYÁN.**



**Universidad
del Cauca**

Trabajo de Grado en Automática
Modalidad: Práctica Profesional

Luisa Fernanda Paredes Erazo
104717010598

Asesor de la empresa: Ing. Ingrid Lame Cortes.
Director: Ing. Laura Bermudez Cordoba.
Codirector: Mag. Oscar Amaury Rojas.

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Programa Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, noviembre de 2022.



Hacia una Universidad comprometida con la paz territorial

Facultad Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación
Calle 2 No. 3N-100 Segundo Piso. Sector Tulcán Popayán - Cauca -
Colombia Teléfono: 8209842 Conmutador 8209800 Exts. 2453 – 2482
comunicaciones@unicauca.edu.co www.unicauca.edu.co

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS
PARA LA INTEGRACIÓN DE LAS MEDICIONES ANALÍTICAS DE ENTRADA Y
SALIDA DE LA PTAP TULCÁN DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE
POPAYÁN.**

Luisa Fernanda Paredes Erazo

Informe presentado a la Facultad de Ingeniería Electrónica y
Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca
para la obtención del Título de

Ingeniera en:
Automática Industrial

Director(a):
Ing. Laura Bermudez Cordoba

Codirector:
Mag. Oscar Amaury Rojas Alvarado

Popayán, Cauca

2022

Nota de aceptación:

Firma del director

Presidente del jurado

Firma del jurado

Popayán, 11 de noviembre del 2022

Agradecimientos

Agradezco,

A **Dios**, por haberme dado la oportunidad de estudiar, por darme las fuerzas para seguir adelante y por mi fortaleza.

A mis padres, **Luis Eduardo Paredes y Cristina Erazo**, por creer y confiar incondicionalmente en mí, por todo su apoyo y amor a lo largo de toda mi vida y principalmente por enseñarme a ser una persona honesta, humilde, respetuosa responsable y comprometida, los amo inmensamente.

A mi hermana **Isabel Sofia Paredes**, por su acompañamiento diario, ser uno de mis más grandes motivos para salir adelante y por su apoyo durante todo este tiempo.

A mis abuelos **Nubia García y Carlos Paredes**, quienes me han acompañado toda la vida, impulsándome y demostrándome cuan orgullosos que están de mí.

A las ingenieras **Ingrid Lame y Laura Bermúdez**, por haberme compartido todos sus conocimientos y brindado su apoyo para el desarrollo del proyecto.

A la universidad del Cauca por ayudar a forjar mis bases como profesional de manera académica e integral.

GRACIAS A TODAS LAS PERSONAS QUE HICIERON PARTE DE ESTE PROCESO.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	10
1.1. Objetivo General	11
1.2. Objetivos Específicos.....	11
2. Conceptualización	12
2.1. Acueducto y alcantarillado de Popayán.....	12
2.2. Proceso de tratamiento de agua potable en la planta de Tulcán.....	13
2.2.1. Etapa de control parámetros de agua cruda.....	14
2.2.2. Control caudal de entrada.....	14
2.2.3. Dosificación de sulfato y cal primaria.....	14
2.2.4. Floculación.....	14
2.2.5. Sedimentación	15
2.2.6. Filtración	15
2.2.7. Dosificación de cal secundaria.....	15
2.2.8. Cloración.....	15
2.2.9. Control de proceso.....	15
2.2.10. Almacenamiento.....	15
2.3. Sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA)	16
2.4. Instrumentación industrial.....	17
2.4.1. Sensores Industriales.....	17
2.5. HMI alto rendimiento.....	17
3. Desarrollo de la metodología	19
3.1. Ingeniería Conceptual.....	19
3.1.1. Descripción del proceso de monitoreo y control de parámetros de agua cruda y tratada en la PTAP Tulcán.	19
3.1.2. Problemática de la verificación de control de agua cruda y tratada en la PTAP Tulcán.....	23
3.1.3. Requerimientos del cliente.....	23
3.1.4. Objetivos del cliente.....	24
3.1.5. Especificaciones de funcionamiento	24
3.1.6. Especificaciones de montaje físico.....	25
3.1.7. Propuesta de diseño inicial.....	25
3.2. Ingeniería Básica.....	27
3.2.1. Diagnóstico de activos existentes.....	27
3.2.2. Diagrama P&ID del proceso de potabilización del agua.....	30
3.2.3. Definición de activos faltantes.....	32

3.2.4.	Selección de instrumentación y equipos de red.	34
3.2.5.	Arquitectura final del sistema de Adquisición y Monitoreo.....	37
3.3.	Ingeniería Detalle.	38
3.3.1.	Diagrama gabinete entrada.	38
3.3.2.	Diagrama de tuberías.	39
3.3.3.	Diagrama de control gabinete de entrada Tulcán.....	40
3.3.4.	Diagrama gabinete de salida Tulcán.	41
3.3.5.	Diagrama de comunicación gabinete de salida.....	41
4.	Implementación del sistema de supervisión y adquisición de datos en la PTAP Tulcán.	43
4.1.	Instalación Tubería Eléctrica.....	43
4.2.	Instalación de gabinete de Entrada.	44
4.3.	Instalación de soporte y sensores.....	45
4.4.	Instalación de PLC Esclavo en gabinete de salida.....	46
4.5.	Capacitación en software Delta DIAView.	48
4.6.	Configuración de comunicación entre dispositivos.....	48
4.7.	Comunicación entre dispositivos.	49
4.8.	Diagrama P&ID del proceso de potabilización del agua al implementar el sistema de supervisión y adquisición de datos.	52
4.9.	Creación del proyecto en DIAView Delta.....	54
4.9.1.	Configuración de comunicación entre PLC y HMI.....	54
4.9.2.	Pantalla proceso.	56
4.9.3.	Pantalla de tendencias de caudal.	59
4.9.4.	Pantalla de tendencias de calidad de agua.....	60
4.9.5.	Pantalla de alarmas.	60
4.9.6.	Pantalla Ficheros.	62
4.10.	Puesta en marcha del sistema de supervisión y adquisición de datos en PTAP Tulcán.	63
4.10.1.	Cierre del proyecto.	65
5.	Conclusiones.	66
5.1.	Recomendaciones.	66
	Bibliografía	108

INDICE DE IMÁGENES

Figura 2.1: Vista aérea Planta Tulcán AAPSA.	12
Figura 2.2: Vista aérea Planta Tablazo AAPSA.	12
Figura 2.3: Vista aérea Planta Palace AAPSA.	13
Figura 2.4: Diagrama de flujo por etapa y actividades en la PTAP Tulcán.	13
Figura 3.1: Ciclo de vida de un proyecto de ingeniería.	19
Figura 3.2: Vertedero	20
Figura 3.3: Tanque de almacenamiento	20
Figura 3.4: Zona de análisis fisicoquímicos.	21
Figura 3.5: Formato de informe diario PTAP Tulcán.	21
Figura 3.6: Zona ensayo de jarras.	22
Figura 3.7: Reporte ensayo de jarras	23
Figura 3.8: Propuesta de arquitectura del sistema de supervisión y adquisición de datos.	25
Figura 3.9: Dispositivos de analítica de entrada propuestos inicialmente.	26
Figura 3.10: Diagrama P&ID proceso de potabilización del Acueducto y alcantarillado de Popayán.	30
Figura 3.11: Controlador chemitec con señales de analítica de salida.	33
Fuente: Propia.	33
Figura 3.12: Gabinete de salida instalado en 2020.	34
Figura 3.13: Arquitectura final PTAP Tulcán.	37
Figura 3.14: Vista general del gabinete y sus componentes.	39
Figura 3.15: Diagrama de rutas PTAP Tulcán.	39
Figura 3.16: Diagrama de control gabinete entrada Tulcán.	40
Figura 3.17: Diagrama de control gabinete entrada Tulcán.	40
Figura 3.18: Detalle gabinete de salida Tulcán.	41
Figura 3.19: Diagrama de comunicación gabinete de salida.	41
Figura 3.20: Diagrama de comunicación gabinete de salida.	42
Figura 4.1: Instalación de tubería eléctrica, cableado de potencia y señal.	43
Figura 4.2: Antes de la instalación del gabinete.	44
Figura 4.4: Instalación soporte de sensores.	45
Figura 4.5: Instalación de sensores de analítica y sensor de nivel en vertedero.	45

Figura 4.6: Instalación junction box aqualabo.....	46
Figura 4.7: Instalación PLC gabinete de Salida.....	47
Figura 4.8: PLC Delta DVP 20SX2.....	47
Figura 4.9: Software Delta DIAView SCADA System.....	48
Figura 4.10: Interfaz de configuración HWConfig.....	49
Figura 4.11: Configuración Modbus en PLC Maestro.....	50
Figura 4.12: Verificación de comunicación de dispositivos de entrada a la PTAP Tulcán.....	51
Figura 4.13: Verificación de comunicación de dispositivos de salida PTAP Tulcán.....	51
Figura 4.14: Diagrama P&ID del proceso de potabilización del agua al implementar el sistema de supervisión y adquisición de datos.....	52
Figura 4.15: Configuración de PLC en software DIAView.....	55
Figura 4.16: Verificación de comunicación con PLC, variables recibidas en el software DIAView.....	55
Figura 4.17: Pantalla Proceso.....	56
Figura 4.18: Adquisición de variables de entrada.....	57
Figura 4.19: Adquisición de variables de salida.....	57
Figura 4.20: Display macromedidor mecánico.....	58
Figura 4.21: Indicadores de valores por fuera de los valores normales, color rojo.....	58
Figura 4.22: Tendencias caudal.....	59
Figura 4.23: Tendencias calidad de agua.....	60
Figura 4.24: Pantalla Alarmas.....	61
Figura 4.26: Filtro de fecha y hora y botón de búsqueda de datos.....	63
Figura 4.27: Visualización del Archivo .xls generado desde el sistema de adquisición y monitoreo.....	63
Figura 4.28: Sistema de supervisión y adquisición de datos en la PTAP Tulcán.....	64
Figura 4.29: Capacitación del sistema.....	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dispositivos existentes en planta Tulcán	29
Tabla 2. Dispositivos existentes en planta Palacé.	29
Tabla 3. Identificación de equipos en el P&ID.	31
Tabla 4. Dispositivos adicionales sistema de entrada.....	33
Tabla 5. Dispositivo adicional sistema de salida.	33
Tabla 6. Dispositivos que componen el Sistema de Adquisición y Monitoreo de la PTAP. Tulcán.	36
Tabla 7. Datos modbus de dispositivos esclavos en PLC maestro.....	50
Tabla 8. Identificación de equipos en P&ID final.....	53
Tabla 9. Rangos de operación variables de agua de entrada a la planta Tulcán.	61
Tabla 10. Rangos de operación variables de agua de salida planta Tulcán. ...	62

1. Introducción

La empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. tiene como misión garantizar la calidad del agua potable, superando los estándares mínimos establecidos en las normas vigentes para satisfacer las necesidades de los consumidores tanto en calidad como en cantidad [1]. Cuenta con 3 plantas Tulcán, Palacé y Tablazo; estas se encuentran actualmente en funcionamiento, llevando agua potable a diferentes sectores del municipio e implementando procedimientos específicos para el tratamiento del agua.

Concretamente, el Acueducto y Alcantarillado de Popayán requiere la automatización de la adquisición y monitoreo de los de los parámetros del agua cruda y tratada en la PTAP (Planta de tratamiento de agua potable) Tulcán, debido a que en la actualidad estos son obtenidos de forma manual en formatos impresos, archivos Excel o por llamada, lo anterior como consecuencia de la falta de instrumentación y equipos necesarios. La situación es de suma importancia dado que al ser un proceso que se realiza manualmente, no se tiene certeza de la exactitud de los datos y tampoco se pueden tomar acciones rápidas ante valores por fuera de los rangos de operación normal de las diferentes variables del proceso. El tener esta información en tiempo real con un proceso automatizado, asegura una supervisión y acción oportuna por parte de los operarios en el proceder de adición de químicos necesarios, para llevar y mantener los parámetros de agua a los valores deseados.

De acuerdo con lo anterior, el presente proyecto de práctica profesional buscar ayudar en la solución de esta problemática, con la propuesta de un sistema de adquisición y supervisión de datos, que les facilite a los operarios del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, la medición y visualización de los parámetros del agua cruda y tratada de la PTAP Tulcán.

El desarrollo de este trabajo inicia con el capítulo 1 en donde se especifica el problema que se pretende solucionar con este proyecto junto con los objetivos planteados, en el capítulo 2 se conceptualiza el proceso de potabilización del agua en el Acueducto y Alcantarillado de Popayán y se presentan algunos conceptos referentes a los sistemas de control, adquisición y monitoreo de datos, así como de HMI de alto rendimiento.

En el capítulo 3 se desarrolla la metodología utilizada para dar solución a la problemática planteada, comprendiendo las etapas de ingeniería conceptual, ingeniería básica e ingeniería de detalle.

En el capítulo 4 se muestra la implementación del sistema de adquisición y monitoreo de datos y la puesta en marcha de este y por último en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones.

1.1. Objetivo General

Proponer un sistema de supervisión y adquisición de datos que permita la Integración de las mediciones analíticas de entrada y salida del proceso de potabilización de agua de la PTAP Tulcán del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P.

1.2. Objetivos Específicos

- Especificar los requerimientos de usuario para el sistema de supervisión y adquisición de datos para la PTAP Tulcán del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P.
- Diseñar el sistema para la supervisión y adquisición de datos de las variables de entrada y salida, presentes en el tratamiento de Agua potable de la PTAP Tulcán.
- Implementar el sistema de supervisión y adquisición de datos en la PTAP Tulcán.

2. Conceptualización

2.1. Acueducto y alcantarillado de Popayán.

El Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P (AAPSA), es una empresa comprometida con la prestación eficiente de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado en términos de calidad, continuidad, oportunidad y mejoramiento ambiental, con recurso humano competente y la adopción de mejores prácticas empresariales que satisfagan los requerimientos del cliente [1]. Cuenta con 3 plantas Tulcán, Tablazo y Palace, abastecidas por los ríos Molino, Piedras, Pisojé y Cauca.

En la planta, conocida en Popayán como “el acueducto de Tulcán”, se realizan diferentes procesos de potabilización del agua (tamizado, floculación, decantación, filtración y desinfección) que le permiten a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. producir una de las mejores aguas del país apta para el consumo humano. Los cambios fisicoquímicos y bacteriológicos necesarios para que el agua sea potable se realizan en esta planta gracias a la infraestructura, tanto física como humana, encargados de garantizar la entrega del agua en cantidad y calidad [2].



Figura 2.1: Vista aérea Planta Tulcán AAPSA.

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P.



Figura 2.2: Vista aérea Planta Tablazo AAPSA.

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P.



Figura 2.3: Vista aérea Planta Palace AAPSA.
Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P

2.2. Proceso de tratamiento de agua potable en la planta de Tulcán.

El proceso de potabilización del agua en la planta Tulcán del Acueducto de Popayán S.A. E.S.P. Se divide en 10 etapas fundamentales, iniciando con la llegada del agua cruda a la planta y terminando con el almacenamiento del agua tratada [3].

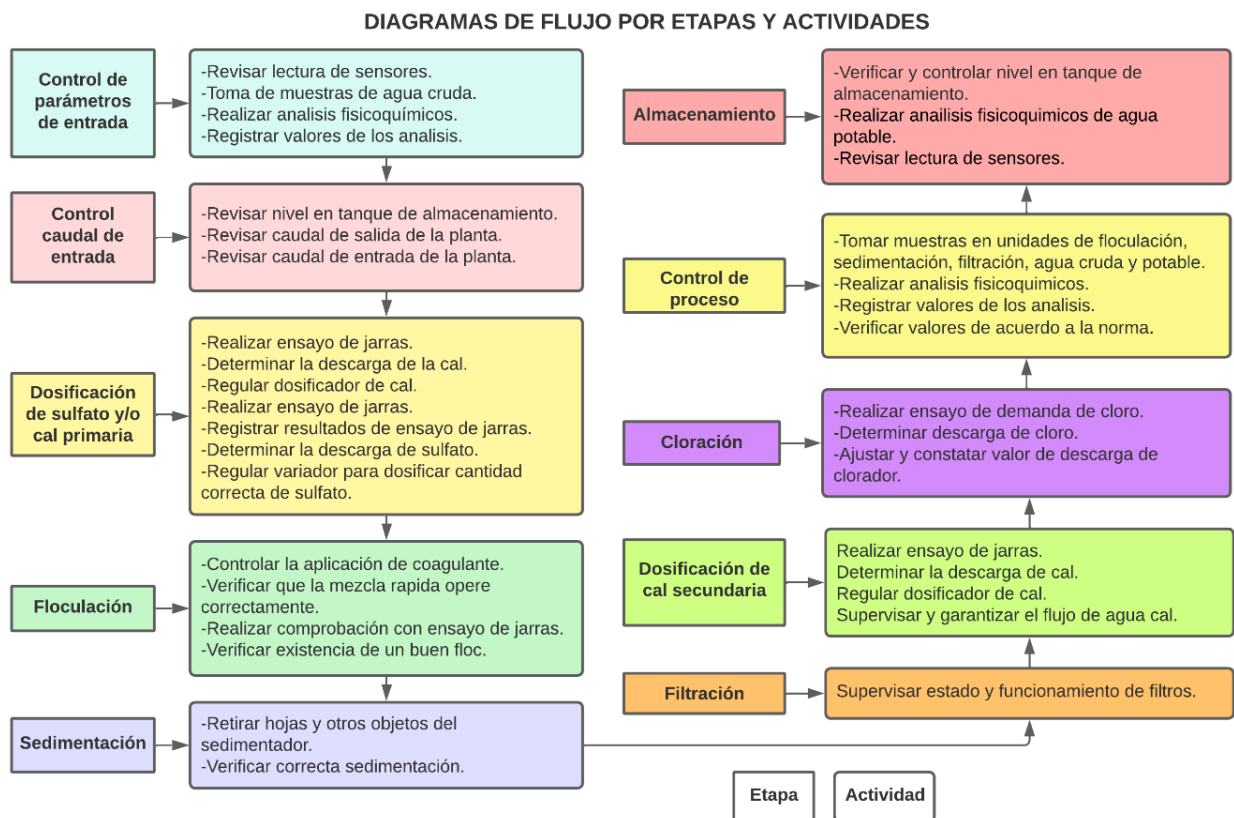


Figura 2.4: Diagrama de flujo por etapa y actividades en la PTAP Tulcán.
Fuente: Fuente Propia.

2.2.1. Etapa de control parámetros de agua cruda.

En esta etapa se comprueba a través de la lectura de los sensores las variables de turbidez, conductividad, pH y oxígeno, parámetros que garantizan la calidad del agua. Posterior a ello, se toman muestras de agua cruda con una frecuencia mínima de una hora y se evalúan en el laboratorio de Análisis Físicoquímico los siguientes parámetros: Turbidez, pH, color, alcalinidad y conductividad, los cuales serán registrados en un formato definido y servirán para tomar medidas correctivas si se requiere.

2.2.2. Control caudal de entrada.

Se revisa el nivel del tanque de almacenamiento (el nivel mínimo de operación es 2 m) y el caudal de salida de la planta, de acuerdo a estos valores, se regula el caudal de entrada del agua cruda a la planta mediante la válvula de compuerta, ubicada a un lado del vertedero la planta de Tulcán ya sea para aumentar o disminuir el caudal.

2.2.3. Dosificación de sulfato y cal primaria

Se verifican mediante análisis físicoquímicos los valores de alcalinidad y pH del agua de entrada. En este procedimiento, si los valores obtenidos son: Alcalinidad < 15 mg/t y pH < 6.5, se debe realizar un ensayo de jarras para determinar la dosis óptima de cal, se regula el dosificador para que descargue la cantidad de cal determinada anteriormente en el agua antes de entrar a los floculadores.

Para determinar la dosis correcta de sulfato de aluminio, se realiza también un ensayo de jarras registrando la información en el formato correspondiente, luego se verifica si la tolva cuenta con sulfato suficiente o hay que añadir más y por último se regula el variador de frecuencia del dosificador para que descargue la cantidad requerida.

2.2.4. Floculación

En esta fase se lleva a cabo la aplicación controlada del coagulante, esto indica que debe ser dispersado de manera constante y uniforme en toda la masa del agua. Por otra parte, se debe verificar que la mezcla rápida esté funcionando correctamente ya que debe haber una correcta turbulencia en donde se encuentra una máxima dilución del coagulante.

Se debe realizar un ensayo de jarras que corrobore que la dosis aplicada si está cumpliendo con su objetivo, así como una prueba de existencia de buen floc, esto significa que, con ayuda de una jarra de 2 L, se extrae floc del agua de salida de un floculador.

2.2.5. Sedimentación

Se retiran las hojas y otros objetos que han caído a los sedimentadores y se verifica que los sólidos que se encuentran suspendidos en el agua están descendiendo al fondo del sedimentador, significando una correcta sedimentación.

2.2.6. Filtración

Se supervisa el estado y correcto funcionamiento de los filtros.

2.2.7. Dosificación de cal secundaria

Con ayuda de un ensayo de jarras se determina si se presentan valores alterados en el agua filtrada, si esto es positivo, se define la dosis óptima de cal secundaria y subsecuente a esto se determina la descarga de cal, se regula el dosificador, supervisando y garantizando el flujo de agua cal hacia el tanque de contacto.

2.2.8. Cloración

Se lleva a cabo un ensayo de demanda de cloro para determinar la dosis óptima, consecuente a esto, se establece la descarga de cloro, se ajusta y constata que el clorador tenga una descarga superior a la del punto de quiebre obtenido en el ensayo.

2.2.9. Control de proceso.

Se toman muestras de agua en unidades de floculación, sedimentación filtración, agua cruda y potable, para realizar en el laboratorio los análisis fisicoquímicos de: Turbidez, pH, color, alcalinidad y cloro residual. Estos valores se registran en un formato y se verifican si los valores son acordes a la norma, de no ser así, se deben ajustar.

2.2.10. Almacenamiento.

En la etapa de almacenamiento cada hora se debe verificar y controlar el nivel de los tanques de almacenamiento con ayuda de compuertas de nivel, además se realizan análisis fisicoquímicos de agua potable (Cloro, pH, turbidez, color y turbidez) y se revisan las lecturas de los sensores de calidad de agua potable (Turbidez, pH, Cloro).

2.3. Sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA)

Un sistema SCADA, es un conjunto de componentes de software y hardware que permiten el monitoreo y control local o remoto de procesos industriales, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso [4]; además, permite llevar a cabo otras funciones como la generación de reportes, adquisición y análisis de datos en tiempo real; lo anterior se realiza mediante una aplicación informática que permite a los involucrados en el proceso, identificar oportunamente eventos y/o alteraciones en las diferentes variables y proporcionando información oportuna haciendo posible la toma de decisiones operacionales pertinentes [5].

2.3.1. Componentes de un sistema SCADA.

El sistema está diseñado principalmente para funcionar en ordenadores, comunicándose con dispositivos de campo como PLC, sensores, actuadores, entre otros por medio de buses de campo, y de esta manera controlar el proceso de forma automática desde la computadora [4]. Para obtener un correcto funcionamiento cuenta con ciertos componentes como unidades terminales remotas (RTU) que tienen la función de enviar señales y leer el estado de las variables analógicas o digitales, la estación maestra (MTU) se refiere a los servidores y al software responsables para comunicarse con los equipos de campo, es decir los RTU o PLC, en este se encuentra la interfaz hombre máquina (HMI), herramienta que permite la interacción entre el usuario y el proceso; además de visualizar la información en tiempo real proporcionando gráficos e información importante de los procesos.

En un sistema SCADA pequeño la estación maestra cuenta con un solo computador y la información se encuentra centralizada; sin embargo, a gran escala cuenta con muchos servidores y aplicaciones de sistemas distribuidos [6].

Para lograr la adquisición de los datos, se debe conocer que protocolos soporta cada dispositivo tanto para lectura como escritura de datos, entre los protocolos estándar se pueden encontrar modbus, profibus, opc, entre otros. Una vez se obtienen los datos, estos pueden visualizarse por medio de indicadores, tablas y tendencias en tiempo real o históricas; además, el sistema permite activar alarmas cuando se presente cualquier anomalía en el proceso, estas alertas son enviadas mediante correos electrónicos o mensajes de texto.

El software SCADA permite la creación de usuarios, administra permisos de acceso a las diferentes pantallas con el fin que solo el personal autorizado pueda realizar modificaciones dentro del sistema.

2.4. Instrumentación industrial.

La instrumentación industrial es considerada como la ciencia de la medición y el control de los sistemas automatizados; permite medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables de proceso como presión, temperatura, nivel, caudal, entre otros, con el fin de optimizar los recursos utilizados en este. La realimentación del proceso resulta esencial en procesos industriales, dado que permite medir y/o captar señales con fines de indicación, cálculo o de control, ya sea con funcionamiento manual o automático [7].

Existen distintos tipos de instrumentos como lo son sensores, transmisores, registradores, controladores, convertidores, actuadores, y elementos finales de control, los cuales forman lazos de control para automatizar y dar fiabilidad y repetibilidad a un proceso [7].

2.4.1. Sensores Industriales.

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, y son transformadas en señales eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser humedad, pH, temperatura, presión, aceleración, posición, movimiento.

Un sensor se divide en dos tipos digital y analógico, el digital a su vez se divide en dos tipos: Proximidad como lo son sensores inductivos, magnéticos, ópticos, ultrasónicos y capacitivos y se denominan así ya que siempre se acerca a la pieza, pero no hay contacto y de contacto como los switches limitadores. Estos sensores digitales tienen 2 estados 0 y 1, mientras que los sensores analógicos emiten una señal comprendida por un rango de valores que varían respecto al tiempo, por ejemplo, señales de salida de voltaje de 0-10V o de corriente de 4-20mA o -20-20mA [8].

2.5. HMI alto rendimiento.

Las interfaces hombre-maquina (HMI) son una herramienta efectiva para la seguridad y el control eficiente de los procesos, ayudando a la temprana detección, diagnóstico y respuesta adecuada ante situaciones anormales. En la actualidad desarrollar una HMI de alto nivel le permite a(los) operador(es) priorizar la respuesta a las principales o múltiples alteraciones simultáneas del sistema, debido a que se facilita la visualización de errores en las pantallas [9]. El progreso de las HMI para mejorar la usabilidad y el rendimiento van asociadas a menudo con especificaciones adicionales, diseño personalizado, implementación, consideraciones hechas por el cliente y además la funcionalidad y características aportadas por el proveedor [10].

2.5.1. Conceptos de buenas prácticas para diseño de HMI de alto rendimiento

Actualmente para diseñar e implementar un HMI con altos estándares de calidad, es fundamental apoyarse en documentos y/o estándares definidos para aplicar buenas prácticas, obteniendo resultados óptimos.

El libro *The High Performance HMI*, se centra en las mejores prácticas para diseñar, evaluar e implementar interfaces hombre maquina (HMI) adecuadas, permitiendo un alto rendimiento, seguridad, calidad, producción y rentabilidad de los procesos. Existen muchas practicas deficientes pero comunes que son reveladas en este libro, proporcionando justificaciones para el cambio y mostrando en detalle la mejor manera de desarrollar un HMI de alto rendimiento [11, 12].

El primer estándar sobre HMI de la Sociedad Internacional de Automatización, ANSI/ISA-101 es la referencia para HMI en sistemas de automatización de procesos, estableciendo practicas recomendadas e informes técnicos ayudando a que los responsables de diseñar, implementar, operar y/o administrar HMI, se alejen de los diseños clásicos dando como resultado HMI más inteligentes y de alta especificación, permitiendo a los usuarios ser más efectivos y mejorar la seguridad, calidad, productividad y confiabilidad de los procesos automatizados [13, 14, 15]. Las áreas que cubre este estándar son: jerarquías de menús, navegación en pantalla, representación de objetos, uso adecuado de colores, elementos dinámicos, alarmas, métodos de seguridad, interfaces con programación, bases de datos históricas, servidores, redes, entre otros [14].

3. Desarrollo de la metodología.

Para el desarrollo del proyecto se decidió implementar la metodología del ciclo de vida de ingeniería, la cual se desarrolla en 6 etapas: ingeniería conceptual, ingeniería básica, ingeniería de detalle, ejecución del proyecto, pruebas y puesta en marcha y finalmente cierre del proyecto.

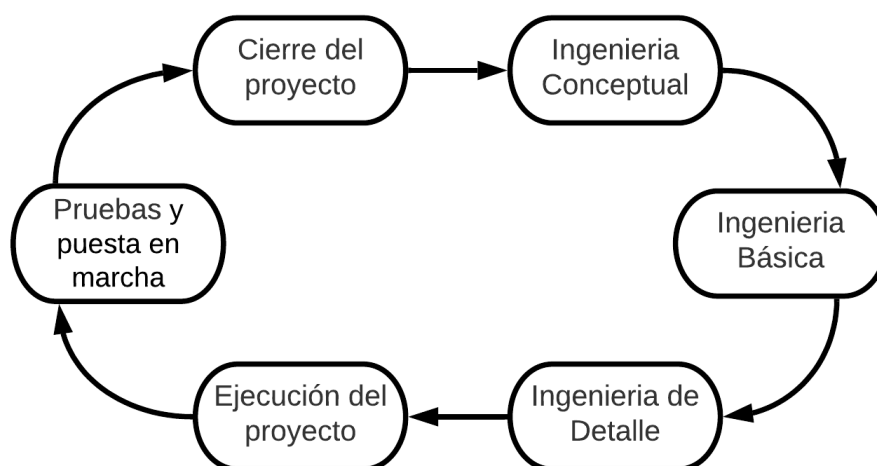


Figura 3.1: Ciclo de vida de un proyecto de ingeniería.
Fuente: HMI proyectos y consultorías S.A.C.

3.1. Ingeniería Conceptual.

En esta fase se realiza un análisis del proceso actual, estudiando los inconvenientes que se están presentando en el proceso y especificando los requerimientos del cliente.

3.1.1. Descripción del proceso de monitoreo y control de parámetros de agua cruda y tratada en la PTAP Tulcán.

El Acueducto y Alcantarillado de Popayán tiene como objetivo el monitoreo y control constante de las diversas variables importantes del proceso, centrándose específicamente en la analítica de entrada y salida de la planta. Por lo tanto, se verifica cómo se está realizando actualmente este proceso.

Inicialmente se procede a tomar dos muestras, una del agua cruda la cuál llega al vertedero ubicado contiguo al edificio del cuarto del operario y otra en el tanque de almacenamiento el cuál queda a 150 metros aproximadamente del edificio mencionado anteriormente, esto se hace de forma manual cada hora, las 24 horas del día con ayuda de frascos.



Figura 3.2: Vertedero
Fuente: Propia.



Figura 3.3: Tanque de almacenamiento
Fuente: Propia.

Al tener las muestras, son llevadas al cuarto del operario, donde disponen de una zona de trabajo para realizar los exámenes fisicoquímicos con ayuda de dispositivos especializados y con base en los resultados se determina si se debe modificar las dosis de químicos al proceso como lo son el sulfato de aluminio, cal y cloro, con el fin de regular los diferentes parámetros del agua.



Figura 3.4: Zona de análisis fisicoquímicos.
Fuente: Propia.

Estos valores se diligencian en un formato tipo Excel adecuado para tal fin, el cual se muestra a continuación:

Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P.		INFORME DIARIO DE PLANTA DE TRATAMIENTO TULCAN																		Código: FPAT.007 Versión: 6.0 Vigencia: 8/15/2020																	
FECHA DE REGISTRO: 4/02/2022		REGISTRO No. []																																			
HO RA	CAUDAL litros/s	CAL KG	CLOR Dosis	A. F. AGUA CRUDA			COAGULANTE			CAL		CLORO		LAV. FILTRO		LAV. LAV.		A. F. AGUA TRATADA			NIVEL TANQUE			HORAS FILTRACION			MOTOBOMBA			SALIDA		TOTAL l/s	OPERADOR				
				Alcalin	Cond	pH	Color	NTU	Gran	Liq	Dosis	KG	Dosis	Escala	No	Gasto	M3	FLO	SEDI	Cloro	pH	Alcalin	Color	NTU	4.50 m	4.30 m	1	2	3	N°	Enciend	Apaga	Tiempo	litros	SALIDA		
1	70	22	46.2	7.5	79	58.3		10			0.5	0							1.5	5.8	12	2	0.5	350	350	12		20							718082	47	OP 3
2	70	21	45.1	7.5	149	115.6		10			0.5	0							5.8	12	2	0.5	380	380	13		21							718087	42	OP 3	
3	70	20	44.8	7.4	302	249		15			0.5	0							5.8	12	2	0.5	410	410	14		22							718111	39	OP 3	
4	70	21	44.2	7.5	378	299		15			0.5	0							1.5	5.9	11	2	0.4	440	440	15		23							718125	39	OP 3
5	70	20	44.5	7.4	305	256		15			0.5	0							5.9	11	2	0.4	450	450	16		24							718140	42	OP 3	
6	70	21	45.8	7.5	215	166		15			0.5	0							5.9	11	2	0.4	440	440	17	1		1	6:30	9:00	2:30				718161	58	OP 3
7	90	22	44.3	7.5	190	128		15			0.6	0							1.5	5.9	12	2	0.4	420	420	18	2								718165	67	OP 3
8	90	21	45.6	7.6	123	70.8		15			0.6	0							5.9	12	2	0.4	400	400	19	5									718225	111	OP 3
9	90	21	42.3	7.5	120	64		10			0.6	0							5.8	13	2	0.4	370	370	20	4									718262	103	5
10	90	22	41.4	7.6	116	54		10			0.6	0							1.5	5.8	13	2	0.4	340	340	21	6								718300	106	5
11	90	23	42.6	7.5	93	52	30		10		0.6	0							5.7	12	2	0.4	310	310	22	6									718340	111	5
12	90	21	44.3	7.5	88	46		10			0.6	0							5.7	11	2	0.4	280	280	23	7									718378	106	5
13	90	21	46.3	7.6	94	42		10			0.6	0							1.5	5.5	11	2	0.5	250	250	24	8								718414	100	5
14	90	21	47.7	7.6	52	39		10			0.6	0							5.8	11	2	0.5	230	230	5	1	1	14:40	17:20	2:40					718449	97	5
15	90	21	47.2	7.5	39	31.5		10			0.6	0							5.6	13	2	0.5	220	220	10	2									718484	97	5
16	90	22	45.3	7.5	38	31		10			0.6	0							1.6	5.7	13	2	0.5	210	210	11	3								718518	94	5
17	90	22	46.5	7.4	35	41.2		10			0.6	0							1.4	5.6	15	2	0.5	190	190	12	4								718551	92	OP 4
18	90	22	46.7	7.4	45	27.0		10			0.6	0							5.5	15	2	0.5	180	180	13	5									718584	92	OP 4
19	90	20	46.3	7.4	44	28.3		10			0.6	0							5.6	15	2	0.5	180	180	14	6									718610	72	OP 4
20	70	20	47.2	7.4	46	24.5		10			0.5	0							5.6	15	2	0.4	190	190	15	7									718634	67	OP 4
21	70	20	47.3	7.4	49	22.9	25		10		0.5	0							1.4	5.6	15	2	0.4	200	200	16	8								718659	68	OP 4
22	70	20	47.7	7.4	33	33.4		10			0.5	0							5.6	15	2	0.4	210	210	17	8									718683	67	OP 4
23	70	20	46.3	7.4	54	39.6		10			0.5	0							5.5	15	2	0.4	230	230	18	9									718705	51	OP 4
24	70	22	46.7	7.4	72	48.2		10			0.5	0							1.4	5.6	15	2	0.4	250	250	19	11								718726	58	OP 4

Figura 3.5: Formato de informe diario PTAP Tulcán.
Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán.

La cantidad de químicos que se deben añadir al agua a lo largo del proceso, son definidos con ayuda de ensayos de jarras; se recomienda hacer 1 ensayo de jarra por cada turno, pero en ocasiones es necesario hacer más de 1, todo depende de las condiciones en las que llegue el agua a la planta.

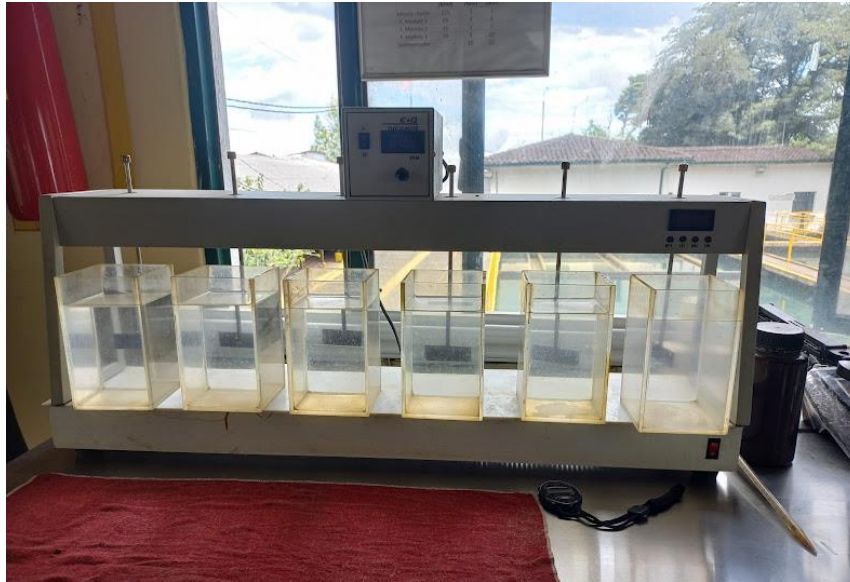


Figura 3.6: Zona ensayo de jarras.

Fuente: Propia.

Para la PTAP Tulcán los operarios deben extraer agua con ayuda de una cubeta y posteriormente llenar 6 jarras, cada una con 1.6L, luego deben encender el equipo de ensayo de jarras a la velocidad de mezcla rápida de 225 rpm, al terminar este proceso con ayuda de una pipeta de 10 ml, se agrega sulfato de aluminio en diferentes dosis para cada jarra, esto depende de la turbiedad del agua.

Una vez terminado el ensayo, se realiza el análisis de los diferentes parámetros de calidad del agua en cada una de las jarras, se comparan los resultados y se elige cuál es la dosis óptima de sulfato de aluminio para ser usado en el proceso de tratamiento de agua, la cuál es aquella que permita obtener una mayor remoción de impurezas del agua y menor turbidez con la menor cantidad de producto. Luego si es necesario obtener la dosis óptima de cal primaria y secundaria, se toma una muestra de agua cruda para la cal primaria y de agua filtrada en caso de cal secundaria.

Para definir la cantidad de cal primaria, se vierte nuevamente 1.6L en cada jarra, se mezcla y se añade la dosis óptima de sulfato de aluminio obtenida anteriormente, con la pipeta se añaden diferentes cantidades de Cal, se toman las muestras y en los resultados se analizan la alcalinidad y el pH, eligiendo la que permita tener un pH cercano a 7 y alcalinidad por encima de 20mg/L. En cuanto a la cal secundaria, se debe revolver por 5 minutos y luego se deja reposar por 10 min, esto se hace sin haber añadido sulfato de aluminio a las muestras y en los resultados se busca que el pH sea cercano a 7.

Por último, todos estos parámetros son anotados en el mismo archivo Excel mencionado anteriormente, pero en la hoja destinada para tal fin.



PRUEBA DE JARRAS PLANTA TULCAN

Operador	Fecha	Hora	AGUA CRUDA						Prueba No.	Dosis (mg/Lt)	Turbiedad (UNT)	p.H	Color (UPC)	Alcalinidad (Mg/Lt)	Tiempo de formación de floc (min)	Descarga de máquina (gr/min)
			Caudal L/mm	Alcalinidad	Conduct	p.H.	Color	Turbied								
OP 8	2/1/2022	4:00 a. m.	60	20	43.2	7.5	1950	1864	1	50	21.3	6.98	40	12	4:40	201
									2	52	12.4	6.95	21	12	4:00	
									3	54	7.5	6.91	14	11	3:50	
									4	56	5.4	6.86	10	11	3:50	
									5	58	6.9	6.84	16	10	3:50	
									6	60	12.3	6.72	23	9	4:00	
OP:11	2/1/2022	10:00 A.M	90	18	39.7	7.4	297	165	1	5	25.7	7.32	44	14	****	81
									2	10	8.21	7.21	11	13	3:50	
									3	15	1.77	7.14	4	12	2:00	
									4	20	2.23	7.07	6	11	3:20	
									5	25	2.79	6.99	8	10	3:50	

Figura 3.7: Reporte ensayo de jarras

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán.

3.1.2. Problemática de la verificación de control de agua cruda y tratada en la PTAP Tulcán.

Al identificar cómo se realiza el proceso de verificación de variables de calidad del agua en la PTAP Tulcán, se determina que no se cuenta con un sistema de monitoreo, que permita con ayuda de dispositivos de campo y control, la adquisición permanente de los datos tanto de calidad del agua, como de caudales y niveles de entrada y salida. En consecuencia, es evidente que ante un cambio crítico que suceda por fuera de los tiempos del muestreo manual cada hora, con frecuencia resultaría en una tardía acción de los operarios, debido a sobresaltos no percibidos en alguno de los valores del proceso, por lo tanto, el agua que no ha sido tratada correctamente podría llegar al tanque de almacenamiento con una calidad no adecuada, siendo difícil para los operarios corregir los parámetros del agua.

Es importante aclarar que se tiene un valor determinado en el parámetro de turbidez de entrada, en el cuál si este sobrepasa el límite de 2000 NTU, se debe parar inmediatamente la planta, ya que es considerado como un valor capaz de dañar el agua a lo largo del proceso.

3.1.3. Requerimientos del cliente.

En reuniones efectuadas con el jefe de producción del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, se definieron los siguientes requerimientos:

- Realizar la supervisión y monitoreo de las mediciones analíticas de entrada de la planta pH, turbidez, oxígeno disuelto y conductividad desde un sistema de supervisión y monitoreo del área del operario de la PTAP Tulcán.

- Realizar la supervisión y monitoreo de las mediciones analíticas de salida de la planta pH, cloro y turbidez desde un sistema de supervisión y monitoreo del área del operario de la PTAP Tulcán.
- Realizar la medición y registro del caudal de salida de la planta desde el sistema de supervisión y monitoreo del área del operario de la PTAP Tulcán.
- Visualizar y registrar el nivel del tanque de almacenamiento desde el sistema de supervisión y monitoreo del área del operario de la PTAP Tulcán.

3.1.4. Objetivos del cliente.

- Disminuir el riesgo de pérdidas de agua en el proceso por valores anormales.
- Mejorar los estándares de calidad del producto final.
- Obtener información en tiempo real.
- Actuar oportunamente ante valores anormales.

3.1.5. Especificaciones de funcionamiento

Los elementos a tener en cuenta para la implementación del sistema de supervisión y monitoreo serán dispositivos de campo que sean aptos para estar en la intemperie y expuestos a contacto directo con el agua tanto sucia como purificada todo el tiempo, así como demás requerimientos de instrumentación necesario para los equipos. Adicionalmente se debe instalar un gabinete en el cuarto del operario con el fin de obtener todas las señales y enviarlas al PC del operario, donde será dispuesta una interfaz HMI.

Se debe realizar la adaptación de tubería necesaria para la comunicación de los dispositivos en las diferentes partes del proceso.

Se incluirá un dispositivo de control Maestro en un gabinete de entrada que será ubicado en el cuarto del operario y a diversos esclavos como lo son sensores de entrada, salida y un PLC esclavo dispuesto en el gabinete de salida existente en la planta, este último contendrá parte de las señales de los sensores de salida.

Cada gabinete contará con borneras implementadas para la conexión de las señales a ser transmitidas desde y/o hacia el controlador, además de dispositivos de protección para sobretensión (DPS).

Por otro lado, para satisfacer las necesidades del sistema de adquisición se debe de disponer de algunos dispositivos nuevos, la empresa CEIINC cuenta con diferentes

proveedores aliados que ofrecen soluciones a los diferentes requerimientos del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, teniendo presente que estos dispositivos tecnológicos sean totalmente compatibles entre sí, ya sea en software o hardware.

3.1.6. Especificaciones de montaje físico

Se debe realizar un levantamiento de campo para recopilar información sobre la topografía, instalaciones existentes y condiciones ambientales del sitio en donde serán instalados los diferentes componentes del sistema de monitoreo y adquisición de datos, para esto CEIINC hace un contrato externo, donde se encargarán personas especializadas en esta área.

3.1.7. Propuesta de diseño inicial

CEIINC desarrolló la siguiente propuesta de implementación para el sistema de adquisición y monitoreo de datos en la PTAP Tulcán, teniendo en cuenta los componentes disponibles en las diferentes plantas:

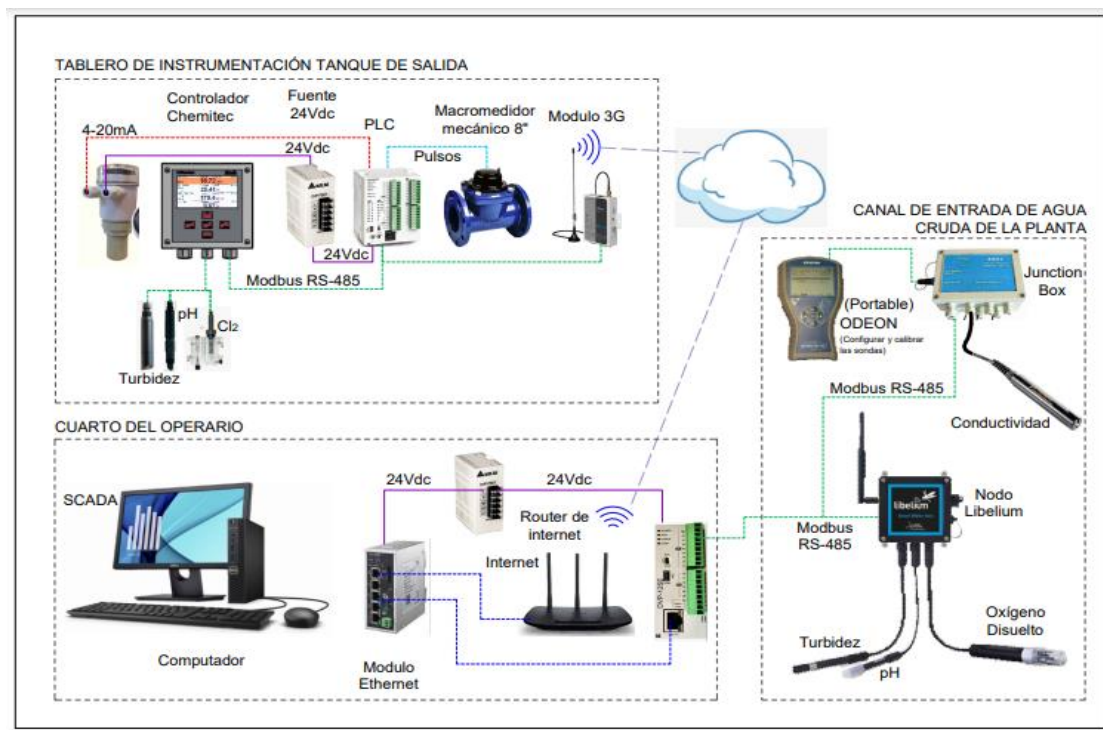


Figura 3.8: Propuesta de arquitectura del sistema de supervisión y adquisición de datos.
Fuente: CEIINC.

Para la instrumentación de salida se plantea instalar un PLC con el fin de agrupar la señal del medidor de caudal de salida de 8", de esta manera por medio de pulsos la señal llegará al PLC, donde se convertirá en unidades de caudal y esta, a través de comunicación modbus y hacia el router 3g existente, se subirá a la nube para su

posterior visualización junto con las 4 variables que se encuentran en la nube (Cloro residual, turbidez, pH y nivel de tanque de salida).

Actualmente en la entrada de agua cruda se encuentran instalados dos nodos: marca Libelium con esta disposición:

Nodo #1

Modelo: Environment Pro.

Comunicación: 4G

Sensores: 1 sensor ultrasónico de nivel.

Nodo #2

Modelo: Smart Water.

Comunicación: 4G

Sensores: 1 Sensor de turbidez Modbus, 1 sensor de pH con conexión BNC, 1 sensor de OD con conexión BNC, 1 sensor de conductividad con conexión BNC (este se encuentra claramente dañado, al parecer por un impacto mecánico).

Inicialmente, y pensando en reducir costos, se planeó integrar estos nodos libelium existentes a una red modbus para su posterior visualización en el sistema a instalar en el cuarto del operador y también mediante la nube, usando módulos RS-485 que distribuye el mismo Libelium. Se realiza la consulta con fábrica y sólo un modelo de los dos existentes se podría integrar y este es el nodo con el sensor ultrasónico de nivel, modelo Evironment Pro. Sin embargo, el sensor de turbidez debido a ser Modbus y marca Aqualabo si es posible integrarlo a la solución planteada.

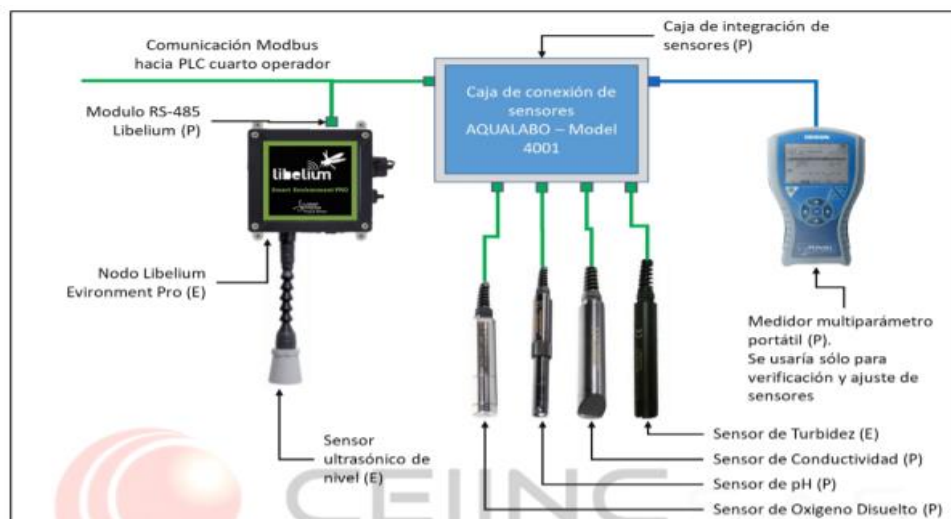


Figura 3.9: Dispositivos de analítica de entrada propuestos inicialmente.

Fuente: CEIINC.

Para la entrada de agua cruda se planea instalar una caja de integración de sensores a la cual se conectará el sensor existente (E) de Turbidez y los sensores proyectados (P) de pH, conductividad y Oxígeno disuelto. Los sensores contarán con su propio soporte que permita una fácil extracción.

En cuanto a las labores de verificación y ajuste se suministrará un medidor multiparamétrico portátil el cual se conecta directamente a la caja de integración y permite realizar estas tareas, esto permite prescindir de un controlador con display local ya que las variables se visualizan en tiempo real en el sistema de adquisición y monitoreo y de igual manera se contará con tendencias.

Para el nodo Libelium Environment Pro (E) se instalará y configurará un módulo de comunicación RS-485 para realizar la integración de la medición del sensor ultrasónico de nivel de entrada (E). En este punto se implementará una “pequeña red Modbus RS-485” donde se recoge la señal de los 5 sensores y se envía al PLC del cuarto del operario. En esta ubicación se instalará un gabinete en lámina de acero Cold Rolled para alojar tanto el PLC como la fuente a 24V DC y el módulo ethernet, además de las protecciones eléctricas requeridas como son minibreakers y dps (Dispositivo de protección contra sobretensiones).

De igual manera se instalará una tubería EMT de 3/4” con su respectivo cable de 12 AWG para llevar alimentación eléctrica al gabinete desde la caja de breakers existente y una tubería EMT 3/4” desde el gabinete del PLC del cuarto de operario hasta los sensores de entrada para llevar la alimentación 12VDC hasta los sensores analíticos y de igual manera el cable para la comunicación Modbus RS-485 hacia el PLC.


3.2. Ingeniería Básica.












En esta etapa nos centraremos en el análisis detallado de las interacciones y relación entre los diferentes equipos y componentes del sistema.

3.2.1. Diagnóstico de activos existentes.

Se realiza una inspección detallada de los dispositivos que se encontraban instalados con anterioridad en la planta Tulcán, así como de los dispositivos disponibles en las otras dos plantas, Tablazo y Palace respectivamente.

- **Dispositivos en planta Tulcán:**

Dispositivo	Tipo		Estado de operación	Protocolo comunicación	Puertos de comunicación	Integración en el sistema
Nodo Libelium	Equipo controlador de sensores		En operación	Modbus CanOPEN Wifi	RS232/485	No apto

Sensor ultrasónico de nivel Libelium	Equipo medidor de nivel		En operación	-	BNC	No apto
Sensor de turbidez modbus aqualabo	Equipo medidor de turbidez		En operación	Modbus SDI 12	RS485	Apto
Sensor de PH con conexión BNC	Equipo medidor de pH		En operación	-	BNC	No apto debido al tipo de comunicación.
Sensor Oxígeno disuelto con conexión BNC	Equipo medidor de oxígeno disuelto		En operación	-	BNC	No apto debido al tipo de comunicación.
Sensor de conductividad con conexión BNC	Equipo medidor de conductividad		Dañado	-	BNC	No apto debido al tipo de comunicación.
Controlador Chemitec	Equipo para reconocimiento, configuración y visualización de sensores Chemitec.		En operación.	Modbus RTU Profibus DP Slave CANOpen Ethernet Devicenet Modbus TCP Profinet	RS485	Apto
Sensor de cloro Chemitec	Equipo medidor de cloro.		En operación.	Modbus RTU	RS485	Apto
Sensor de turbidez Chemitec	Equipo medidor de turbidez.		En operación.	Modbus RTU	RS485	Apto
Sensor de pH Chemitec	Equipo medidor de PH.		En operación.	Modbus RTU	RS485	Apto
Junction Box Chemitec	Equipo conexión de sensores chemitec.		En operación.	Modbus RTU	RS485	Apto
Sensor de nivel SGM-LEKTRA	Equipo medidor de nivel ultrasónico.		En operación.	Modbus RTU	RS485	Apto


Macromedidor mecánico 8" Woltmann	Equipo medidor de pulsos, usado para definir caudal de salida		En operación	-	-	Apto
-----------------------------------	---	---	--------------	---	---	------

Tabla 1. Dispositivos existentes en planta Tulcán.

Fuente: Propia.

- **Dispositivos en planta tablazo:**

No se presentan dispositivos disponibles.

- **Dispositivos en planta Palace:**




Dispositivo	Tipo		Estado de operación	Protocolo de comunicación	Puertos de comunicación	Integración en el sistema
PLC Delta DVP	Equipo controlador que recibe y envía lectura de sensores.		Standby en la planta Palace por daños en el sistema.	Modbus RTU	RS485 RS232 Micro USB Ethernet (Debido a módulo adicional)	Apto
Router Ethernet delta	Equipo que permite la conexión ethernet entre dispositivos.		StandBy en planta Palace por daños en el sistema.	Modbus RTU/ASCII Modbus TCP UDP HTTP ICMP DHCP DNS SSH	RS485 RS232 4 LAN Ports	No apto, se enviará a otra planta.
Licencia para SCADA (USB Key)	USB que permite la activación de licencia del software DiaView para SCADA.		StandBy en planta Palace por daños en el sistema.	-	USB	Apto

Tabla 2. Dispositivos existentes en planta Palacé.

Fuente: Propia.

3.2.2. Diagrama P&ID del proceso de potabilización del agua.

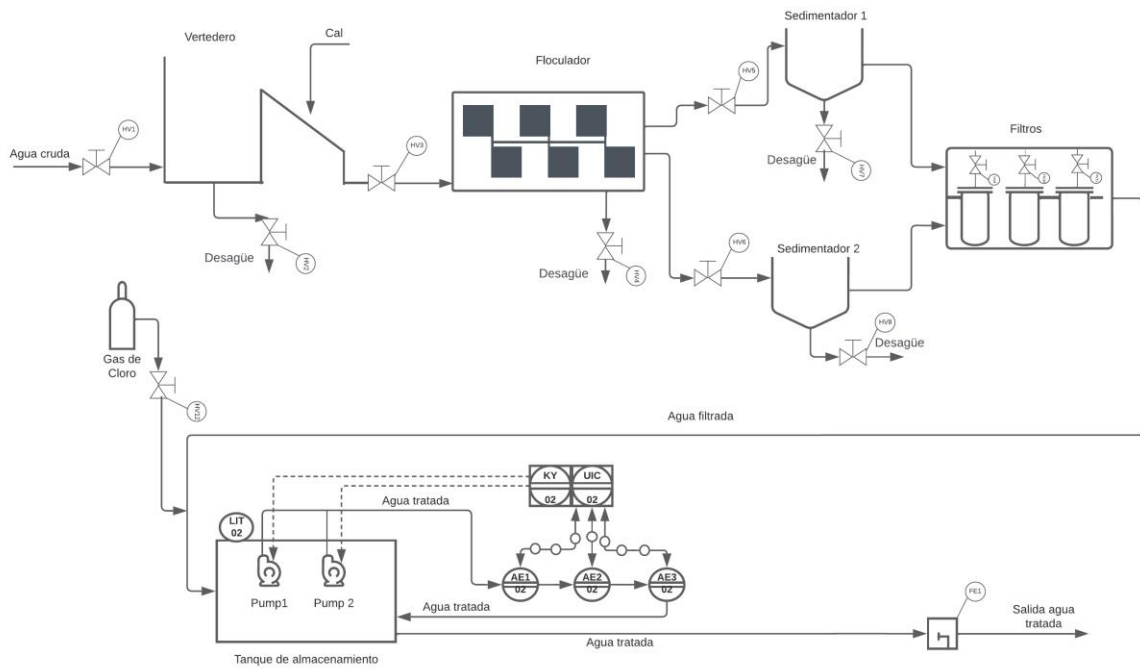


Figura 3.10: Diagrama P&ID proceso de potabilización del Acueducto y alcantarillado de Popayán.

Fuente: Propia.

Item	Descripción	IN	OUT	Tag	Rango
1	Válvula manual 1	Flujo	Flujo	HV1	-
2	Válvula manual 2	Flujo	Flujo	HV2	-
3	Válvula manual 3	Flujo	Flujo	HV3	-
4	Válvula manual 4	Flujo	Flujo	HV4	-
5	Válvula manual 5	Flujo	Flujo	HV5	-
6	Válvula manual 6	Flujo	Flujo	HV6	-
7	Válvula manual 7	Flujo	Flujo	HV7	-
8	Válvula manual 8	Flujo	Flujo	HV8	-
9	Válvula manual 9	Flujo	Flujo	HV9	-
10	Válvula manual 10	Flujo	Flujo	HV10	-
11	Válvula manual 11	Flujo	Flujo	HV11	-
12	Válvula manual 12	Flujo	Flujo	HV12	-
13	Transmisor indicador de nivel	4 - 20 mA	L (nivel)	LIT-02	0m – 5m
14	Electrobomba 1	4 – 20 mA	Flujo	Pump1	0 – 24V
15	Electrobomba 2	4 – 20 mA	Flujo	Pump2	0 – 24V
16	Sensor analizador de pH	12 - 24 V	Modbus RS485	AE1-02	0- 14pH

17	Sensor analizador de turbidez	12 - 24 V	Modbus RS485	AE2-02	0-10NTU 0-100NTU
18	Sensor analizador de cloro	12 - 24 V	Modbus RS485	AE3-02	0.01-1mg/L
19	Temporizador asimétrico	0 – 24 V	Relé	KY-02	0.1 s – 100h
20	Controlador indicador multivariable	24V	Modbus RS485	UIC-02	1 – 5 sensores
21	Medidor de caudal	0 -24V	Pulsos	FE1	0 1

Tabla 3. Identificación de equipos en el P&ID.

Fuente: Propia.

El diagrama P&ID del proceso permite observar de forma clara la interconexión de los equipos que intervienen en el proceso de potabilización del agua e identificar los instrumentos utilizados para realizar el monitoreo de algunas de las variables involucradas.

Actualmente en el vertedero no existe instrumentación que permita la adquisición de datos, por lo tanto, se los datos de pH, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto, nivel y caudal se realiza de forma manual.

El paso del agua cruda a la planta se controla por medio de la válvula HV1 la cuál es manipulada por el operario, así como la válvula HV2 de desagüe, usada cuando el agua en el vertedero no es apta para ser tratada y se desecha.

La válvula HV3 permite el paso del agua cruda al floculador, en donde se tiene un tránsito lento de agua y si se requiere el desagüe, la válvula HV4 será abierta. El agua pasará a los sedimentadores 1 y 2 si las válvulas HV5 y HV6 están abiertas, estando aquí, la mayoría de las partículas de suciedad del agua se van al fondo de los sedimentadores, dando paso a la etapa de filtración, donde existen 3 filtros con sus respectivas válvulas manuales HV9, HV10 y HV11.

Una vez el agua sea filtrada, va al tanque de almacenamiento, en este recorrido se le inyecta una dosis de gas de cloro determinada al agua, con ayuda de la válvula manual HV12.

En el tanque de almacenamiento se dispone de un transmisor de nivel ultrasónico LIT2, el cuál está dispuesto en el techo del tanque, pero no está a la vista del operario, este cuenta con un display, donde se observa el valor del nivel en el tanque de almacenamiento, así como la configuración necesaria para este sensor.

En la parte trasera del tanque de almacenamiento se instaló un gabinete, el cual contiene dispositivos de alimentación, así como 3 sensores de pH AE1-02, cloro AE3-02 y turbidez AE2-02, encargados de enviar los valores de las variables hasta un controlador indicador multiparamétrico UIC-02 usando el protocolo de comunicación

modbus RS485, el cuál reúne las señales y muestra los valores en un display inmerso en este dispositivo.

El agua tratada llega a los sensores mencionados anteriormente, con ayuda de 2 bombas sumergibles Pump1 y Pump2, estas son accionadas en un tiempo determinado, con ayuda de un temporizador asimétrico KY-02, transportan el agua del tanque de almacenamiento por una tubería y mangueras hasta pasar por cada sensor y luego devolver el agua al tanque de almacenamiento por una tubería.

3.2.3. Definición de activos faltantes.

Para definir los activos faltantes, se tiene presente la arquitectura propuesta de CEIINC mencionada anteriormente, pero se adoptan algunos cambios, ya que al realizar un estudio más a fondo de los dispositivos y la viabilidad de la implementación, se pudo determinar que algunos dispositivos ya estaban próximos a perder su garantía y/o no resultaban compatibles con la mayoría de los dispositivos ya instalados en planta, principalmente en el gabinete de salida.

Por la existencia de dispositivos instalados en el gabinete de salida que cuentan con protocolo de comunicación Modbus RS485 y por conocimientos previos sobre dispositivos de analítica de agua instalados por CEIINC, se decidió que este fuera el medio de comunicación, unificando toda la arquitectura con este protocolo de comunicación.

Finalmente, para tener una correcta implementación del sistema en la entrada de agua cruda se definen los siguientes componentes adicionales:

DISPOSITIVOS ADICIONALES DE ENTRADA	REQUERIMIENTOS
PLC Delta con modulo ethernet.	Compatible con Modbus RS485. I/O analógicas y digitales. Puerto ethernet.
Fuente de alimentación 24V.	-
Fuente de alimentación 12V.	--
1 switch Ethernet.	Mínimo 4 puertos.
1 sensor de conductividad	Compatible con Modbus RS485
1 sensor de pH	Compatible con Modbus RS485
1 sensor de oxígeno disuelto	Compatible con Modbus RS485
1 sensor de nivel ultrasónico	Compatible con Modbus RS485
1 caja de conexión para sensores	-
1 medidor multiparamétrico portátil para sensores	-

1 DPS para protección de dispositivos ante altas tensiones	-
1 DPS modbus para la protección de señales modbus.	-

Tabla 4. Dispositivos adicionales sistema de entrada.

Fuente: CEIINC.

En el sistema de agua tratada se identifica la ausencia de dos dispositivos, un PLC para la recepción y envío de señales de caudal y nivel; se decide usar el PLC disponible de la planta Palace mencionado en la Tabla 2, por ser de la misma marca del PLC propuesto en la entrada de la planta y además por tener comunicación modbus RS485 y puerto ethernet y se adicionará un dispositivo DPS para proteger los dispositivos del gabinete y sensores.

DISPOSITIVOS ADICIONALES DE SALIDA	REQUERIMIENTOS
1 DPS modbus para protección de dispositivos ante altas tensiones.	-

Tabla 5. Dispositivo adicional sistema de salida.

Fuente: CEIINC.

Es importante mencionar que, en el año 2020, CEIINC realizó la implementación de un gabinete de salida, donde se encuentran sensores de pH, cloro y turbidez para la medición de parámetros del agua tratada, estas señales son reunidas en un controlador Chemitec la cual contiene una pantalla que muestra los valores de cada sensor.

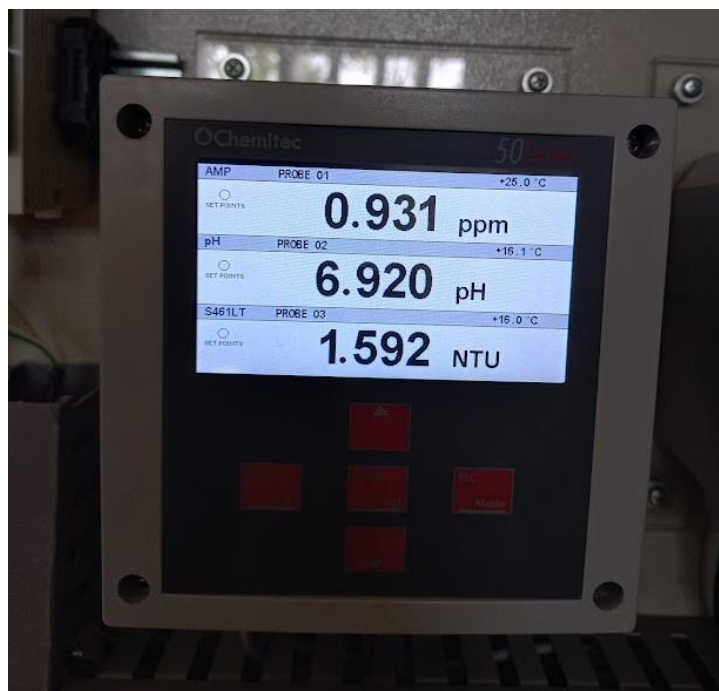


Figura 3.11: Controlador chemitec con señales de analítica de salida.

Fuente: Propia.



El agua llega a los sensores con ayuda de bombas sumergibles que están instaladas en el tanque de almacenamiento y de una tubería que va hasta el gabinete de salida; en él se encuentran ubicados estos sensores en serie, conectados por medio de mangueras, así el agua hace un recorrido continuo y es devuelta al tanque por otra tubería, por lo que no se necesita de la implementación de muchos dispositivos en esta parte del proceso.



Figura 3.12: Gabinete de salida instalado en 2020.
Fuente: Propia.

3.2.4. Selección de instrumentación y equipos de red.

Finalmente se hace la selección definitiva de dispositivos de campo y control necesarios para la implementación:

Dispositivo	Modelo	
PLC Delta con módulo ethernet	DVP20SX21	
PLC Delta	AS218 RX-A	

Fuente de alimentación 24VDC, 4.2 A	EBCHQ	
Fuente de alimentación 12V DC, 4.2 A	EBCHQ	
Sensor PH Aqualabo	SN-PPHRB-7615	
Sensor Turbidez Aqualabo	SN-PNEPB-2675	
Sensor Conductividad Aqualabo	OPTOD	
Sensor Oxígeno Disuelto Aqualabo	SN-PC4EB-6277	
Medidor multiparamétrico Aqualabo	ODEON	
Sensor de nivel vertedero Chemitec	METER	
Junction Box Entrada Aqualabo	Model 4001	
Switch Ethernet	SWINASMMMSFPCO	
Junction Box Salida Chemitec	J-BOX	

Controlador Multiparamétrico Chemitec	SERIES 50 4 PARAMETERS	
Sonda de Turbidez Chemitec	S461LT	
Analizador de Cloro Chemitec	S494/5/CL2	
Sonda de pH diferencial Chemitec	S401DIFF	
Sensor de nivel Tanque Almacenamiento Meter	METER	
Macromedidor Mecánico 8"	Woltman	
Camara para muestra medición de pH Chemitec	PSS8-B1	
Camara para muestra medición de cloro Chemitec	S305PX/494	
Cámara para muestra medición de turbidez Chemitec	PSS8-B1	
2 x DPS Phoenix Contact	PLT-SEC-T3-120-FM-PT	
DPS Modbus Phoenix Contact	TTC-6P-3-5DC-PT-I	

Tabla 6. Dispositivos que componen el Sistema de Adquisición y Monitoreo de la PTAP. Tulcán.

Fuente: CEIINC.

3.2.5. Arquitectura final del sistema de Adquisición y Monitoreo.

Una vez se realizó la elección de dispositivos para la implementación del sistema de monitoreo y adquisición de datos de analítica de agua de la PTAP Tulcán, se define la siguiente arquitectura, donde se pueden observar componentes, tipos de comunicación y equipos nuevos:

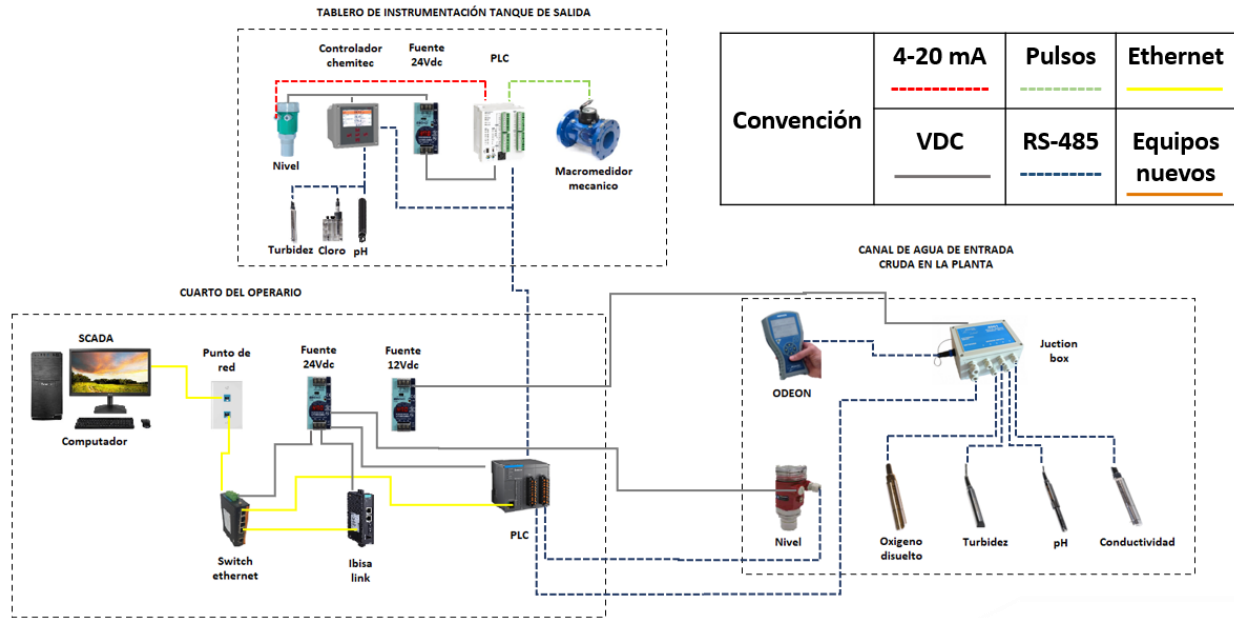


Figura 3.13: Arquitectura final PTAP Tulcán.
Fuente: Propia.

En el canal de agua de entrada a la planta se instalaron sensores de calidad de agua marca Aqualabo, ellos, proveen dispositivos e instrumentos de análisis y prueba de agua de todo tipo; en este proyecto al requerir sensores compatibles con el protocolo de comunicación modbus RS485 se decidió implementar estos sensores, ya que además de la compatibilidad en el protocolo de comunicación y fácil instalación, se pueden realizar calibraciones y configuraciones de sensores sin tener que desmontarlos con ayuda de un medidor multiparamétrico llamado ODEON. Este dispositivo ODEON se conecta a la juction box, la cual recibe las señales de los 4 sensores de pH, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez. Esta juction box también se encarga de la alimentación de estos y del envío de las señales en conjunto hacia otros dispositivos.

Por su parte el sensor ultrasónico de nivel de marca Chemitec, envía el valor del nivel al PLC ubicado en el cuarto del operario por medio de comunicación modbus RS485, este cuenta con un display inmerso, en donde se configura el sensor y se pueden los diferentes datos adquiridos.

Una vez definidos los sensores a instalar en el vertedero, se buscó un controlador lógico programable que sea compatible con la comunicación definida y contenga

entradas y salidas analógicas y digitales. Se adquiere un PLC marca Delta, ya que en el tanque de almacenamiento se usaría un PLC de esta marca ya existente en otra planta, por lo tanto, para unificar la marca y por costos se elige el PLC Delta AS, en donde se realiza la configuración del puerto modbus RS485 y se reciben las señales de entrada y salida de la planta, acondicionando las señales de ser necesario y enviándolas al PC del operario por comunicación ethernet.

En el gabinete del cuarto del operario se observa un dispositivo llamado "Ibisa Link", este dispositivo hace parte de la implementación de un sistema de digitalización del proceso en la planta, por lo tanto, se configuro también el envío de las señales hacia este dispositivo.

En el tablero de instrumentación ubicado en el tanque de almacenamiento ya se cuenta con cierta instrumentación implementada como lo son sensores de pH, turbidez y cloro marca chemitec conectados a un controlador del mismo proveedor, en donde se configuran los sensores y se visualizan las variables, además de un sensor de nivel ubicado en el techo del tanque de almacenamiento el cual contiene display para configurar y visualizar datos, pero no está a la vista del operario.

Estos sensores mencionados a pesar de ser funcionales y de tener displays no son accesibles a los operarios, ellos solo toman muestras del agua y con esto obtienen los valores de calidad del agua por lo tanto con el PLC Delta DVP ya existente en la planta Palace, se reúnen las señales del sensor de nivel Chemitec, del macromedidor de flujo y de las bombas sumergibles. El sensor de nivel envía una señal de 4-20mA y en el PLC se realiza la escalización de esta señal para obtener un valor entre 0 y 5 metros, en cuanto al macromedidor de flujo, este envía pulsos a medida que pasa el agua por la tubería y se convierte en una señal legible de caudal en el PLC, estas señales son enviadas al PLC Delta AS por medio de comunicación modbus RS485, junto con las señales del controlador chemitec que reúne las variables de pH, cloro y turbidez.

3.3. Ingeniería Detalle.

En este ítem se desarrolla toda la documentación técnica necesaria para el montaje físico del proyecto, diagramas de tuberías e instalaciones, listado detallado de instrumentos y materiales, planos eléctricos para cada una de las conexiones.

3.3.1. Diagrama gabinete entrada.

El diagrama contiene la distribución física de los componentes en el gabinete de entrada, donde se ubicará el PLC maestro.

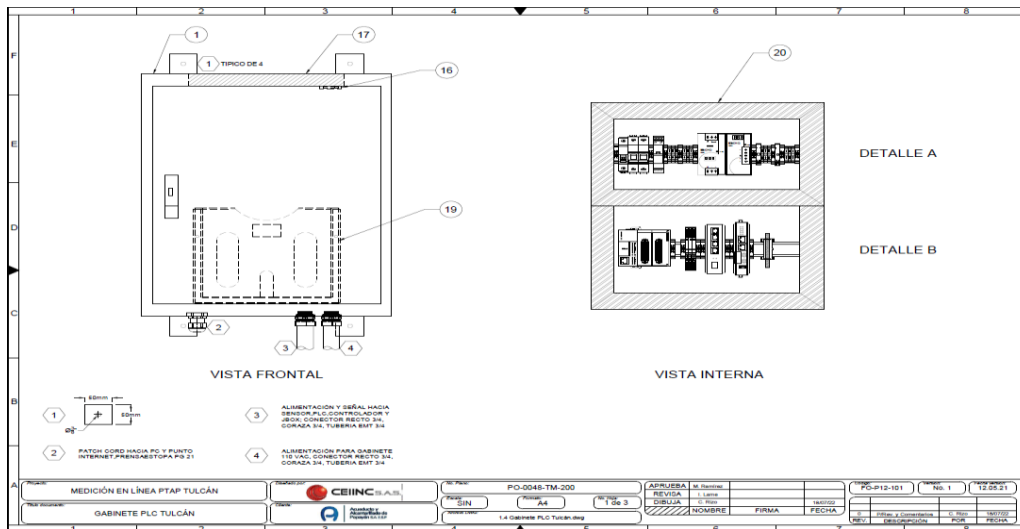


Figura 3.14: Vista general del gabinete y sus componentes.

Fuente: CEIINC.

3.3.2. Diagrama de tuberías.

Este diagrama muestra la ruta que se definió para los cables modbus de los dispositivos del gabinete de salida al gabinete de entrada.

Es importante resaltar que se usan diferentes tipos de tubería dependiendo del lugar donde se instalen, si debe estar enterrada la tubería debe ser en PVC, si está expuesta bajo techo se usa tubería EMT con todos los accesorios correspondientes y cuando es tubería sobrepuesta expuesta a las condiciones climáticas del lugar, la tubería debe ser galvanizada o IMC.

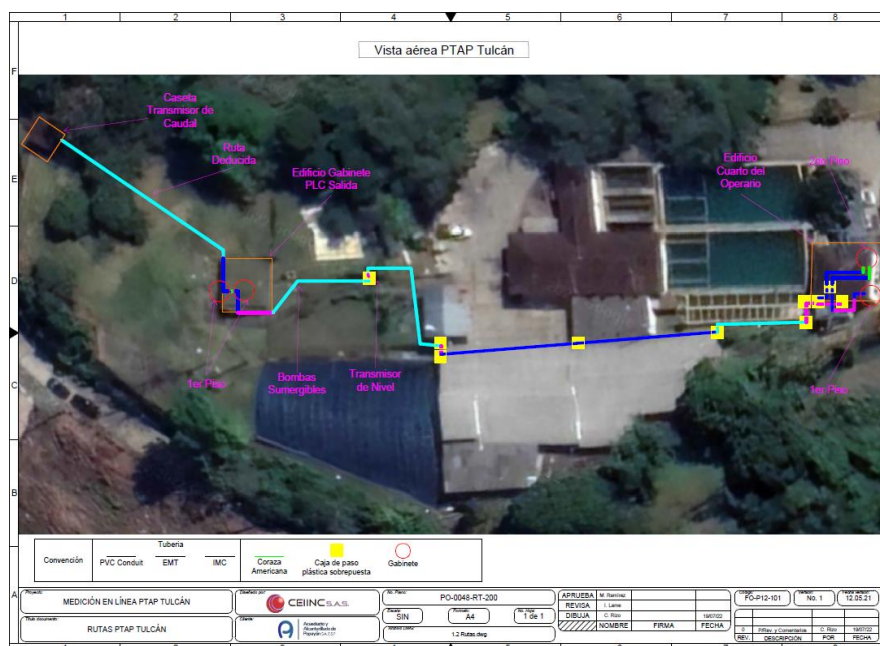


Figura 3.15: Diagrama de rutas PTAP Tulcán.

Fuente: CEIINC.

3.3.3. Diagrama de control gabinete de entrada Tulcán.

En la figura 3.15 se observa el diagrama de control del gabinete de entrada, el cuál presenta los diferentes circuitos que se integran en la implementación.

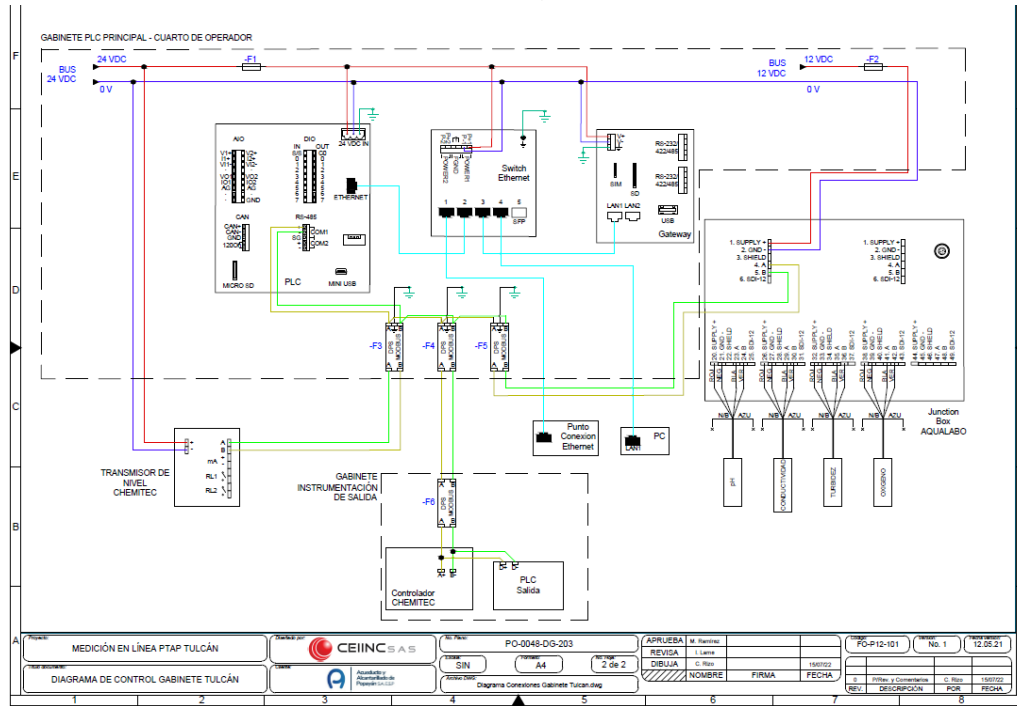


Figura 3.16: Diagrama de control gabinete entrada Tulcán.
Fuente: CEIINC.

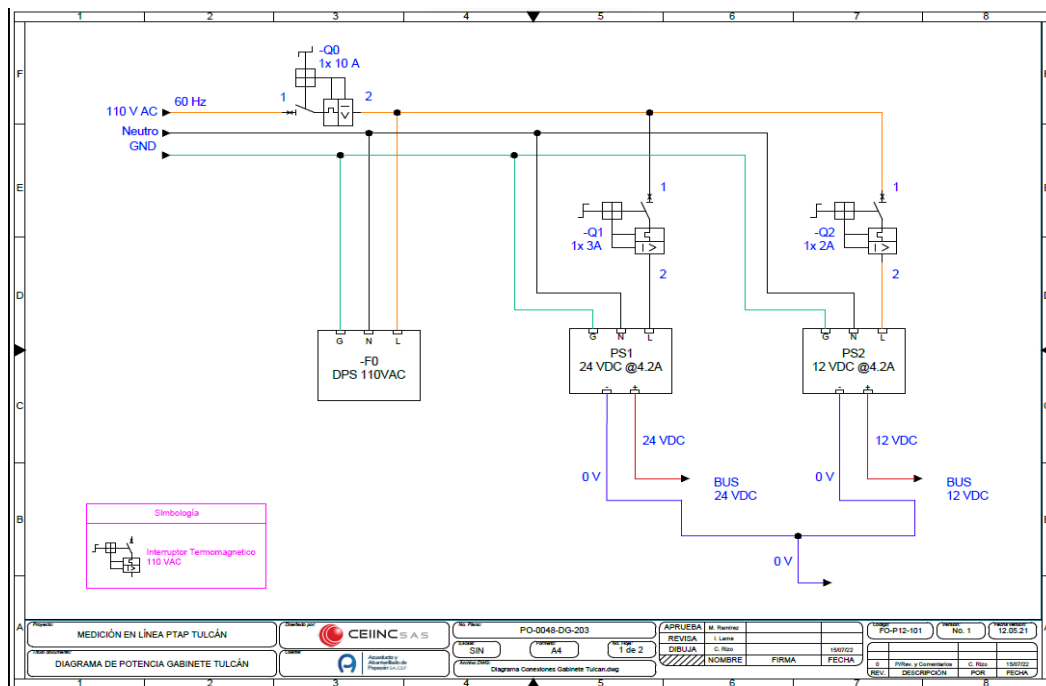


Figura 3.17: Diagrama de control gabinete entrada Tulcán.
Fuente: CEIINC.

3.3.4. Diagrama gabinete de salida Tulcán.

Se presenta en este diagrama la distribución de los componentes del gabinete de salida.

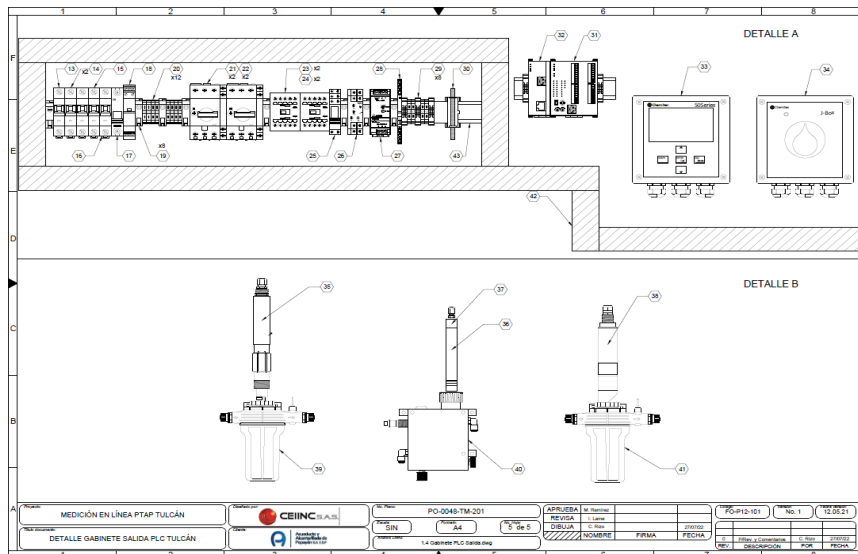


Figura 3.18: Detalle gabinete de salida Tulcán.
Fuente: CEIINC.

3.3.5. Diagrama de comunicación gabinete de salida.

En cuanto a las conexiones que se realizaron en el PLC de salida, se pueden observar en el diagrama, las señales de las bombas sumergibles, señal del macromedidor de pulsos de 8" y la señal del sensor de nivel del tanque de almacenamiento.

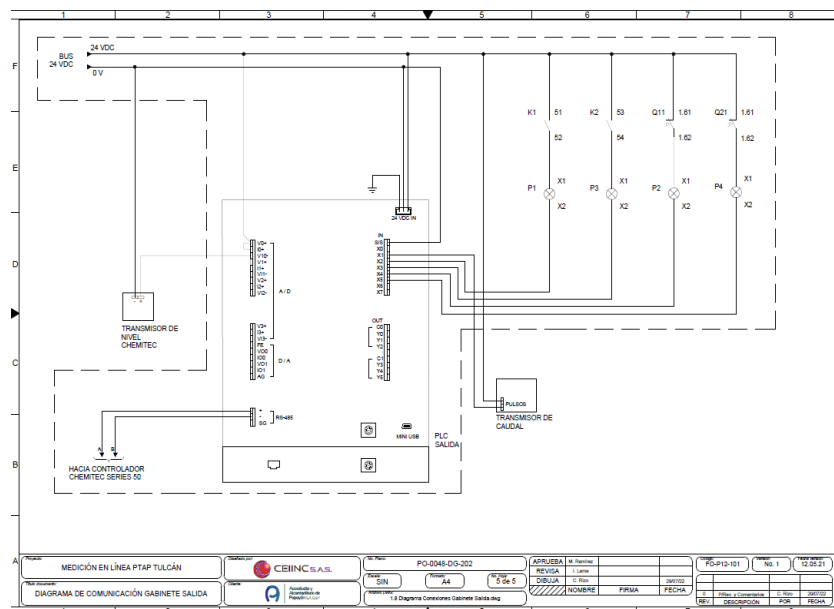


Figura 3.19: Diagrama de comunicación gabinete de salida.
Fuente: CEIINC.

En la figura 3.19 se observan las conexiones del controlador Chemitec de salida, junto con la junction box, sensores de pH, cloro y turbidez y su unión de señales modbus adicionales con la proveniente del PLC esclavo, hacia el PLC principal ubicado en el gabinete de entrada.

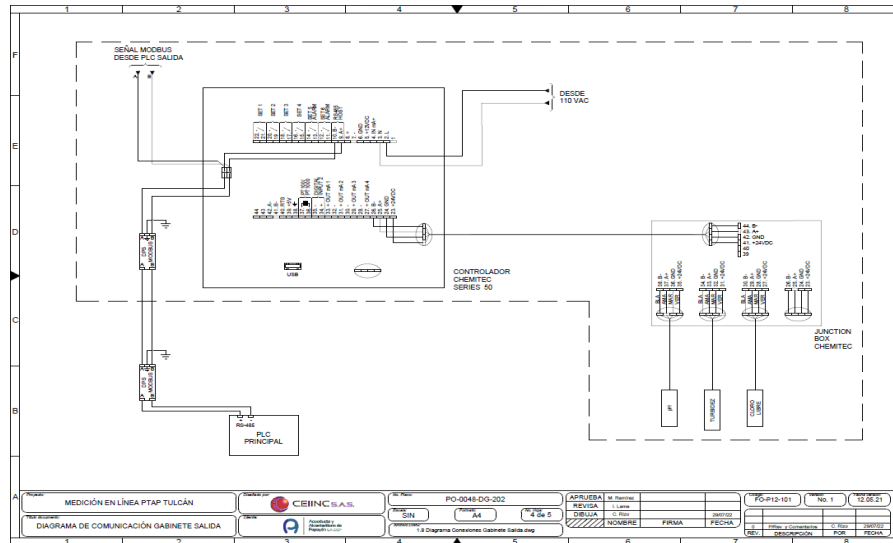


Figura 3.20: Diagrama de comunicación gabinete de salida.
Fuente: CEIINC.

4. Implementación del sistema de supervisión y adquisición de datos en la PTAP Tulcán.

Para implementar y desarrollar por completo el sistema de supervisión y adquisición, además de las adecuaciones físicas, elección e instalación de dispositivos correctos, se propone una interfaz hombre-máquina (HMI) el cual permitirá observar todos estos valores importantes del proceso.

4.1. Instalación Tubería Eléctrica.

Como se mencionó anteriormente se realizó un estudio topográfico para la instalación de tubería eléctrica que lleve las señales del gabinete de salida al gabinete de entrada. En la figura 4.1. se observa parte de las adecuaciones que se hicieron, logrando el cableado de todas las señales de implementar en el sistema hasta el cuarto de operaciones.



Figura 4.1: Instalación de tubería eléctrica, cableado de potencia y señal.

Fuente: Propia.

4.2. Instalación de gabinete de Entrada.

La instalación del gabinete de entrada se realiza en el cuarto del operario, realizando las adaptaciones pertinentes para su correcta disposición y llevando a cabo el cableado y montaje de los equipos en el mismo.



Figura 4.2: Antes de la instalación del gabinete.
Fuente: Propia.



Figura 4.3: Gabinete de entrada instalado.
Fuente: Propia.

4.3. Instalación de soporte y sensores.

Para la instalación de los sensores se usaron 2 rieles como base para adicionar los soportes de los sensores hechos en tubo PVC y sujetos con soportes en L en acero, los cuales fueron diseñados para lograr una extracción sencilla, facilitando el mantenimiento y/o cambio de los sensores.



Figura 4.4: Instalación soporte de sensores.

Fuente: Propia.

Luego de instalar satisfactoriamente los soportes, se ubicaron los sensores en cada uno de ellos y fueron conectados los 4 sensores de analítica Aqualabo en la Junction Box, enviando las señales modbus al PLC, junto con la señal del nivel.

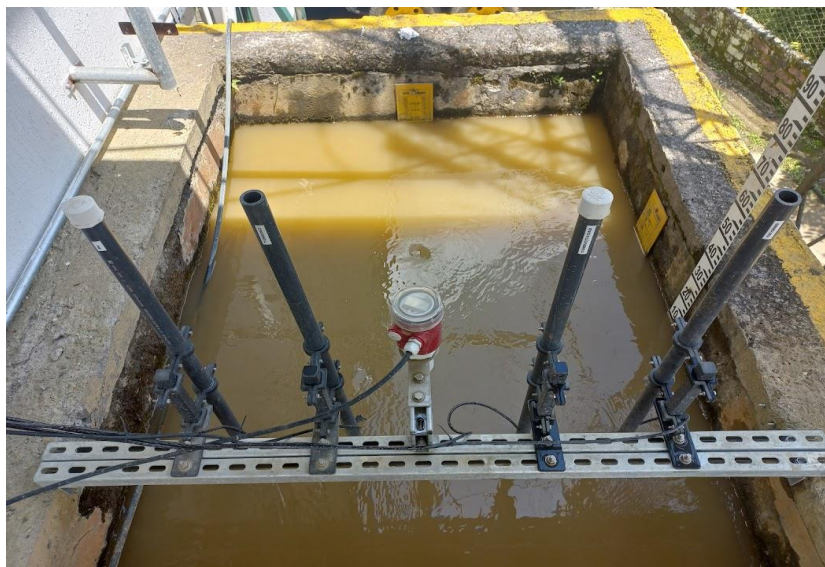


Figura 4.5: Instalación de sensores de analítica y sensor de nivel en vertedero.

Fuente: Propia.

La instalación de la Junction Box Aqualabo se realizó a un lado del vertedero, esta es sujeta por un soporte en forma de cono, con el que se protege parcialmente de las condiciones climáticas.

Internamente esta caja cuenta con 5 borneras de 6 pines cada una (Power Supply +, SDI-12, Power Supply -, B "RS485", A "RS485", Cable Shield), donde son conectados los sensores, para finalmente enviar la señal Modbus RS485 por solo 2 cables modbus hacia el PLC, en este caso el cable delgado gris que se observa en la figura 4.6.



Figura 4.6: Instalación junction box aqualabo.
Fuente: Propia.

4.4. Instalación de PLC Esclavo en gabinete de salida.

Para procesar y transmitir las señales de salida, se instala un PLC en el gabinete de salida, a este PLC se van a conectar las siguientes señales:

- Señal de pulsos macromedidor mecánico.
- Señal 4-20mA sensor de Nivel.
- Señales de contactos de bombas sumergibles.



Figura 4.7: Instalación PLC gabinete de Salida.
Fuente: Propia.

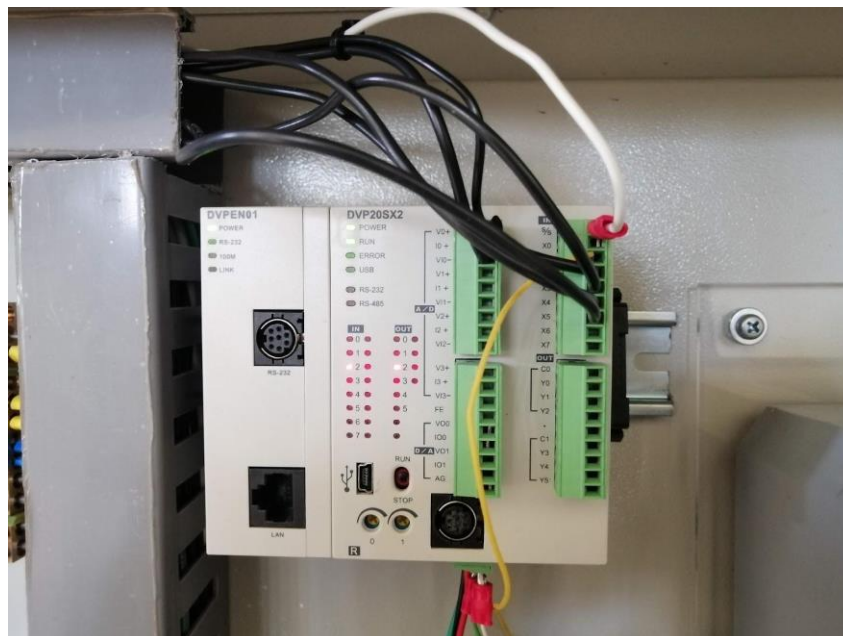


Figura 4.8: PLC Delta DVP 20SX2.
Fuente: Propia.

Es importante destacar que este PLC no cuenta con una herramienta auxiliar que permite la configuración de comunicaciones, por lo tanto, para hacer la lectura de la señal de 4-20mA se hizo necesario activar unas memorias destinadas para la activación de las entradas analógicas mediante programación y su determinada escalización para obtener un valor entendible del nivel del tanque de almacenamiento.

4.5. Capacitación en software Delta DIAView.

En la tabla 2, se mencionó la existencia y disponibilidad de una USB Key, la cual cuenta con una licencia para el uso del software DIAView, este es compatible con los PLC Delta que se instalaron en la planta.

Este software permite crear el entorno gráfico con ayuda de herramientas como gráficos básicos, ventanas de control, animaciones, eventos, alarmas, entre otros. Se cuenta con un instructivo, en el que se exponen las diferentes funcionalidades de la plataforma, desde la instalación, configuración, ambiente de desarrollo, herramientas, comunicación con los dispositivos y por último cómo realizar la ejecución del programa. Adicionalmente se cuenta con la disponibilidad de un experto en la marca Delta, con el que se realizaron diversas reuniones virtuales a fin de atender dudas e inquietudes sobre el funcionamiento del software.

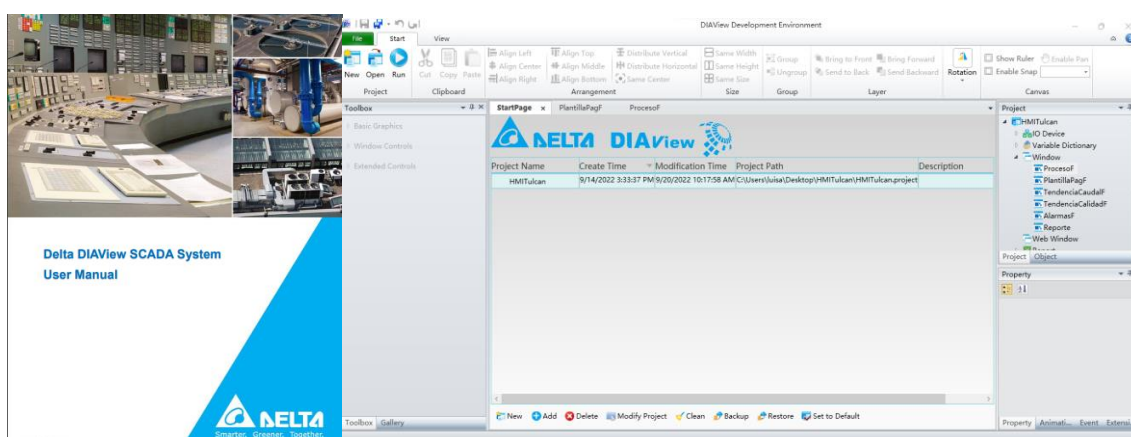


Figura 4.9: Software Delta DIAView SCADA System.

Fuente: Propia.

4.6. Configuración de comunicación entre dispositivos.

Después de instalar los equipos en la planta, se procede a realizar la configuración de comunicación entre los diferentes dispositivos.

- Comunicación entre PLC Maestro y Junction Box de sensores Aqualabo y Controlador chemitec de equipos de salida.
- Comunicación entre PLC Maestro y PLC Esclavo.
- Configuración de señales de macromedidor mecánico de 8” y sensor de nivel tanque de almacenamiento con PLC Esclavo.
- Creación del proyecto en el software DIAView.
- Configuración de comunicación entre PLC Maestro y Software DIAView.
- Creación de interfaz gráfica.

4.7. Comunicación entre dispositivos.

El software de programación usado para programar los PLC Maestro (Delta AS200) y Esclavo (Delta DVP) es ISPSOFT 3.14, en este se realiza la selección del PLC y se desarrolla la lógica de programación.

Incorporado en el software se encuentra la herramienta HWConfig, la cual se encuentra activa en este caso únicamente para el PLC AS200, donde se configura el tipo de comunicación entre los dispositivos de campo y de control de forma simple y rápida.

El protocolo de comunicación es Modbus RTU RS-485, por lo tanto, se configura el puerto correspondiente del PLC Maestro de la siguiente manera:

9600 Baudios - 8 Data Bits - None Parity Bits - 2 Stop Bit

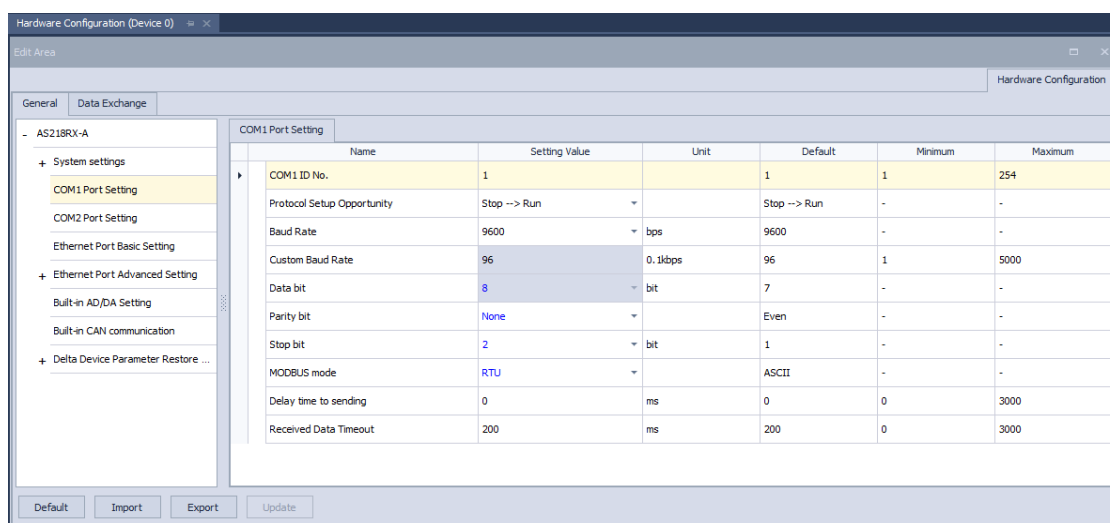


Figura 4.10: Interfaz de configuración HWConfig.

Fuente: Propia.

Luego se hace la configuración de los diferentes dispositivos esclavos en el PLC maestro, para esto primero se debe reunir la siguiente información: dirección modbus del esclavo, tipo de registro, dirección del registro, periodo de transmisión, número de medidas entre otros, estos datos se encuentran en los manuales de cada uno de los dispositivos.

Dispositivo	Señal	ID	Dirección de Registro	Número de medidas
Junction Box Aqualabo	Turbidez	40	55	5
	pH	20	55	5

	Conductividad	30	55	5
	Oxígeno Disuelto	10	57	5
Sensor de nivel Chemitec	Nivel Vertedero	2	1	5
PLC DVP 20SX2	Nivel Tanque de Almacenamiento	3	D7000 M65	60 60
	Caudal de Salida			
	Nivel Tanque de Almacenamiento			
Controlador Chemitec	pH	5	0	12
	Cloro			
	Turbidez			

Tabla 7. Datos modbus de dispositivos esclavos en PLC maestro.

Fuente: Propia.

Una vez se tiene la información presentada en la tabla 6, se realiza la configuración pertinente para que finalmente el PLC pueda reconocerlos.

Enable	Remote Station Address	Local Address	Direction	Remote Address	Quantity
<input checked="" type="checkbox"/>	40	D20040	←	55	5
		D20004	→	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>	30	D20030	←	55	5
		D20003	→	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>	20	D20020	←	55	5
		D20002	→	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>	10	D20010	←	57	5
		D20001	→	1	1
<input checked="" type="checkbox"/>	2	D60	←	1	5
		D1000	→	1001	1
<input checked="" type="checkbox"/>	3	D100	←	D7000	60
		D1100	→	D1100	1
<input checked="" type="checkbox"/>	5	D200	←	0	12
		D1200	→	1200	1
<input checked="" type="checkbox"/>	3	M65	←	M65	60
		M0	→	M0	1

Figura 4.11: Configuración Modbus en PLC Maestro.

Fuente: Propia.

A continuación, se verifica la lectura de los sensores al ser instalados en la planta; es oportuno mencionar que en la empresa CEIINC se realizaron pruebas iniciales de estos dispositivos, ya que se contaba con la disposición del PLC y sensores,

posteriormente se realiza otra prueba en planta, específicamente de los dispositivos de entrada y se realizan las pruebas de comunicación en el PLC maestro de los dispositivos de salida que ya estaban instalados.

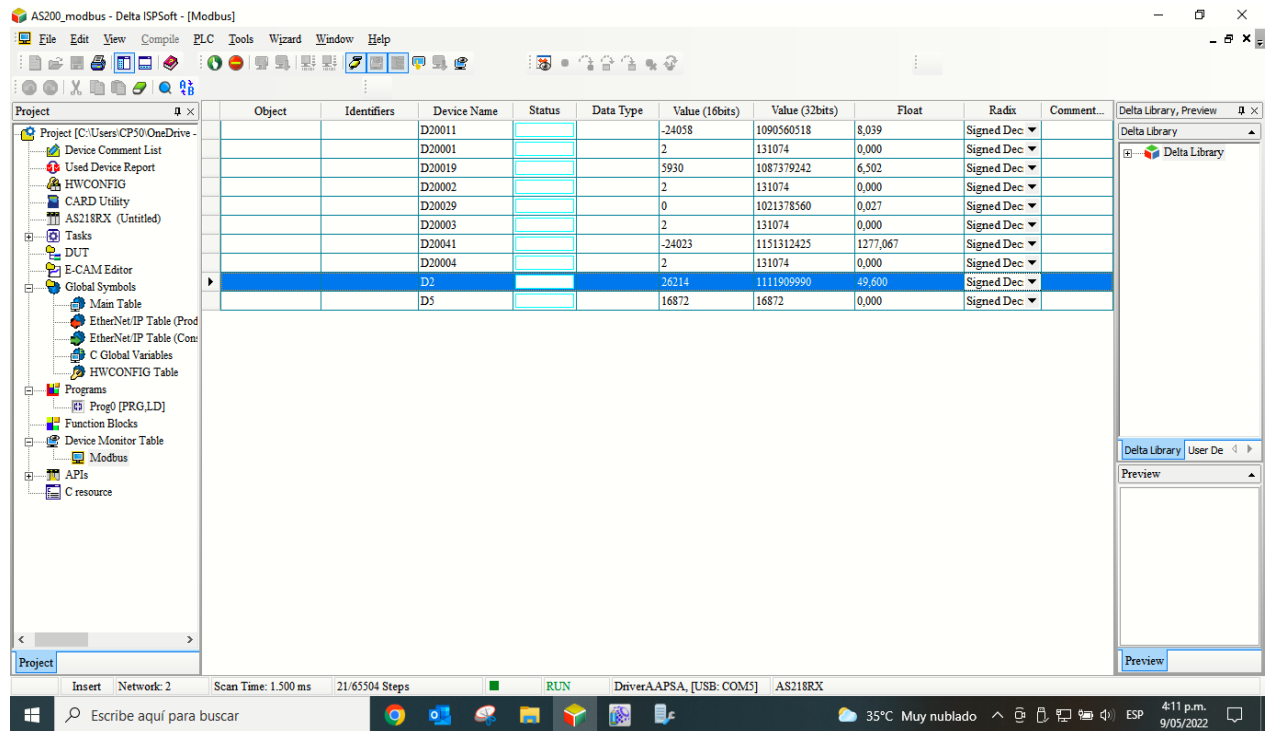


Figura 4.12: Verificación de comunicación de dispositivos de entrada a la PTAP Tulcán.

Fuente: Propia.

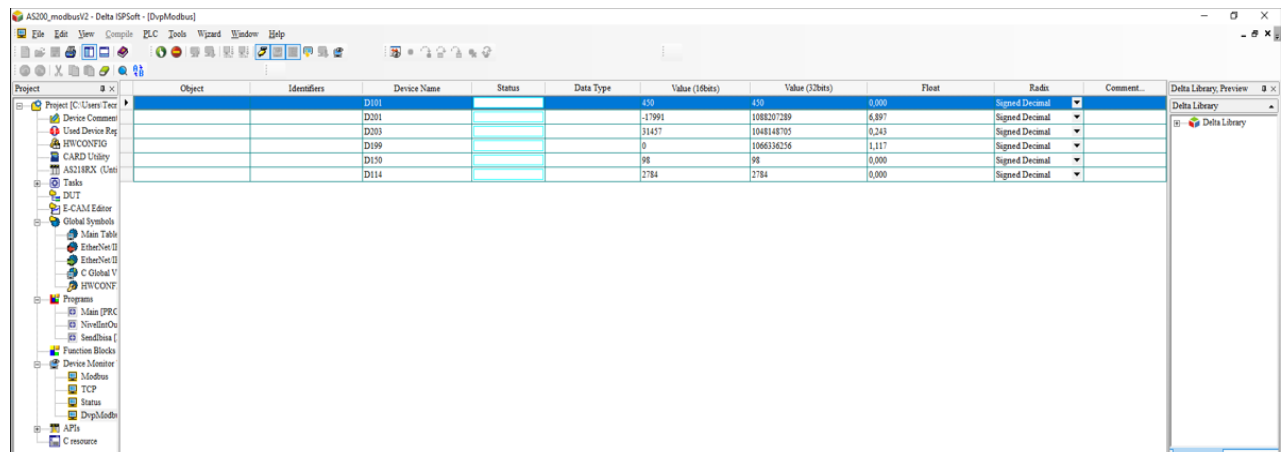


Figura 4.13: Verificación de comunicación de dispositivos de salida PTAP Tulcán.

Fuente: Propia.

4.8. Diagrama P&ID del proceso de potabilización del agua al implementar el sistema de supervisión y adquisición de datos.

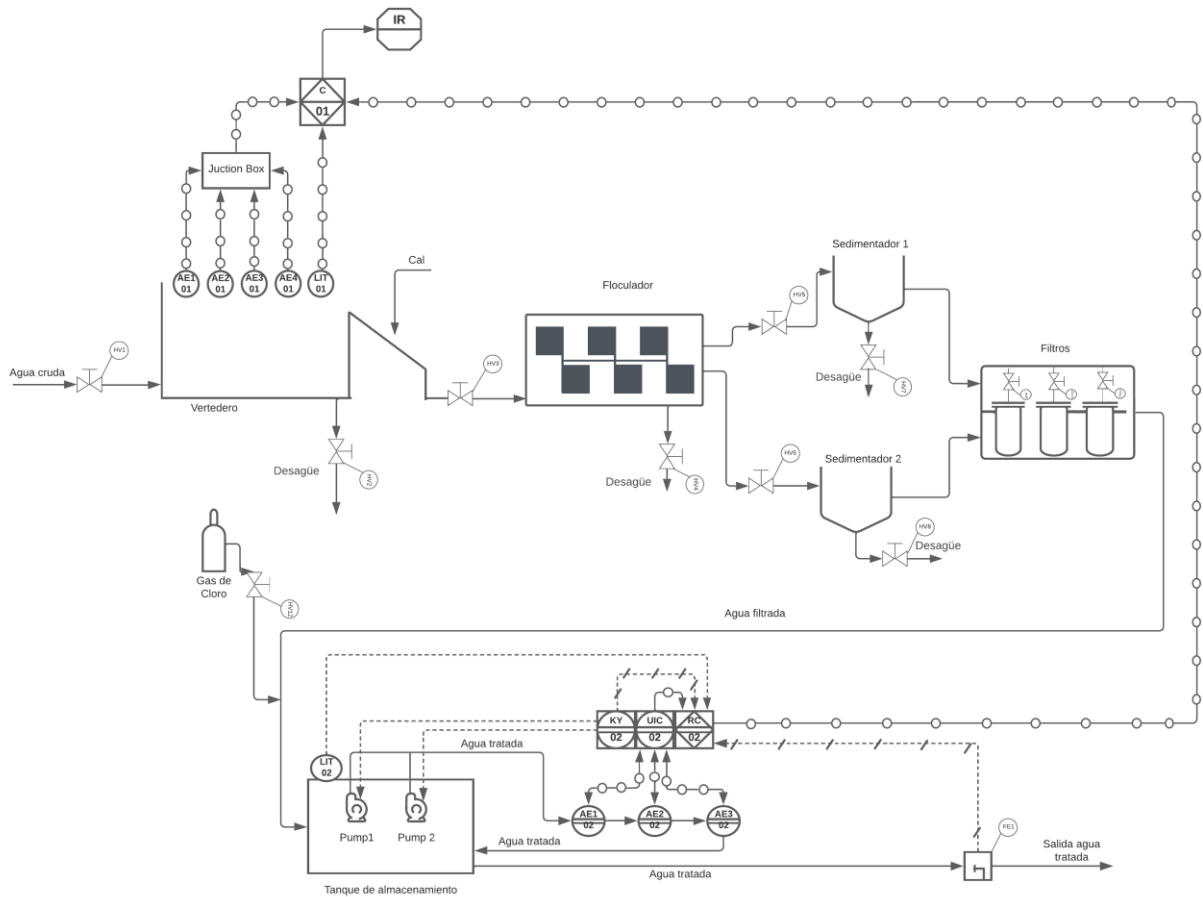


Figura 4.14: Diagrama P&ID del proceso de potabilización del agua al implementar el sistema de supervisión y adquisición de datos.

Fuente: Propia.

Item	Descripción	IN	OUT	Tag	Rango
1	Válvula manual 1	Flujo	Flujo	HV1	-
2	Válvula manual 2	Flujo	Flujo	HV2	-
3	Válvula manual 3	Flujo	Flujo	HV3	-
4	Válvula manual 4	Flujo	Flujo	HV4	-
5	Válvula manual 5	Flujo	Flujo	HV5	-
6	Válvula manual 6	Flujo	Flujo	HV6	-
7	Válvula manual 7	Flujo	Flujo	HV7	-
8	Válvula manual 8	Flujo	Flujo	HV8	-
9	Válvula manual 9	Flujo	Flujo	HV9	-
10	Válvula manual 10	Flujo	Flujo	HV10	-
11	Válvula manual 11	Flujo	Flujo	HV11	-
12	Válvula manual 12	Flujo	Flujo	HV12	-
13	Transmisor indicador de nivel	4 - 20 mA	L (nivel)	LIT-01	0cm – 25cm

14	Sensor analizador de pH	5 – 12 V	Modbus RS485	AE1-01	0 - 14pH
15	Sensor analizador de turbidez	5 – 12 V	Modbus RS485	AE2-01	0 - 10NTU 0 - 100NTU
16	Sensor analizador de conductividad	5 – 12 V	Modbus RS485	AE3-01	0 – 200 μ S/cm 0 – 2000 μ S/cm 0.00 – 20 μ S/cm 0.0 – 200 μ S/cm
17	Sensor analizador de oxígeno disuelto	5 – 12 V	Modbus RS485	AE4-01	0.00 - 20mg/L
18	Juction Box	5 – 12 V	RS485	Juction Box	1 a 5 sensores.
19	Controlador	0 – 24 V	Relay	C01	8 DI/ 6DO 2AI/ 2AO
20	Computador indicador registrador	120 – 230 VAC	-	IR	-
21	Electrobomba 1	4 – 20 mA	Flujo	Pump1	0 – 24V
22	Electrobomba 2	4 – 20 mA	Flujo	Pump2	0 – 24V
23	Transmisor indicador de nivel	4 - 20 mA	L (nivel)	LIT02	0m – 5m
24	Sensor analizador de pH	12 - 24 V	Modbus RS485	AE1-02	0- 14pH
25	Sensor analizador de turbidez	12 - 24 V	Modbus RS485	AE2-02	0-10NTU 0-100NTU
26	Sensor analizador de cloro	12 - 24 V	Modbus RS485	AE3-02	0.01-1mg/L
27	Temporizador asimétrico	0 – 24 V	Relé	KY-02	0.1 s – 100h
28	Controlador indicador multivariable	0 - 24V	Modbus RS485	UIC-02	1 – 5 sensores
29	Controlador registrador multivariable	0 – 24V	Relay	RC-02	8 DI/ 6DO 4AI/ 2AO
30	Medidor de caudal	0 -24V	Pulsos	FE1	0 1

Tabla 8. Identificación de equipos en P&ID final.

Fuente: Propia.

Una vez implementado el sistema de supervisión y adquisición de datos en la PTAP Tulcán, se observan 5 sensores en el vertedero, sensor de turbidez AE2-01, pH AE1-01, conductividad AE3-01, oxígeno disuelto AE4-01, estos 4 sensores envían los datos a la Juction Box encargada de recibir las señales por medio del protocolo de comunicación modbus RS485, este dispositivo, junto con el transmisor de nivel LIT-01 envían la información de las variables hacia el PLC ubicado en el cuarto del operario C-01.

En el tanque de almacenamiento además de la instrumentación instalada con anterioridad, se añade un controlador registrador RC-02, este reúne las señales de 4-

20 mA proveniente del transmisor indicador de nivel LIT01, señal de pulsos del macromedidor de caudal FE1 y las señales del temporizador asimétrico KY-02, en el RC-02 se realiza la programación pertinente para obtener valores entendibles para los operarios y se envían al PLC C-01, junto con las señales del controlador UIC-02 por comunicación modbus RS485.

Adicionalmente para poder observar todas estas variables se implementa en un computador del operario una interfaz hombre maquina IR en donde se indican y registran los valores enviados por el controlador C-01 por medio de comunicación ethernet.

4.9. Creación del proyecto en DIAView Delta

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se instala el software DIAView de la marca Delta en el computador del operario y se realiza la configuración de las diferentes señales que llegan al HMI, las cuales llegan al PC por medio de comunicación Ethernet con el PLC.

Se elaboró una propuesta de diseño inicial de las pantallas, tendencias, alarmas y reportes, aplicando los principios básicos de claridad, coherencia y retroalimentación presentados en las buenas prácticas del estándar ANSI/ISA 101. En consecuencia, la primera prueba de funcionamiento en campo se ejecuta examinando las mejoras necesarias con ayuda del Ing. Mauricio Ramírez del Acueducto, la Ing. Ingrid Lame de CEIINC y la Ing. Laura Bermúdez de la Universidad, hasta llegar a un diseño final.

Este diseño final cuenta con 5 pantallas: proceso, tendencias de caudal, tendencias de calidad de agua, alarmas y ficheros, donde cada una contiene una barra de herramientas en la parte inferior, con la que se pueden acceder a las diferentes pantallas, así como la visualización de la hora y fecha actuales; en la parte superior se cuenta con los títulos de cada pantalla y un botón de salir de ser necesario

4.9.1. Configuración de comunicación entre PLC y HMI.

Para configurar la comunicación del PLC con el HMI, en el software DIAView aparece la opción IODevices, en donde se pueden añadir diferentes tipos de dispositivos de diferentes marcas, se elige la opción Delta AS TCP, y se configura así:

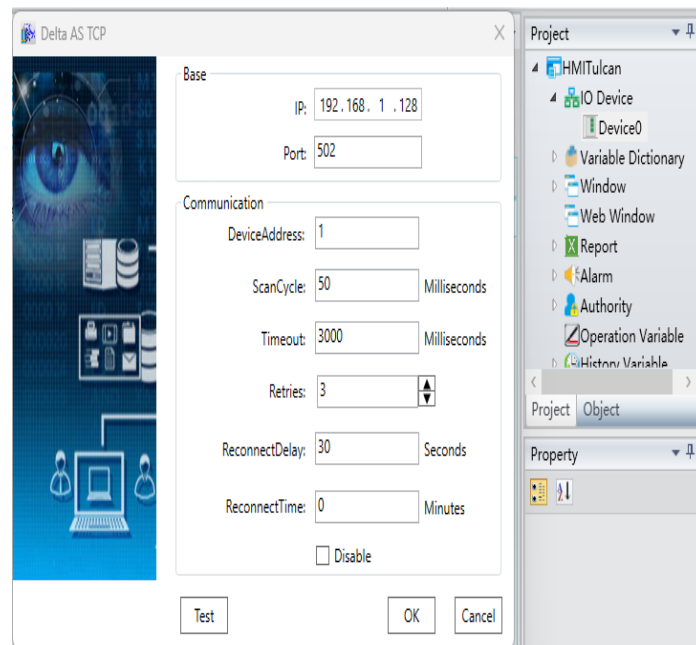


Figura 4.15: Configuración de PLC en software DIAView.

Fuente: Propia.

Una vez se confirme la conexión entre estos dispositivos y a medida que se implementa el diseño de la interfaz se van añadiendo las diferentes variables del proceso, para poder adquirirlas se debe conocer el tipo de dato, en qué dirección del PLC se encuentran ubicadas, tiempo de escaneo, definir si es una variable de lectura y/o escritura y asociarla a la variable creada dentro del entorno de desarrollo del HMI.

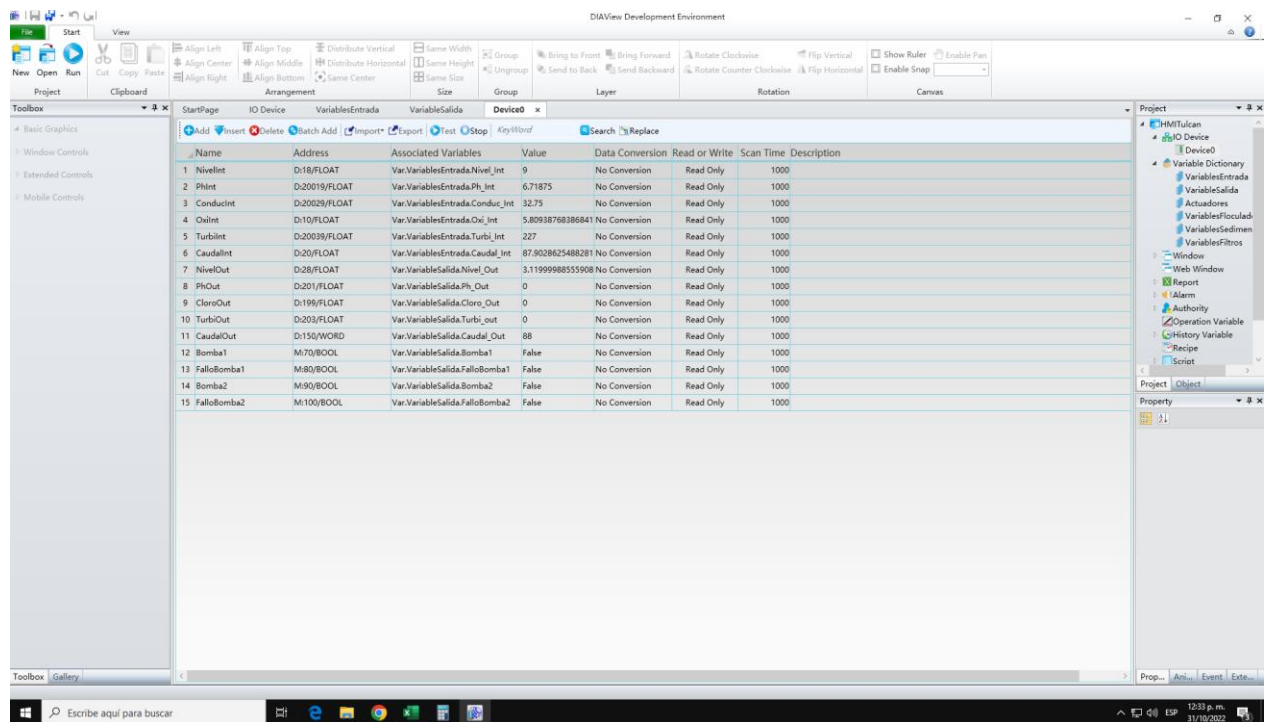


Figura 4.16: Verificación de comunicación con PLC, variables recibidas en el software DIAView.

Fuente: Propia.

4.9.2. Pantalla proceso.

Al abrir la aplicación, aparecerá inicialmente esta pantalla, siendo la más importante para los operarios, debido a que en esta se muestra el mímico del proceso, las variables de analítica relevantes, estado de algunos dispositivos y alarmas en caso de ser activadas.

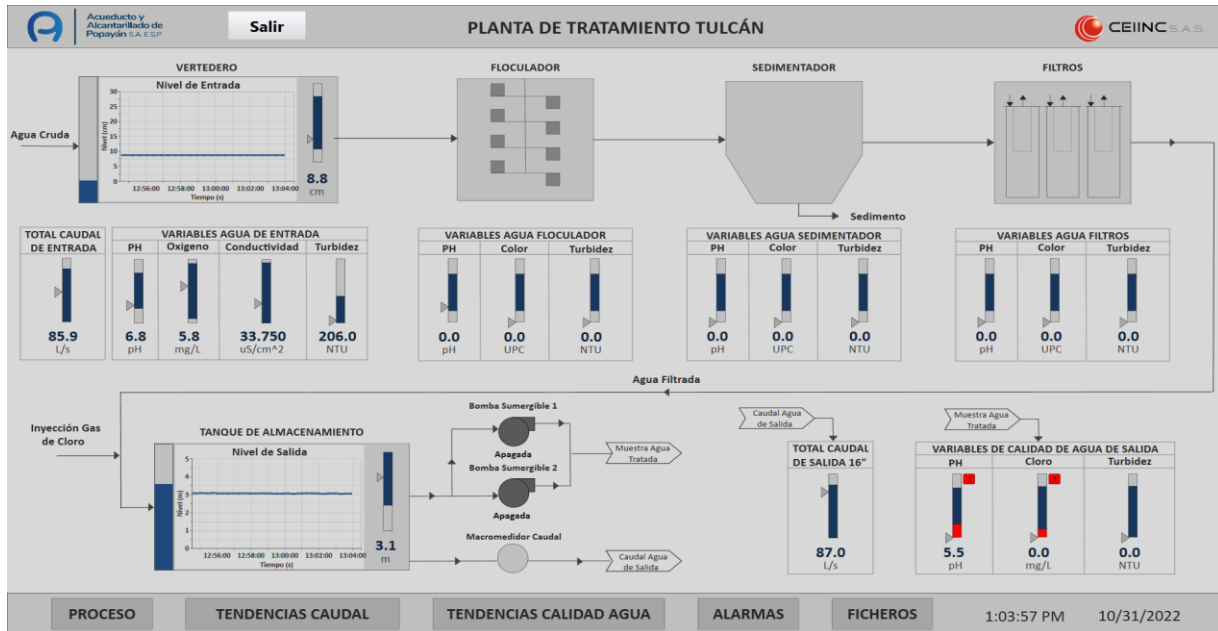


Figura 4.17: Pantalla Proceso.

Fuente: Propia.

Es preciso mencionar que en este proyecto se tienen contempladas únicamente las variables de entrada y salida de la planta, sin embargo, a futuro se pretende instalar sensores en otras etapas del proceso, como lo son floculación, sedimentación y filtración, por esto están expuestas estas etapas en la pantalla con sus variables respectivas, por lo tanto, estas permanecerán en 0.0 hasta que sean implementadas.

El proceso inicia con la entrada del agua cruda a la planta por medio del vertedero, en donde se miden 6 variables, contando cada una con rangos de operación normales y alarmas según corresponda, para la definición de las alarmas se definieron en conjunto con el Ing. Mauricio Ramírez jefe de producción, identificando las realmente importantes para este desarrollo:

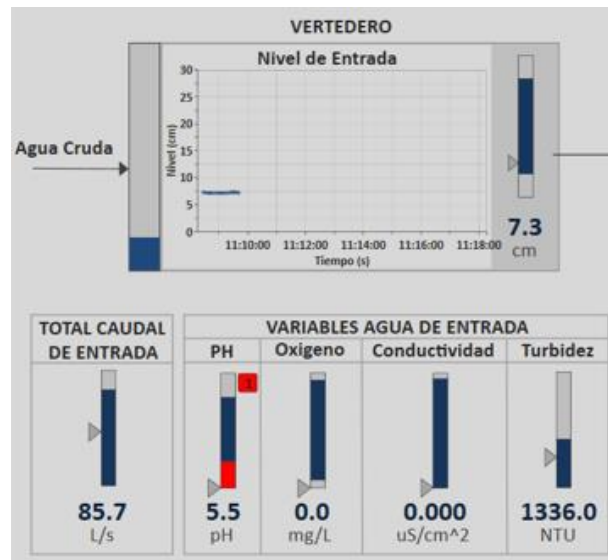


Figura 4.18: Adquisición de variables de entrada.

Fuente: Propia.

En la parte inferior de la pantalla se encuentra la representación del tanque de almacenamiento con su indicador de nivel y tendencia, el estado de las bombas sumergibles, las cuales llevan el agua del tanque a los sensores de salida, el macromedidor mecánico y contiguo en las tablas, se indican las 5 variables de analítica de salida.

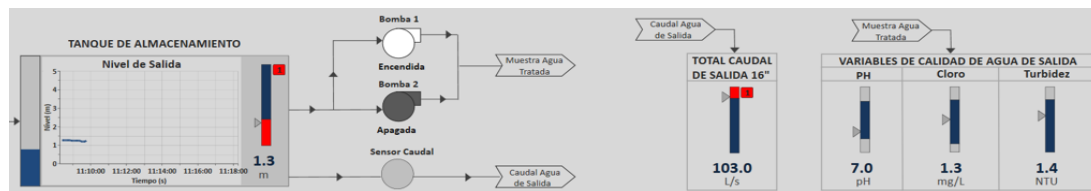


Figura 4.19: Adquisición de variables de salida.

Fuente: Propia.

Para esta implementación, el valor del caudal de salida que se muestra en la interfaz se obtuvo a partir de la definición de una fórmula, para hallarla, se investigó el funcionamiento del macromedidor y se determinó el intervalo de tiempo adecuado para actualizar este valor en la pantalla.

Antes de esta implementación los operarios cada hora debían recorrer una distancia aproximada de 250m hasta la caseta donde se ubica este dispositivo, allí apuntaban en una hoja los pulsos obtenidos del display del sensor y luego ese valor es anotado en un archivo Excel determinado, donde se usaba una fórmula para saber aproximadamente cuantos L/s pasaron en 1 hora. Se desea entonces tener valores en tiempo real, por lo que, al hacer un análisis exhaustivo, se definió un tiempo de 15 minutos en el que el PLC guarda esos pulsos y aplicando la fórmula correspondiente, se envía el valor del caudal de ese tiempo respectivo. No se hace en menos tiempo ya que no se reúnen los suficientes pulsos para tener un dato certero, y en las noches

al disminuir considerablemente el consumo de agua, los pulsos son cada vez menores, por lo que el caudal mostrado sería muy bajo.



Figura 4.20: Display macromedidor mecánico.

Fuente: Propia.

Otro aspecto importante es la visualización de alarmas, cuando algún valor supera el rango máximo o mínimo de operación, se presenta una alarma en color rojo, tanto en el indicador como en un recuadro color rojo con el número 1, que además de indicar una alarma de primer nivel sirve como acceso directo a la pantalla de alarmas dando doble clic sobre él.

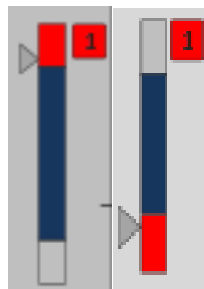
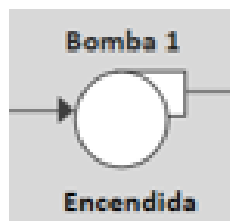


Figura 4.21: Indicadores de valores por fuera de los valores normales, color rojo.

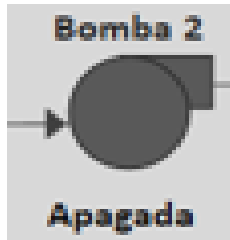
Fuente: Propia.

Por otro lado, el funcionamiento de las bombas se representa en la interfaz de la siguiente manera:

- **Bombas Encendidas:** Se visualiza la bomba de color Blanco.



- **Bombas Apagadas:** Se usa el color Gris Oscuro.



- **Bombas en Fallo:** Aparecerá un cuadro rojo en la esquina superior derecha de la bomba indicando un fallo.



4.9.3. Pantalla de tendencias de caudal.

En la pantalla de tendencias se muestra el comportamiento de caudal de entrada vs caudal de salida con respecto al tiempo. Este tipo de gráfica permite el desplazamiento horizontal y vertical por la pantalla, la descarga de imágenes de la tendencia, imprimirla, cambiar nombres, tipo de representación o color si se desea.

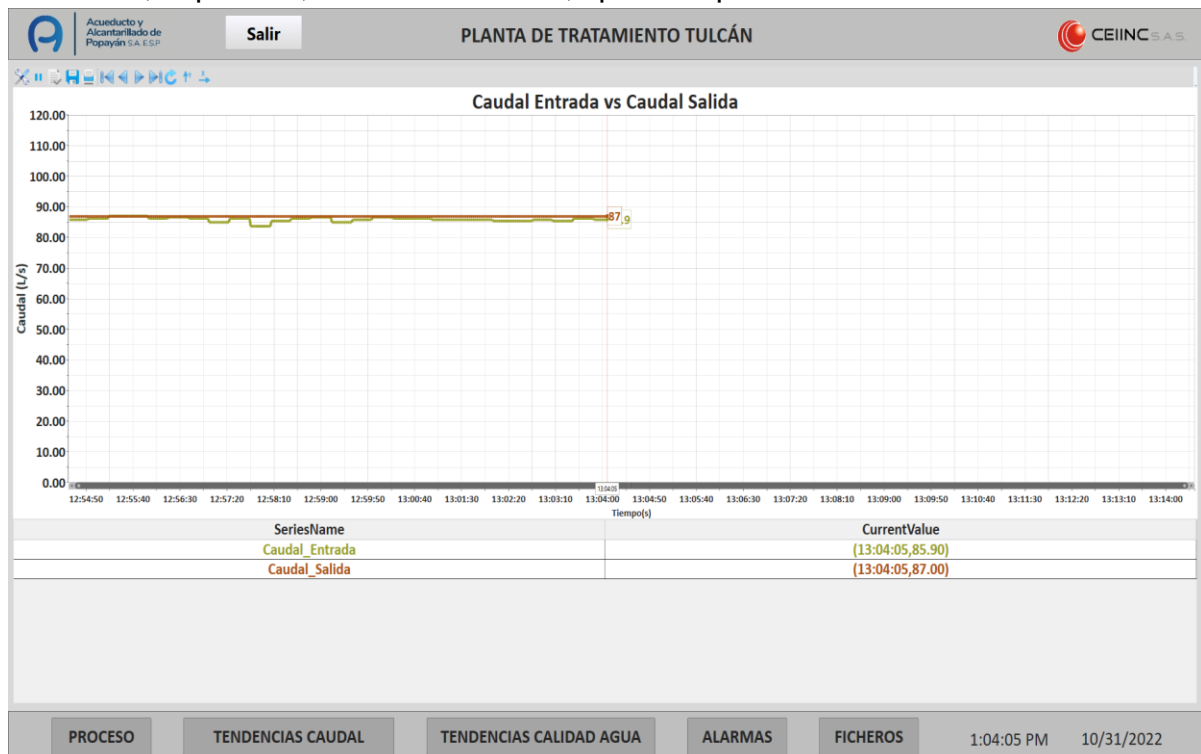


Figura 4.22: Tendencias caudal.

Fuente: Propia.

4.9.4. Pantalla de tendencias de calidad de agua.

La tercera pantalla, cuenta con 5 gráficas de tendencias donde en la parte inferior se indica el valor actual de las variables analizadas y cuenta con las mismas opciones mencionadas en el ítem anterior. Se distribuyen de la siguiente manera:

- pH Entrada vs pH Salida.
- Cloro de Salida.
- Turbidez Entrada vs Turbidez Salida.
- Conductividad Entrada.
- Oxígeno Disuelto.

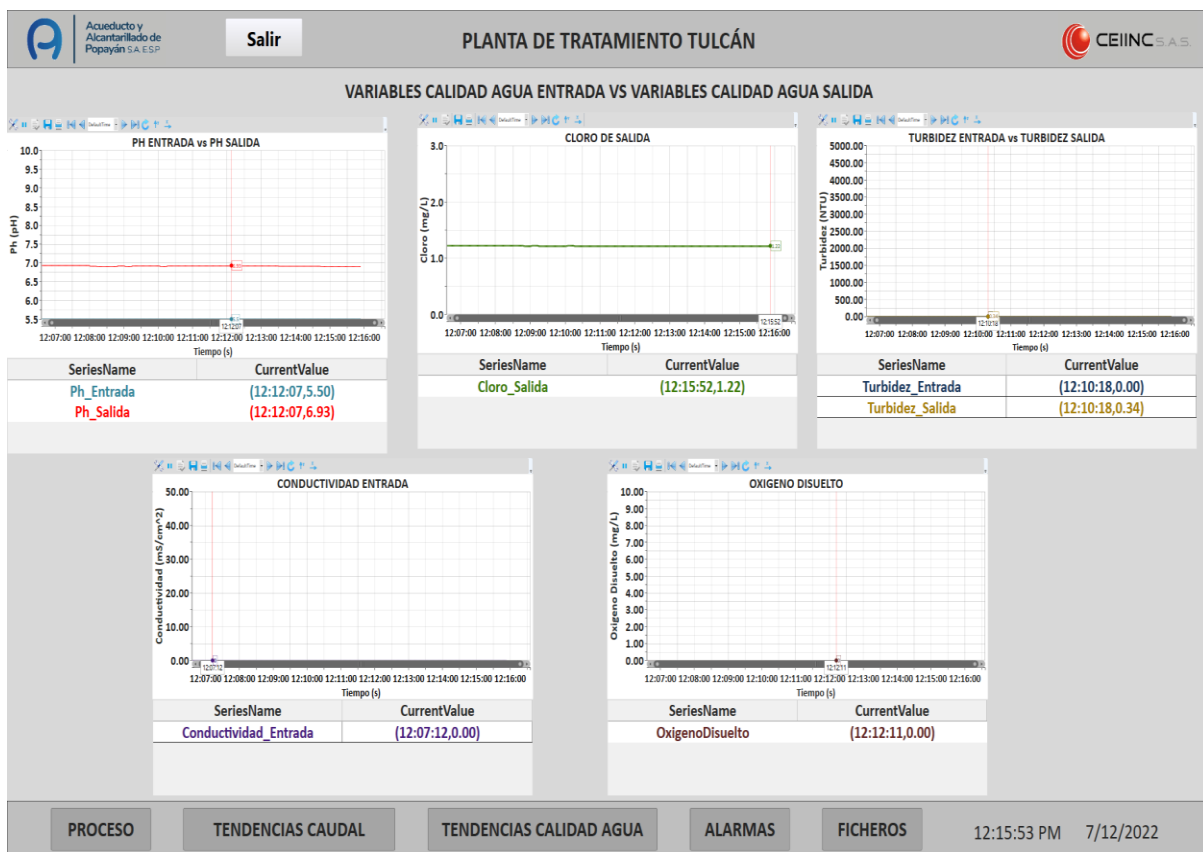


Figura 4.23: Tendencias calidad de agua.

Fuente: Propia.

4.9.5. Pantalla de alarmas.

En la cuarta pantalla se visualiza un display que comprende los detalles de las alarmas definidas para el proceso, como lo son: nombre de la alarma, fecha y hora en el cual se activó, valor de la alarma, límite inferior o superior de la alarma y descripción. Estas alarmas son representadas en color rojo, tanto en el display como en la pantalla "Proceso", y cuando el valor de las variables vuelve a sus parámetros de operación normales, la alarma pasa a ser de un color azul, lo que indica que ya se ha solucionado el problema.

Alarm Name	Trigger Time	Alarm Text	Alarm Value	Limit Value	Current Value	Description
Alarm.AlarmasProceso.Ph_Salida	10/31/2022 12:34:31 PM	Nivel Bajo Ph de salida	5.5	6.4	5.5	
Alarm.AlarmasProceso.Ph_Entrada	10/31/2022 12:34:31 PM	Nivel Bajo de Ph Entrada	5.5	6.4	6.72	

Figura 4.24: Pantalla Alarmas.

Fuente: Propia.

Para la definición de las alarmas, se realizaron varias consultas presenciales y virtuales con el jefe de producción del Acueducto, indicando los rangos de cada variable y las alarmas que considera importantes implementar.

VARIABLE	RANGO NORMAL DE OPERACIÓN	ALARMA BAJA	ALARMA ALTA
Nivel Vertedero	5 - 25 cm	< 5 cm	> 25 cm
Caudal de entrada	0 - 150 L/s	x	> 150 L/s
pH	6.5 - 9 pH	< 6.5 pH	> 9 pH
Turbidez	0 - 2000 NTU	x	> 2000 NTU
Conductividad	0 - 110 uS/cm ²	x	x
Oxígeno Disuelto	0 - 10 mg/L	x	x

Tabla 9. Rangos de operación variables de agua de entrada a la planta Tulcán.

Fuente: Propia.

VARIABLE	RANGO NORMAL DE OPERACIÓN	ALARMA BAJA	ALARMA ALTA
Nivel Tanque Almacenamiento	1.5 - 4.5 m	< 1.5 m	> 4.5 m
Caudal de Salida	0 - 100 L/s	x	> 100 L/s
pH	6.5 - 9 pH	< 6.5 pH	> 9 pH

Turbidez	0 - 2 NTU	x	> 2 NTU
Cloro	0.3 - 1.5 mg/L	< 0.3 mg/L	> 1.5 mg/L

Tabla 10. Rangos de operación variables de agua de salida planta Tulcán.

Fuente: Propia.

4.9.6. Pantalla Ficheros.

Por último, se encuentra la pantalla Ficheros, la cual permite a los operarios e ingenieros la búsqueda de datos del proceso en fechas determinadas en un formato tipo informe histórico, permitiéndoles hacer un seguimiento a los valores de la planta, así como la descarga de estos formatos en archivos tipo Excel (Extensión .xls) para ser presentados en reportes de producción ante administrativos.

El diseño u organización de este formato se definió por formatos ya existentes en las plantas de Tablazo y Palace, los cuales cuentan con sistemas SCADA ya implementados, y se configuró para guardar los valores cada hora, obteniendo por día un reporte de las 24 horas.

Fecha	Caudal Int	Nivel Int	Ph Int	Turbidez Int	Conductividad Int	Oxígeno Disuelto Int	Caudal Out	Nivel Out	Ph Out	Turbidez Out	Cloro Out
2022/10/31 00:00:00	78.09	3.03	6.88	116.5	42.25	5.73	33	3.03	5.5	0	0
2022/10/31 01:00:00	78.09	3.19	6.91	109	42.5	5.76	28	3.19	5.5	0	0
2022/10/31 02:00:00	79.6	3.42	6.91	110.5	42	5.78	26	3.42	5.5	0	0
2022/10/31 03:00:00	79.6	3.66	6.91	129	42	5.8	25	3.66	5.5	0	0
2022/10/31 04:00:00	81.52	3.89	6.91	187	41	5.81	25	3.89	5.5	0	0
2022/10/31 05:00:00	88.29	3.94	6.78	464	30.25	5.8	31	3.94	5.5	0	0
2022/10/31 06:00:00	87.12	3.88	6.5	1448	18.5	5.81	50	3.88	5.5	0	0
2022/10/31 07:00:00	87.9	3.92	6.38	1800	13.81	5.83	76	3.92	5.5	0	0
2022/10/31 08:00:00	85.9	3.92	6.53	1416	19.5	5.86	83	3.92	5.5	0	0
2022/10/31 09:00:00	83.34	3.84	6.59	672	22.38	5.87	92	3.84	5.5	0	0
2022/10/31 10:00:00	81.52	3.62	6.66	478	26.38	5.88	97	3.62	5.5	0	0
2022/10/31 11:00:00	84.22	3.39	6.69	334	29.38	5.88	94	3.39	5.5	0	0
2022/10/31 12:00:00	85.9	3.18	6.72	262	31.75	5.84	90	3.18	5.5	0	0
2022/10/31 13:00:00	86.72	3.08	6.75	215	33.5	5.8	87	3.08	5.5	0	0

Figura 4.25: Pantalla ficheros.

Fuente: Propia.

Esta ventana de alarmas ya viene predefinida en el software y se examinó la posibilidad de que la barra de herramientas que contiene en la parte superior izquierda tuviera una mejor visualización, lastimosamente no se puede agrandar, por lo tanto, se considera usar filtros de tiempo y un botón que permita la búsqueda de información en los intervalos de tiempo definidos de manera más cómoda.



Figura 4.26: Filtro de fecha y hora y botón de búsqueda de datos.
Fuente: Propia.

Fecha	Caudal Int	Nivel Int	Ph Int	Turbidez Int	Conductividad Int	Oxigeno Disuelto Int	Caudal Out	Nivel Out	Ph Out	Turbidez Out	Cloro Out
2022/09/20 15:00:00	84.22	3.36	7.56	24	52.25	7.34	0	3.36	6.95	0.6	1.19
2022/09/20 16:00:00	84.64	3.19	7.56	18.12	53.5	7.14	81	3.19	6.98	0.63	1.19
2022/09/20 17:00:00	83.78	3.13	7.53	16.88	54.25	7.02	77	3.13	6.97	0.57	1.2
2022/09/20 18:00:00	84.22	3.13	7.53	15.44	55	7.02	73	3.13	6.98	0.55	1.04
2022/09/20 19:00:00	84.64	3.22	7.53	14.81	55.75	7.08	64	3.22	6.97	0.52	1.2
2022/09/20 20:00:00	86.72	3.34	7.5	12.5	56.5	7.12	63	3.34	7	0.54	1.21
2022/09/20 21:00:00	86.72	3.53	7.53	14.25	57	7.2	55	3.53	6.96	0.52	1.23
2022/09/20 22:00:00	86.72	3.7	7.53	12.12	57.5	7.24	50	3.7	6.94	0.51	1.25
2022/09/20 23:00:00	73.12	3.96	7.56	13.06	57.75	7.25	40	3.96	6.93	0.55	1.27
2022/09/21 00:00:00	75.42	4.07	7.53	13.75	58	7.25	30	4.07	6.94	0.54	1.3
2022/09/21 01:00:00	74.86	4.21	7.53	9.88	58.25	7.26	25	4.21	6.92	0.49	1.34
2022/09/21 02:00:00	74.29	4.37	7.56	9.5	58.25	7.27	23	4.37	6.92	0.52	1.44
2022/09/21 03:00:00	74.86	4.5	7.56	11.94	58.25	7.31	21	4.5	6.91	0.51	1.46
2022/09/21 04:00:00	74.29	4.5	7.56	12.25	58.5	7.36	23	4.5	6.93	0.51	1.47
2022/09/21 05:00:00	79.11	4.5	7.56	12.56	58.75	7.4	27	4.5	6.93	0.53	1.47
2022/09/21 06:00:00	77.57	4.47	7.56	12	58.75	7.42	52	4.47	6.91	0.53	1.45
2022/09/21 07:00:00	85.9	4.28	7.56	9.88	58.5	7.46	85	4.28	6.95	0.52	1.4
2022/09/21 08:00:00	86.31	4.16	7.56	9.75	58.75	7.49	90	4.16	6.96	0.58	1.32
2022/09/21 09:00:00	86.72	4.06	7.59	9.62	58.5	7.55	97	4.06	6.97	0.53	1.2
2022/09/21 10:00:00	86.72	3.98	7.59	12.62	58.25	7.59	96	3.98	7	0.51	1.16
2022/09/21 11:00:00	88.67	3.92	7.56	10.06	58.5	7.55	97	3.92	7.02	0.53	1.17
2022/09/21 12:00:00	89.05	3.86	7.59	10.62	58.5	7.46	95	3.86	7.01	0.49	1.19
2022/09/21 13:00:00	90.52	3.85	7.59	10.88	58.75	7.35	84	3.85	7.04	0.54	1.2
2022/09/21 14:00:00	88.67	3.82	7.62	11.12	58.75	7.38	84	3.82	7.04	0.58	1.2

Figura 4.27: Visualización del Archivo .xls generado desde el sistema de adquisición y monitoreo.
Fuente: Propia.

4.10. Puesta en marcha del sistema de supervisión y adquisición de datos en PTAP Tulcán.

En esta fase se realizan las pruebas iniciales de todos los equipos de forma individual, verificando su correcto funcionamiento, posteriormente se llevan a cabo pruebas en conjunto y finalmente se ejecuta la puesta en marcha, dejando operativo el sistema de supervisión y adquisición de datos en PTAP Tulcán. En la figura 4.27, se evidencia el sistema en línea en el cuarto del operario, sitio destinado para realizar el monitoreo del proceso.

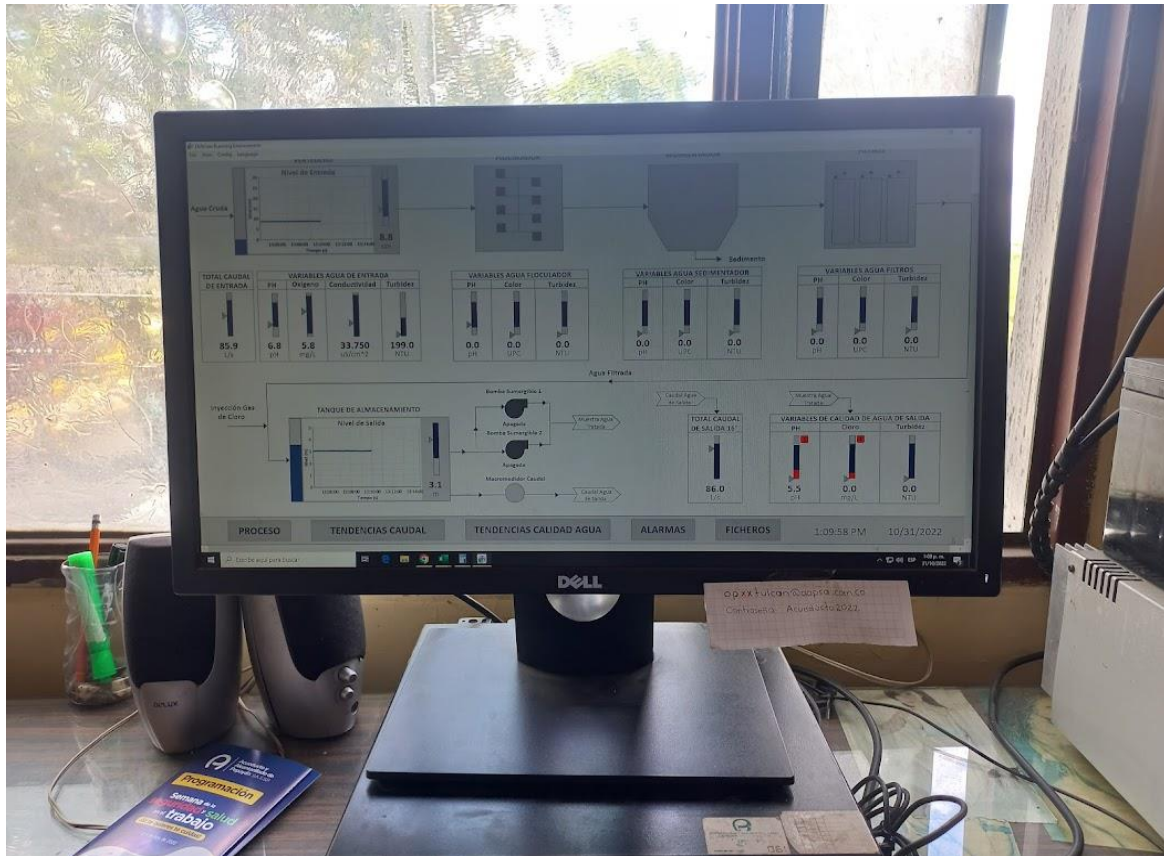


Figura 4.28: Sistema de supervisión y adquisición de datos en la PTAP Tulcán.
Fuente: Propia.

El Ing. Mauricio Ramírez, jefe de producción realizó la comprobación de la operatividad del sistema y adicionalmente un operario de la planta efectuó una serie de check list denominado pruebas FAT (Factory Acceptance Test), la cual tiene como objetivo dar respuesta a una serie de enunciados, sobre los equipos y sistema instalados ya en el sitio final, en este caso la PTAP Tulcán; es muy importante que estas pruebas sean validadas por el cliente y/o su representante, de esta forma se asegura el recibido a satisfacción, se adjunta en el apartado de anexos el formato de la prueba realizado (ver ANEXO C).

Al finalizar la puesta en marcha se realizó la capacitación a los operarios a lo largo de aproximadamente 2 semanas (ver ANEXO D) sobre el correcto uso de la interfaz y se proporcionó un manual de usuario que será de gran ayuda para el conocimiento del uso de la plataforma y sobre el funcionamiento de todo el sistema en conjunto (ver ANEXO B).



Figura 4.29: Capacitación del sistema.
Fuente: Propia.

4.10.1. Cierre del proyecto.

Se hace entrega finalmente del proyecto al departamento de Producción del Acueducto y Alcantarillado de Popayán, el encargado de recibir a satisfacción el proyecto fue el jefe de producción del Acueducto. Adicionalmente se entregó toda la documentación pertinente, como manuales de usuario, fichas técnicas de los instrumentos, capacitaciones al personal requerido, etc. (Ver Anexos ABC).

5. Conclusiones.

- La implementación del sistema de supervisión y adquisición de datos para la integración de las mediciones analíticas de entrada y salida de la PTAP Tulcán del acueducto y alcantarillado de Popayán, permite la supervisión remota del proceso, además de facilitar el registro de eventos y la acción oportuna por parte de los operarios ante valores anormales del proceso.
- El monitoreo constante de las variables de entrada puede llegar a disminuir considerablemente la pérdida de agua dentro de la planta, debido a que, se evitaría el ingreso de agua sumamente contaminada a fases críticas del proceso, reduciendo la posibilidad de desechar agua con características no tratables.
- El histórico de datos de analítica de agua es importante para generar reportes diarios, semanales, mensuales y/o anuales, los cuales permitirán la verificación de las buenas prácticas de purificación de agua empleadas por los operarios en sus turnos; además, la información en tiempo real mostrada en el HMI permite a los operarios brindar informes a sus superiores de forma inmediata de ser requerido.
- El sistema de supervisión y adquisición de datos permite a los entes encargados de realizar pruebas de calidad en la planta una obtención de datos de forma sencilla y gráfica, permitiéndoles entender el proceso y significado de cada variable.
- La realización de las pruebas de aceptación de fábrica (FAT) permitió al operario comprobar una puesta en marcha bien planificada y ejecutada, cumpliendo las expectativas del Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

5.1. Recomendaciones.

- Debido a que, en la ciudad de Popayán, sobre todo en el sector donde se encuentra ubicada la planta, el clima es propenso a lluvias fuertes y tormentas eléctricas, se recomienda instalar sistemas de soporte energético como baterías o sistemas de fuera ininterrumpible (UPS), para la alimentación de los medidores de calidad de agua, controladores y PC del operario.
- Se sugiere hacer una constante limpieza a los sensores de calidad de agua, especialmente a los ubicados en el vertedero, ya que el agua llega con muchas partículas, que ensucian los sensores, haciendo que estos envíen valores errados al proceso.

ANEXOS

Anexo A: Manuales de fabricante.

El anexo A corresponde a los manuales y hojas técnicas de los instrumentos instalados en la planta.

- Ficha técnica sensor de pH Aqualabo.
- Ficha técnica sensor de Oxígeno Disuelto Aqualabo.
- Ficha técnica sensor de Conductividad Aqualabo.
- Ficha técnica sensor de Turbidez Aqualabo.
- Ficha técnica Junction Box Aqualabo.
- Ficha técnica sensor de Nivel Chemitec.

RANGE DIGISENS

PHEHT : PH, REDOX & TEMPERATURE

Digital Technology for optimized measures

- **Combination pH/Redox/Temp sensor**
- **Digital Sensor : Modbus RS 485 / SDI-12**
- **Calibration data inside**
- **pH/ORP Cartridge**



- **Range :**
 - **pH :** 0 to 14 units
 - **Redox :** - 1000 to + 1000 mV
 - **T°C :** -10°C to +50°C

Introduction :

The PHEH sensor has been designed to perform under hard conditions from pure mountains water with conductivity as low as 20 $\mu\text{S/cm}$, lakes and rivers (100 – 2000 $\mu\text{S/cm}$), seawater with conductivities of 50 mS/cm and to wastewater with conductivity higher than 200 mS/cm.

This sensor features a "long life" reference. The Plastogel® PONSEL technology increase the lifetime of the probe the need to refill.

This sensor has been designed also for handheld and in situ applications which have been the most difficult situations for a pH/ORP sensor in term of sensor resistance, quick time response, minimal flow dependence and low power consumption.

Digital Technology

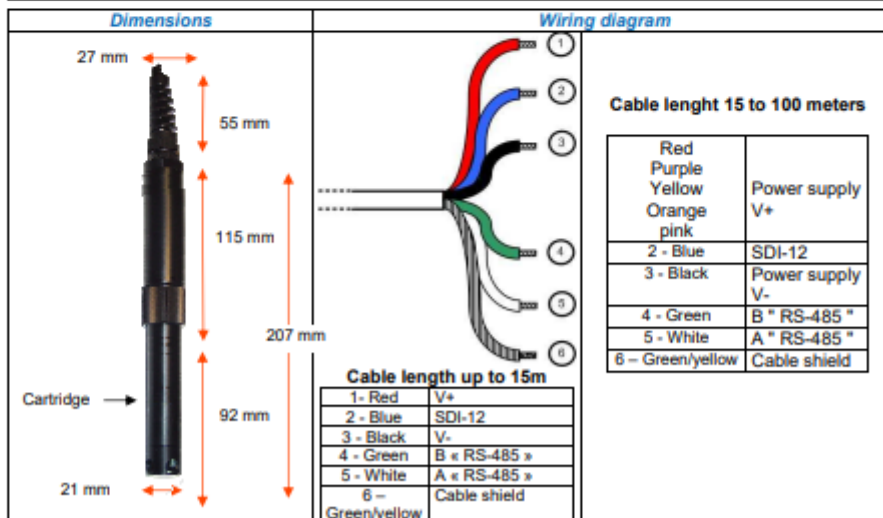
The "smart" pH/Redox/Temp sensor stores calibration and history data within the sensor. This allows you a "plug and play" system without re-calibration.

Thanks to the Universal Modbus RS485 protocol, the PONSEL pH/Redox/T sensor can be connected to all devices commonly used (Datalogger, Controller, Automat, Remote System...).

Technical features

pH	
Measure principle	Combined electrode (pH/ref) : special glass, Ag/AgCl ref. Gelled electrolyte (KCl)
Range	0 – 14 pH
Resolution	0,01 pH
Accuracy	+/- 0,1 pH
Redox	
Measure principle	Combined electrode (Redox/reference) : Platinum tip, Ag/AgCl Ag/AgCl. Gelled reference (KCl)
Range	- 1000 to + 1000 mV
Resolution	0,1 mV
Accuracy	± 2 mV
Temperature	
Technology	NTC
Range	0,00 °C à + 50,00°C
Resolution	0,01 °C
Accuracy	± 0,5 °C
Response time	< 5 s
Storage temperature	0°C to + 60°C
Protection	IP 68
Interface	Modbus RS-485 / SDI-12 (option)
Power supply	5 to 12 volts
Power consumption	Standby : 25µA Average RS485 (1 mesure/seconde) : 3,9 mA Average SDI12 (1 mesure/seconde) : 6,8 mA Current pulse : 500 mA

Sensor	
Dimensions	Diameter : 27 / 21 mm ; Lenght : 207 mm
Weight	350 g (sensor + 3 m cable)
Material	PVC, DELRIN, special pH glass, platinum, polyamide
Pressure	5 bars
Cable	Coaxial armoured, Polyurethane, bare wire or Fisher connector
Protection	IP68



DIGISENS RANGE

OPTOD : OPTICAL DISSOLVED OXYGEN

Digital technology for optimized measures

- Optical Technology without calibration
- Digital Technology (Modbus RS-485)
- No drift, Reduced maintenance
- Body in Stainless steel (316 L) or Titanium

Applications :

- Urban wastewater treatment
- Industrial effluent treatment
- Surface water monitoring,
- Sea water monitoring, fish farming, aquarium
- Drinking water



Optical technology :

The **OPTOD**® (Optical Dissolved Oxygen technology) is based on luminescent optical technology. The OPTOD sensor is approved by the ASTM International Method D888-05.

Without calibration requirements and thanks to an ultra low power technology, the OPTOD sensor meets the demands of field works and short or long term campaigns.

Without oxygen consumption, this technology allows you an accurate measure in all situation and especially in very low oxygen concentrations

Digital Technology :

The "smart" OPTOD sensor stores calibration and history data within the sensor. This allows you a "plug and play" system without re-calibration.

Thanks to the Universal Modbus RS485 protocol, the PONSEL OPTOD can be connected to all devices commonly used (Datalogger, Controller, Automat, Remote System...).

Mécanique :

Compact, strong and light, the sensor allows a portable or in fixed/permanent use.

Body in **Stainless steel 316 L** (passivation treatment) or in **Titanium** for applications in corrosive environment.

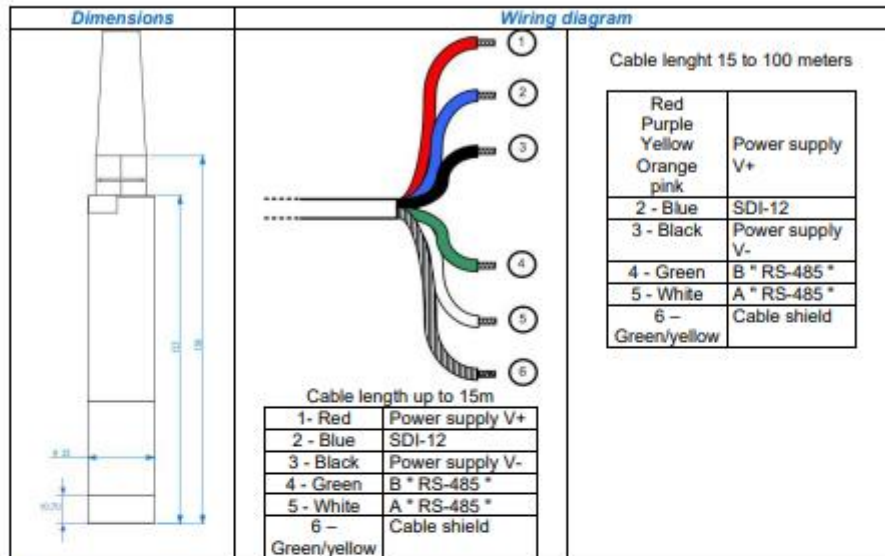
Ponsel OPTOD specifications :

Measures	
Measure principle	Optical measure by luminescence
Measure ranges	0,00 to 20,00 mg/L 0,00 to 20,00 ppm 0-200%
Resolution	0,01
Accuracy	+/- 0,1mg/L +/- 0,1 ppm +/- 1 %
Response time	90% of the value in less than 60 seconds
Frequency of recommended measure	>5 s
Water move	No necessary move
Temperature compensation	Via NTC
Stocking temperature	- 10°C to + 60°C
Signal interface	Modbus RS-485 (standard) and SDI-12 (option)
Sensor power-supply	5 to 12 volts
Consumption	Standby 25 µA Average RS485 (1 measure/ seconde) : 4,4 mA Average SDI12 (1 measure/ seconde) : 7,3 mA Current pulse : 100 mA
Sensor	
Dimensions	Diameter : 25 mm ; length : 146 mm
Weight	Stainless steel version 450g (sensor + cable 3 m) Titanium version 300 g (sensor + cable 3 m)
Material	Stainless steel 316L, New : body in Titanium
Maximum pressure	5 bars
Connection	9 armoured connectors, polyurethane jacket, bare-wires or waterproof Fisher connector
Protection	IP68

New : Protection strainer



The protective nylon strainer is positioned on the sensor head to protect the active membrane (DOdisk) of the OPTOD sensor.



Note :

Never exceed a voltage of 10VDC (absolute maximum rating) on communication lines RS485, A or B, under penalty of irreversible destruction of the transceiver component RS 485.

SDI-12: respect the voltage value described in the associated standard (nominal: 5 VDC)

Always connect ground + shield first.

DIGITAL SENSOR

C4E : CONDUCTIVITY/SALINITY

Digital Technology for optimized measures

- 4 electrodes (2 graphic, 2 platinum)
- Range 0 to 200 mS/cm
- Digital sensor / Modbus RS-485
- Robust and Watertight



Applications :

- Urban wastewater treatment
- Industrial effluent treatment
- Surface water monitoring
- Sea water
- Drinking water

Mounting at 4 electrodes:

The electrode works with a technology in 4 electrodes: an alternating current of constant-voltage is established between a primary's pair of electrodes in graphite. The secondary's electrodes in platinum allow of regulate the voltage imposed to primary's electrodes to reflect of the fouling. The voltage measured between the primary's electrodes is in function of the resistance of place and so, of the conductivity.

Digital Technology :

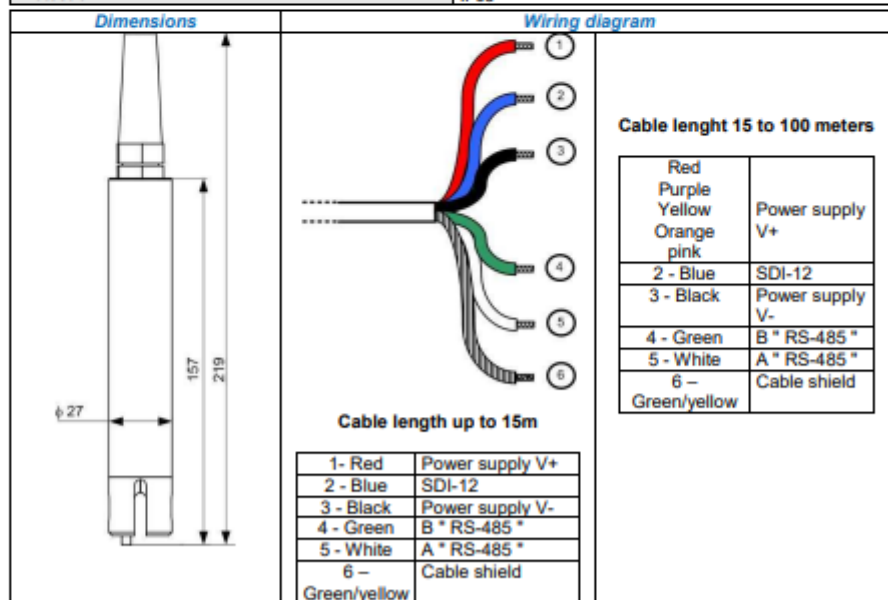
The "smart" Digital C4E sensor stores calibration and history data within the sensor. This allows you a "plug and play" system without re-calibration.

Thanks to the Universal Modbus RS485 protocol, the PONSEL Digital C4E can be connected to all devices commonly used (Datalogger, Controller, Automat, Remote System...).

C4E Specifications

Measures	
Measure principle	Conductivity sensor with 4 electrodes (2 graphic, 2 platinum).
Measure ranges conductivity	0-200,0 μ S/cm 0 -2000 μ S/cm 0,00 -20,00 mS/cm 0,0 -200,0 mS/cm
Resolution	0,01 to 1 according the range
Accuracy	+/- 1 % of the full range
Measure range salinity	5-60 g/Kg
Measure range TDS -KCl	0-133 000 ppm
Response time	< 5 s
Working temperature	0°C to 50°C
Temperature compensation	NTC
Stocking temperature	- 10°C to + 60°C
Signal interface	Modbus RS-485 (option SDI-12)
Maximum refreshing time	Max < 1 s
Sensor power-supply	5 to 12 volts
Electric consumption	Standby : 25 μ A Average RS485 (1 measure/seconde) : 6,3 mA Average SDI12 (1 measure/seconde) : 9,2 mA Current pulse : 500 mA

Sensor	
Dimensions	Diameter : 27 mm ; Lenght : 157 mm
Weight	350g (sensor + 3 m cable)
Material	PVC, DELRIN, stainless steel
Maximum pressure	5 bars
Connection	9 armoured connectors, polyurethane jacket, bare-wires or waterproof Fisher connector
Protection	IP68



RANGE DIGISENS

NEPHELOMETRIC TURBIDITY

Optical technology for optimized measures

- IR optical sensor with optical fibre
- Range : 0 to 4000 NTU or 0-4500 mg/L
- Robust and waterproof (IP68)
- Ultra low-power consumption
- Digital output Modbus RS-485
- Nephelometry measurement



Application :

- Urban wastewater treatment (inlet/ outlet controls)
- Sanitation network
- Industrial effluent treatment
- Surface water monitoring
- Drinking water

Optical technology :

The measure principle is based on IR nephelometry / 850 nm. The sensor can be calibrated with a formazine standard solution.

The NTU sensor integrates a low-cost optical technology, with a very few maintenance and no consumables.

Digital communication :

The PONSEL sensor can be connected to any types of transmitters, display units, controllers or data loggers with Modbus RS-485 or SDI-12 inputs. The optical sensor saves its calibration data for better measures management.

Integrated transmitter :

All data concerning calibration, history, users and measures are directly treated within the NTU sensor and transmitted via RS-485 or SDI-12.

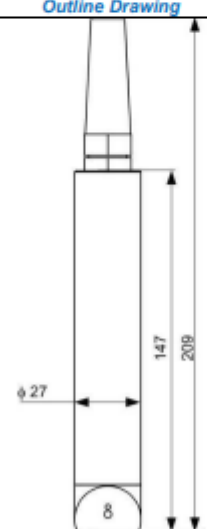
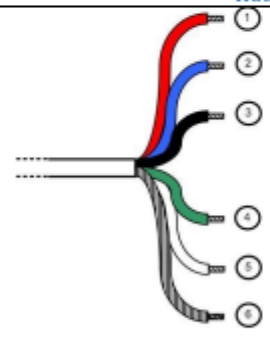
Physical characteristics :

Compact, robust and light, the PVC sensor allows a handheld or fixed unit application.

Technical characteristics :

Measures	
Measure principle	Diffusion IR at 90°
Measure ranges	5 to 4000 NTU in 5 ranges: <ul style="list-style-type: none"> • 5 – 50 NTU • 5 – 200 NTU • 5 – 1000 NTU • 5 – 4000 NTU • AUTOMATIC 0 to 4500 mg/L Calibration : Range 0-500 mg/L according to NF EN 872 Range >500 mg/L according to NF T 90 105 2
Resolution	0,01 to 1 NTU - mg/L
Accuracy	< 5% of the reading
Working temperature	0°C to +50°C
Measure of temperature	Via CTN
Storing temperature	-10°C to +60°C
Signal interface	Modbus RS-485 (standard) and SDI-12 (option)
Maximum refreshing time	< 1 second
Sensor power-supply	5 to 12 volts
Electric consumption	Standby : 40 µA Average RS485 (1 measure/seconde) : 820 µA Average SDI12 (1 measure/seconde) : 4,2 mA Current pulse : 500 mA

Sensor	
Dimensions	Diameter : 27 mm; length : 170 mm
Weight	300 g (sensor + cable 3 meters)
Material	PVC, DELRiN, Quartz, PMMA, Polyamide
Maximum pressure	5 bars
Connection	9 armoured connectors, polyurethane jacket, bare-wires or waterproof Fisher connector
Degree of protection	IP68

Outline Drawing	Wiring diagram															
																
	<p>Cable length 15 to 100 meters</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Red</td> <td rowspan="4">Power supply V+</td> </tr> <tr> <td>Purple</td> </tr> <tr> <td>Yellow</td> </tr> <tr> <td>Orange pink</td> </tr> <tr> <td>2 - Blue</td> <td>SDI-12</td> </tr> <tr> <td>3 - Black</td> <td>Power supply V-</td> </tr> <tr> <td>4 - Green</td> <td>B * RS-485 *</td> </tr> <tr> <td>5 - White</td> <td>A * RS-485 *</td> </tr> <tr> <td>6 - Green/yellow</td> <td>Cable shield</td> </tr> </table>	Red	Power supply V+	Purple	Yellow	Orange pink	2 - Blue	SDI-12	3 - Black	Power supply V-	4 - Green	B * RS-485 *	5 - White	A * RS-485 *	6 - Green/yellow	Cable shield
Red	Power supply V+															
Purple																
Yellow																
Orange pink																
2 - Blue	SDI-12															
3 - Black	Power supply V-															
4 - Green	B * RS-485 *															
5 - White	A * RS-485 *															
6 - Green/yellow	Cable shield															
	<p>Cable length up to 15m</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>1- Red</td> <td>Power supply V+</td> </tr> <tr> <td>2 - Blue</td> <td>SDI-12</td> </tr> <tr> <td>3 - Black</td> <td>Power supply V-</td> </tr> <tr> <td>4 - Green</td> <td>B * RS-485 *</td> </tr> <tr> <td>5 - White</td> <td>A * RS-485 *</td> </tr> <tr> <td>6 - Green/yellow</td> <td>Cable shield</td> </tr> </table>	1- Red	Power supply V+	2 - Blue	SDI-12	3 - Black	Power supply V-	4 - Green	B * RS-485 *	5 - White	A * RS-485 *	6 - Green/yellow	Cable shield			
1- Red	Power supply V+															
2 - Blue	SDI-12															
3 - Black	Power supply V-															
4 - Green	B * RS-485 *															
5 - White	A * RS-485 *															
6 - Green/yellow	Cable shield															

AQUOLABO

MODULE 4001 BOX OF COMMUNICATION AND POWER SUPPLY MONO AND MULTICHANNEL MODBUS



Destined to the permanent instrument installations and supplementing the offer of digital sensors PONSEL, the junction boxes mono and multichannel PONSEL are easy to install. The module 4001 allows the connection of digital sensors PONSEL with all types of dataloggers, transmitter and remote systems or automates with an input Modbus RS485.

- Robust and watertight box.
- 1 to 5 inputs Modbus RS485 sensors
- Input / Output signal Modbus – SDI12
- 1 cable for a connection on an ODEON

TECHNICAL SPECIFICATIONS MODULE 4001

- **Box:** ABS
- **Protection:** IP 67
- **Number of Input Modbus RS 485:** 1 to 5 sensors
- **Interfacing at communication Network Modbus/ SDI12:** 2 clamp fitting PG11 (the Module 4001 can be a relay at the signal Modbus RS485)
- **Inputs sensors:** Clamp fitting PG9
- **Connection to ODEON:** 1 connector with tight stopper to connect one ODEON
- **Operating Temperature range:** - 25°C to + 55 °C
- **Dimensions (H x L x P):** • without fixing system: 144 x 176 x 85 mm • with fixing system: 215 x 146 x 90 mm
- **Weight:** 950 g
- **Power supply:** Power supply sensors 5-12V
- **Consummation max.:** Depends on connected sensors



EXAMPLE OF AN INSTALLATION

AUTOMATE REMOTE SYSTEMS



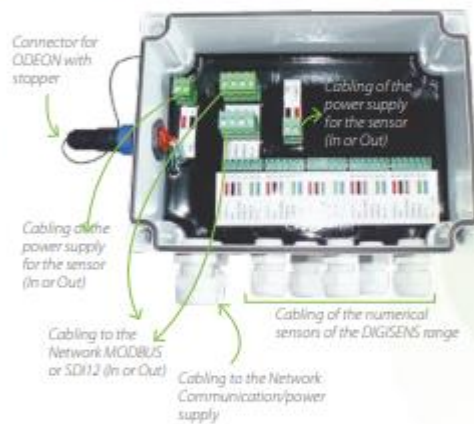
The module 4001 is compatible with all the sensors Modbus RS485 from PONSEL according to the following offer: sensor OPTOD (dissolved oxygen/Temperature), NTU (Turbidity Nephelometric), C4E (conductivity/salinity), pHEHT (pH, Redox, Temperature). The bus RS485 must be linear and is guaranteed functional on a maximal distance of 1km with a cable in pair twisted armored (type AWG26 for example).

In the case of an installation with several Module 4001, it is advised to install a resistance of 120Ω At the end of line RS485 (between the signal A and B of the last Module).

In case of disturbances on the line Modbus, a repeater RS485 can be necessary.

DESCRIPTION CONNECTIONS

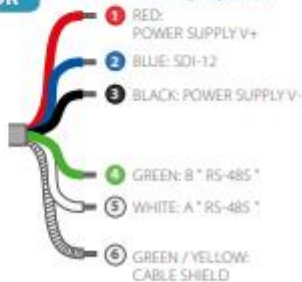
CABLING OF MODULE 4001



CONNECTION

SENSOR

Cable length up to 15 m



Cable length 15 to 100 m



NETWORK

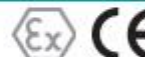
For more information on power supply, consumption of the sensors, consult the datasheet of the concerned sensor

METER

Ultrasonic level transmitter

Technical Data

Housing material: PC or Al / PP wetted part
(PVDF for ATEX certified vers.)
Mechanical installation: 2" GAS M (PP flange DN80 opt.)
Protection degree: IP67
Electrical connection: Internal push connectors
Working temperature: -30 ÷ +70°C; +80°C non-continuous
-20 ° to +60 ° C for ATEX certified vers.
Pressure: from 0,5 to 1,5 bar (absolute)
Power supply: 2-wire: 20÷30 Vdc / 4-wire: 24Vdc
Power consumption: 2-wire max 0,6W / 4-wire max 1,5W
Analog output: 4÷20mA, max 750ohm (4-wire)
Relays output: (4-wire only) n°2 3A 230Vac (n.o.)
Digital communication: MODBUS RTU for 4-wire vers.
(opt.) HART for 2-wire vers.
Max measure range: max 0.25÷5m
max 0.4÷8m
[In case of non perfectly reflecting surfaces, the maximum distance value will be reduced]
Blind distance: 0,25m (5m vers.) / 0,40m (8m vers.)
Temperature compensation: digital from -30 to 80°C
Accuracy: ±0,2% (of the measured distance)
not better than ±3mm
Resolution: 1mm
Calibration: 4 buttons or by HART/MODBUS RTU
Warm-up: 5 minutes typical
LCD Display: Plug-in display/keyboard 4 buttons matrix LCD
Ex-proff: ATEX II 1/2G Ex Ia II C T6



Warranty

Products supplied by the Company are guaranteed for a period of 12 (twelve) months from delivery date according to the conditions specified in our sale conditions document.
The Company can choose to repair or replace the Product.
If the Product is repaired it will maintain the original term of guarantee, whereas if the Product is replaced it will have 12 (twelve) months of guarantee.
The warranty will be null if the Client modifies, repair or uses the Products for other purposes than the normal conditions foreseen by instructions or Contract.
In no circumstances shall the Company be liable for direct, indirect or consequential or other loss or damage whether caused by negligence on the part of the company or its employees or otherwise howsoever arising out of defective goods

Factory Test Certificate

In conformity to the company and check procedures I certify that the equipment:

METER..... Production and check date:

Serial n.

is conform to the technical requirements on Technical Data and it is made in conformity to the Company procedure

Quality Control Manager

METER - Safety / Mechanical installation

The non intrusive system application is now preferred in the level measurements field. For this reason the Company developed the **METER** unity to best meet the "GENERAL-PURPOSE" application requests. The **METER** unit offers, together with its compact size, a complete versions range that makes the **METER** very versatile for the most varied applications, including areas with explosion hazard and chemically aggressive environments. **METER** is an ultrasonic level transmitter, temperature-compensated and suitable for connection with **MODBUS RTU** (only 4 wires vers.) or **HART** (option only for 2-wire vers.) acquisition systems. **METER** is a compact unit which in addition to an analog output includes two freely addressable relay (only 4 wires vers.).

Non-contact level measurements

Suitable for liquids and granulates level measurement

Integrated digital temperature sensor to compensate the measure

HART or MODBUS RTU com. protocol

24Vdc power supply

Mechanical protection: IP67 / IP68 (sensor)

**Output: 1 4÷20mA analog output
2 relays output (4-wires vers.)**

ATEX II 1/2G Ex Ia II C T6

1. SAFETY

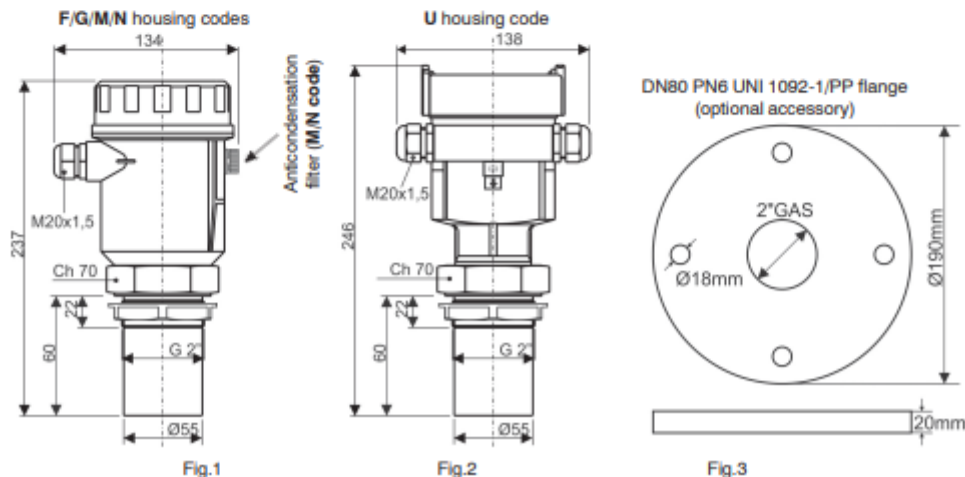
1.1 Installation precaution

- Installation shall only be performed by qualified personnel and in accordance with local governing regulations.
- Make sure that the working temperature is between -30 and +70 ° C, +80 ° C non-continuous (ATEX versions: -20÷+60°C).
- Install the transmitter in a its physical characteristics and housing/sensor construction materials compatible environment.
- The transmitter must be used safety warnings observance.
- Improper transmitter use would cause serious damage to people, to the product and connected equipment.

2. INSTALLATION

2.1 MECHANICAL DIMENSIONS

The METER transmitter has the 2" GAS M threaded, equipped with 2" BSP/ PP fixing bolt. DN80 PN6 UNI 1092-1/PP flange is available (optional accessory).

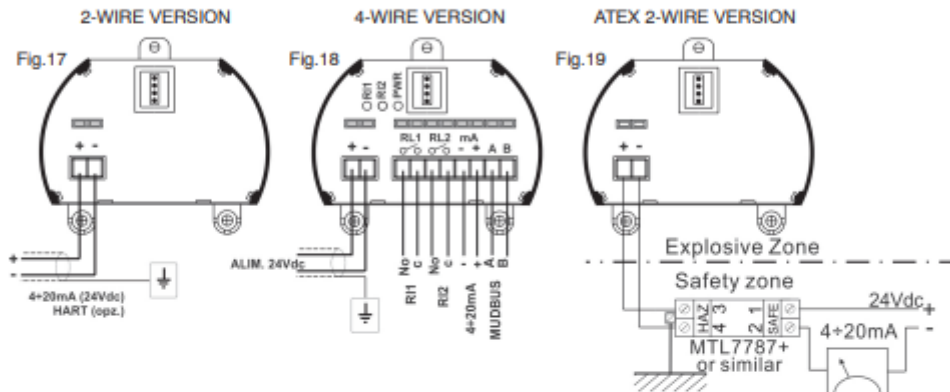


METER - Connections and Configuration

3. CONNECTIONS

3.1 Wiring

- 1) Separate the engine control cables or power cables from the **METER** connection cables..
- 2) Open the cap by unscrewing.
- 3) Lead the cables into the transmitter through the glands.
- 4) Do not use sleeves terminals, because they might interfere with the **VL601** module insertion
- 5) Close the cap and tighten the cable glands.



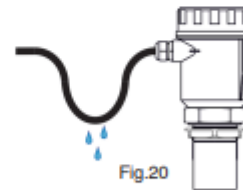
The immunity to electromagnetic interference complies with CE Directives

3.2 Humidity infiltrations

To avoid the humidity infiltration inside the housing is recommended:

- for electrical connections, use a cable with a 6-12mm outer diameter and fully tighten the M20 cable gland
- fully tighten the cap
- position the cable so that it forms a downward curve at the M20 output (Fig. 20); in this way the condensation and/or rain water will tend to drip from the curve bottom

For installations with a strong humidity/vapor presence the version with the optional anti-condensation filter (cod.M/N) is available



4. CONFIGURATION MODES

The **METER** have 2 configuration/calibration modes:

- via digital communication:
 - via **MODBUS RTU**, by PC, for 4-wires versions
 - via **HART**, by Hand-Held or PC, for 2-wires versions (optional)
- via **VL601** programming module

4.1 Via MODBUS RTU

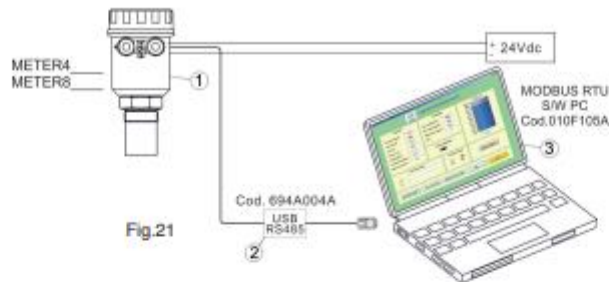
4.1.14-wires METER; MODBUS RTU PC connection (fig.21)

- 1) METER4____ or METER8____ (1) with MODBUS RTU communication protocol
- 2) USB/RS485 interface module, cod.694A004A
- 3) MODBUS RTU communication S/W, cod.010F105A (3), for METER transmitter

With this software is possible:

- connect, by selecting the UID address, the METER transmitters in MODBUS RTU network
- read on your PC monitor all measures in reading and METER operation data
- programming all METER configuration parameters
- storing on files, data logger function; METERmeasures in reading and operating states

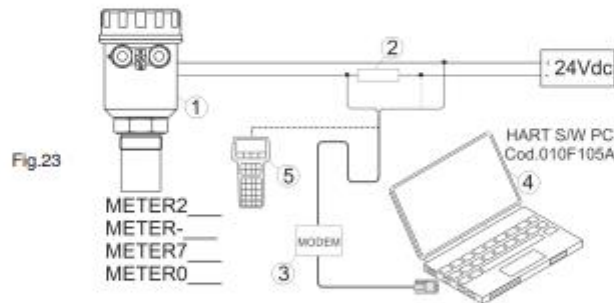
METER - Configuration



4.2 Via HART


4.2.1 2-wires METER; HART Hand Held connection or HART PC/MODEM (fig.23)

- 1) METER___, METER0 __, METER2 __, METER7 __, with HART communication protocol
- 2) 250ohm resistance
- 3) HART MODEM
- 4) HART communication S/W, cod.010E105A (for PC HART MODEM only)
- 5) HART HAND-HELD

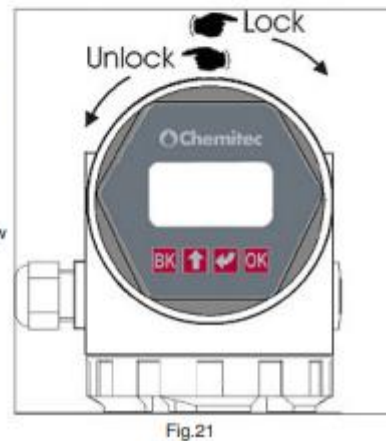


4.3 via VL601 configuration

The VL601 programming module can be mounted and removed from the METER without affecting the unit operation. Unscrewing the cap, the VL601 module can be mounted (by clockwise rotation until it clicks) or dismantled (by rotation counterclockwise) as shown in Fig.21. The VL601 module is equipped with matrix LCD.

-))) displayed at the bottom indicates the correct echo signal reception
- ! displayed at the top alerts that there is a generic error; press  to show the message that indicates the present error type. The METER returns automatically to RUN mode.

CHEMITEC s.r.l.
Via Isaac Newton 28 - 50018 Scandicci (FI)
Tel. +39 055 7576801 fax +39 055 756697
Web site: www.chemitec.it
E-mail: sales@chemitec.it




Anexo B: Manual de usuario HMI

En el anexo B, se presenta un manual detallado sobre el funcionamiento de la Interfaz Hombre-Máquina instalada en el PC del operario.



Acueducto y
Alcantarillado de
Popayán S.A. E.S.P



MANUAL DE USUARIO HMI PLANTA TULCÁN

LUISA FERNANDA PAREDES ERAZO

AGOSTO DE 2022





 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP  CEIINC S.A.S.	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
	CEIINC S.A.S.	Página 2 de 22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	3
2.1. Versión	3
3. PREPARACIÓN DEL SISTEMA	4
3.1. Encender todos los componentes del sistema	4
4. FUNCIONES DEL SISTEMA	5
4.1. Pantalla Proceso	5
4.2. Pantalla Tendencias Nivel	7
4.3. Pantalla Tendencias Calidad Agua	9
4.4. Pantalla Alarmas	10
4.5. Pantalla Ficheros	13
5. PREGUNTAS FRECUENTES	14

 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A.ESP  CEIINC S.A.S.	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
	CEIINC S.A.S.	Página 3 de 22

1. INTRODUCCIÓN

Este manual de uso de la interfaz Hombre Máquina (HMI), detalla el uso de la Interfaz para visualizar el comportamiento de las variables de entrada y salida del proceso de potabilización de agua en la PTAP (Planta de tratamiento de agua potable) Tulcán.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema monitoreado está confirmado por los siguientes componentes:

- Vertedero.
- Tanque de Almacenamiento.
- PLC Delta AS200.
- PLC Delta DVP 20SX2.
- Sensores de Turbidez, Conductividad, Ph, Oxígeno Disuelto, Cloro, Nivel.
- Macromedidor mecánico 8".
- Controlador Chemitec Series 50.
- Módulo Ethernet
- Router Internet
- Elementos auxiliares como fuentes, interruptores, electrónica de acondicionamiento de señales.

La finalidad de esta es realizar la adquisición y supervisión realizada por los controladores de la planta.

2.1. Versión



Esta es la primera versión (v1.0) del manual de la interfaz.

Fecha de publicación: 25/07/2022.

3. PREPARACIÓN DEL SISTEMA

Para entender el funcionamiento del sistema, se presenta la arquitectura del mismo, el cuál está dispuesto de la siguiente manera:

- Tablero de Instrumentación tanque de salida: En este se encuentra el PLC de salida, el cuál reúne los valores de calidad de agua de salida, nivel del tanque de almacenamiento, caudal de salida y el manejo de las bombas.
- Canal de entrada de agua cruda de la planta: En el vertedero, se encuentran ubicados los sensores de calidad del agua cruda a la planta, junto con el sensor de nivel.
- Cuarto del operario: En este se encuentra el gabinete de entrada, donde se reúnen todas las señales tanto de entrada como de salida, las cuales serán adquiridas por los dispositivos de control y serán monitoreados con ayuda del HMI.

 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP.  CEIINC S.A.S.	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022
	CEIINC S.A.S.	Autor: Luisa Paredes
		Página 4 de 22

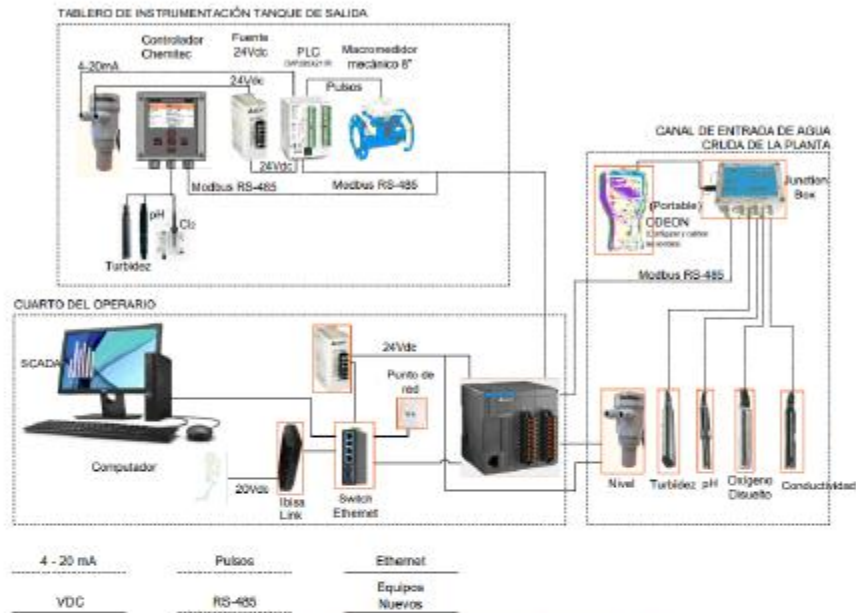


Fig 1. Arquitectura Planta Tulcán.

Para poder utilizar correctamente el sistema, es preciso realizar primero los siguientes pasos -o asegurarse que ya han sido realizados previamente.

3.1. Encender todos los componentes del sistema

Al gabinete principal, llegan todas las señales que serán monitoreadas en el HMI, por lo tanto los dispositivos de este gabinete deben de estar encendidos. Se cuenta con 3 interruptores que permiten la alimentación a estos:

 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
	CEIINC S.A.S.	Página 5 de 22



Fig 2. Interruptores Q0, Q1 y Q2.

Estos tres interruptores deben de estar dispuestos hacia arriba, sólo así se alimentarán el PLC Delta AS200, Switch Industrial, Moxa (Ibisa Link), sensores de entrada Turbidez, Ph, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Nive, permitiendo que la información sea almacenada en el dispositivo de control.

Igualmente al PLC AS200 deben de conectarse los cables Modbus Verde y Blanco, encargados de llevar las señales al dispositivo de control.



Acueducto y
Alcantarillado de
Popayán S.A. ESP



CEIINC S.A.S.

MANUAL HMI

CEIINC S.A.S.

SCADA PLC TULCÁN

Fecha: Agosto 2022

Autor: Luisa Paredes

Página 6 de 22



Fig 3. Cables Modbus PLC AS200.

El gabinete de salida también debe estar energizado, solo así se le da alimentación a las Bombas, sensores, PLC, controlador Chemitec, permitiendo el buen funcionamiento del sistema.

Las bombas son las encargadas de llevar el agua del tanque de almacenamiento a los sensores de Turbidez, Cloro y Ph que se encuentran ubicados en el gabinete. Los valores adquiridos por los sensores y el macromedidor, son almacenados en el PLC DVP20SX2 y en el controlador Chemitec, y ellos a su vez envían la información vía Modbus RS485 al PLC AS200.



 	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
CEIINC S.A.S.	CEIINC S.A.S.	Página 7 de 22



Fig 4. Gabinete de Salida.



El computador se enciende normalmente y se inicia sesión con el usuario correspondiente, siempre este equipo debe estar conectado a la red de internet, esto se hace por medio de un cable ethernet de color gris, que va conectado de la CPU del computador al punto de ethernet, solo así la información de las variables de entrada y salida llegarán a las pantallas de la interfaz.



Fig 5. Cable de red gris.

3.2. Software de HMI

El software en el cuál se implementó el sistema SCADA, es DiaView de la marca Delta.

 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
 CEIINC S.A.S.	CEIINC S.A.S.	Página 8 de 22

Para abrir el acceso directo del programa y poder observar la interfaz funcionando se deben de seguir los siguientes pasos:

- Ir al escritorio en la pantalla del computador



Fig 6. Escritorio computador.

- Dar doble clic en el icono "DIView Runtime"

Este icono está ubicado en la parte superior de la pantalla.





Fig 7. Icono DIView Runtime.

Inmediatamente se abrirá el programa en la pantalla "Proceso" y estará listo para su uso.

4. FUNCIONES DEL SISTEMA

El principal fin de la interfaz es monitorear los parámetros de entrada y salida del agua en la PTAP Tulcán.

 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP  CEIINC S.A.S.	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022
	CEIINC S.A.S.	Autor: Luisa Paredes
		Página 9 de 22

En la parte inferior de cada pantalla se encuentra la barra de Herramientas, en ella se encuentran los botones que permiten la navegación por las diferentes pantallas, la hora y la fecha.

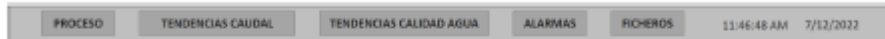


Fig 8. Barra de Herramientas

4.1. PANTALLA PROCESO

Esta es la pantalla principal, llamada "Proceso", donde se puede observar un mímico del proceso iniciando con la llegada del agua cruda y termina con el almacenamiento del agua tratada.

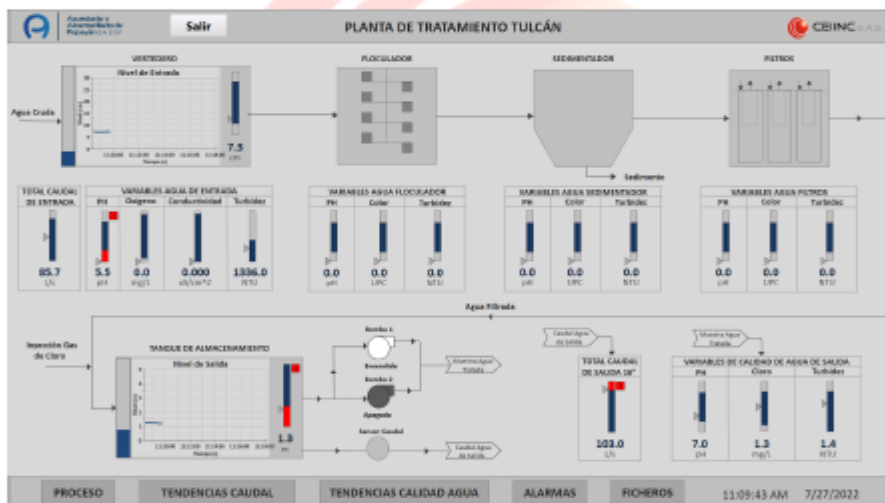


Fig 9. Pantalla Principal Proceso HMI

Es preciso mencionar que las etapas de floculación, sedimentación, filtración no están siendo medidas en este momento, sin embargo, son expuestas en el HMI ya que a futuro, se desea implementar sensores que permitan la medición de variables importantes en estas.

El proceso inicia con la entrada del agua cruda a la planta por medio del vertedero, en este punto se miden 6 variables, en donde cada una cuenta con rangos de operación normal y alarmas según corresponda:

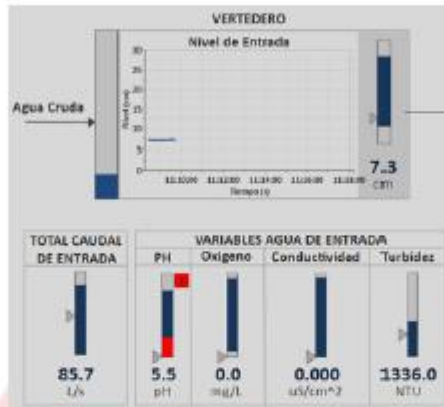


Fig 10. Adquisición de Variables de Entrada

VARIABLE	RANGO NORMAL DE OPERACIÓN	ALARMA BAJA	ALARMA ALTA
Nivel Vertedero	5 - 25 cm	< 5 cm	> 25 cm
Caudal de entrada	0 - 150 L/s	x	> 150 L/s
Ph	6.5 - 9 pH	< 6.5 pH	> 9 pH
Turbidez	0 - 2000 NTU	x	> 2000 NTU
Conductividad	0 - 110 uS/cm ²	x	x
Oxígeno Disuelto	0 - 10 mg/L	x	x

Tabla 1. Rangos de operación variables de agua de entrada a la planta tulcán.

Y termina con la medición de 5 variables y el monitoreo de las 2 bombas encargadas del suministro de agua a los sensores de salida:

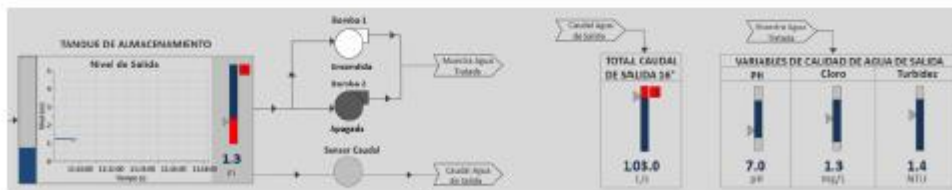



Fig 11. Adquisición variables de salida.

 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A.ESP.  CEIINC S.A.S.	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022
	CEIINC S.A.S.	Página 11 de 22

VARIABLE	RANGO NORMAL DE OPERACIÓN	ALARMA BAJA	ALARMA ALTA
Nivel Tanque Almacenamiento	1.5 - 4.5 m	< 1.5 m	> 4.5 m
Caudal de Salida	0 - 100 L/s	x	> 100 L/s
Ph	6.5 - 9 pH	< 6.5 pH	> 9 pH
Turbidez	0 - 2 NTU	x	> 2 NTU
Cloro	0.3 - 1.5 mg/L	< 0.3 mg/L	> 1.5 mg/L

Tabla 2. Rangos de operación variables de agua de salida planta tulcán.

El funcionamiento de las bombas, se representa en el HMI de la siguiente manera:

- Bombas Encendidas: La representación en el HMI toma un color Blanco.





- Bombas Apagadas: La representación se da de color Gris Oscuro.



- Bombas en Fallo: Aparecerá un cuadro rojo en la esquina superior derecha de la bomba indicando un fallo.



Cuando algún valor supera el rango máximo o mínimo de operación, en el indicador aparece el color rojo indicando que hay un valor por fuera de los límites establecidos, así como un cuadro pequeño al lado derecho del indicador, el cuál además de alertar, sirve como acceso directo a la pantalla de alarmas dando doble clic sobre él. En la siguiente imagen se aprecia lo indicado anteriormente:

 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP  CEIINC S.A.S.	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022
		Autor: Luisa Paredes
	CEIINC S.A.S.	Página 12 de 22

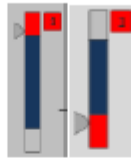


Fig 12. Indicadores de valores por fuera de los valores normales, color Rojo.

4.2. PANTALLA TENDENCIAS NIVEL

La segunda pantalla "Tendencias Caudal" tiene como objetivo exponer la tendencia que tienen los caudales de Entrada vs Salida.

Para observar el seguimiento de la gráfica, se debe de pasar el cursor por encima de la misma y automáticamente aparecerá la tendencia.

La escala vertical de la gráfica se fija siempre en el intervalo de 0 - 120 L/s; adicionalmente se puede hacer zoom a la gráfica con ayuda de la rueda de desplazamiento del mouse.

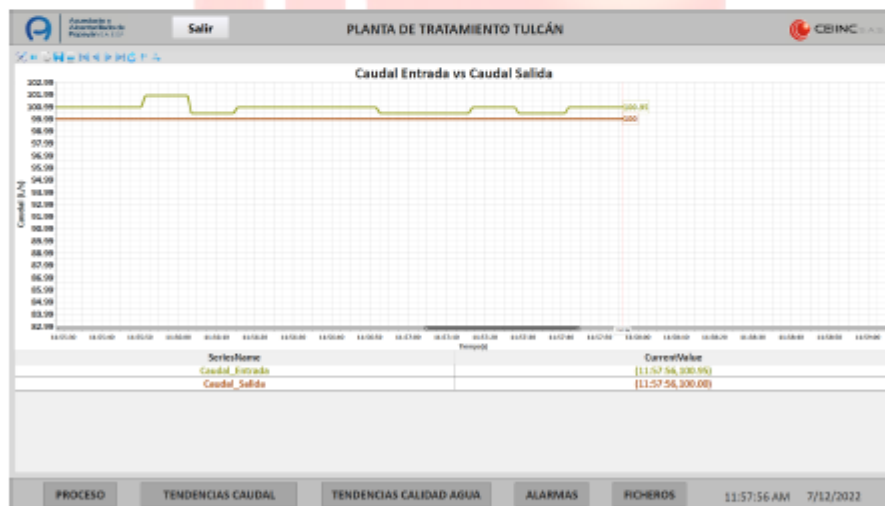





Fig 13. Pantalla tendencias caudal

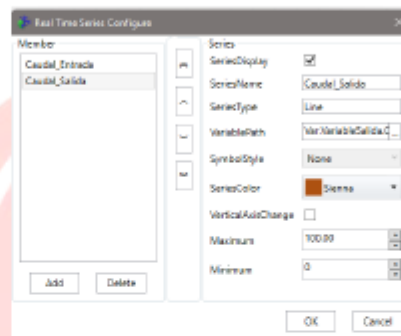
En la parte superior de la gráfica, se encuentra una barra de herramientas que permite modificar, guardar o moverse por la gráfica y en la tabla de la parte inferior de la pantalla se muestra el valor en el instante marcado por la barra vertical. En el ejemplo de la figura 9, se






 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP  CEIINC S.A.S.	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
	CEIINC S.A.S.	Página 13 de 22

puede observar como la barra vertical para el caudal de entrada se encuentra en 100.95 L/s y para el caudal de salida en 100 L/s, tal y como indica la tabla.

La barra de herramientas tiene las siguientes funcionalidades:

- Configurar gráfico en tiempo real: Se puede configurar el gráfico en tiempo real, cambiar de variable, cambiar colores, nombres, etc. 





- Detener: Dejar de cargar la curva en tiempo real .
- Mostrar la línea de posicionamiento: .
- Guardar: Guardar el gráfico actual como imagen .
- Imprimir: Imprime el gráfico actual .
- Si se quiere mover por la gráfica, se puede de dos maneras con ayuda de la barra de desplazamiento gris oscuro que está en la parte inferior o con ayuda de los botones de desplazamiento. .

4.3. PANTALLA TENDENCIAS CALIDAD AGUA

La tercer pantalla "Tendencias Calidad Agua", cuenta con 5 gráficas de tendencias, distribuidas de la siguiente manera:

- Ph Entrada vs Ph Salida.
- Cloro de Salida.
- Turbidez Entrada vs Turbidez Salida.
- Conductividad Entrada.
- Oxígeno Disuelto.

 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP.  CEIINC S.A.S.	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
	CEIINC S.A.S.	Página 14 de 22

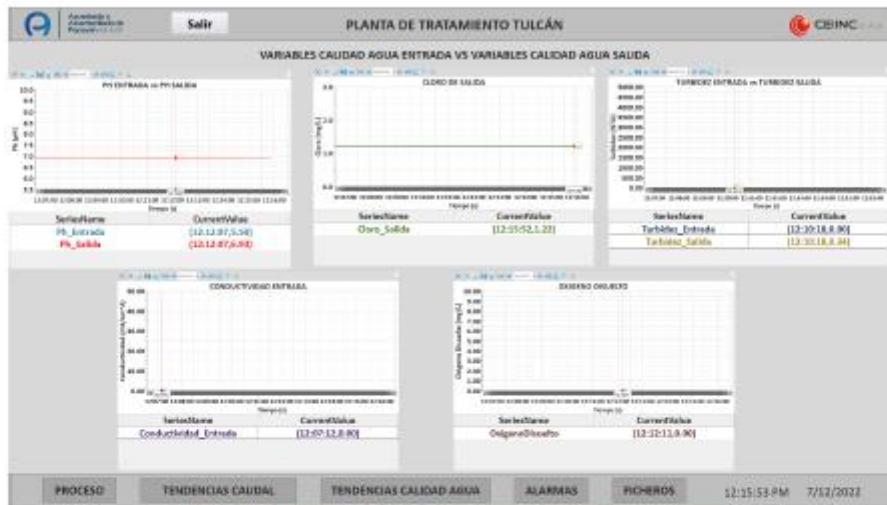


Fig 14. Pantalla tendencias calidad de agua.

Estas gráficas se activan una vez inicie la interfaz, pero para poder observar el comportamiento de estas, se debe de pasar el cursor (Ratón o mouse) por encima de cada gráfica, apareciendo así la línea vertical que le da seguimiento a las tendencias.

Cuentan con la misma barra de herramientas explicada anteriormente y con la tabla inferior en cada una de las gráficas que muestra el valor actual de las variables del proceso.

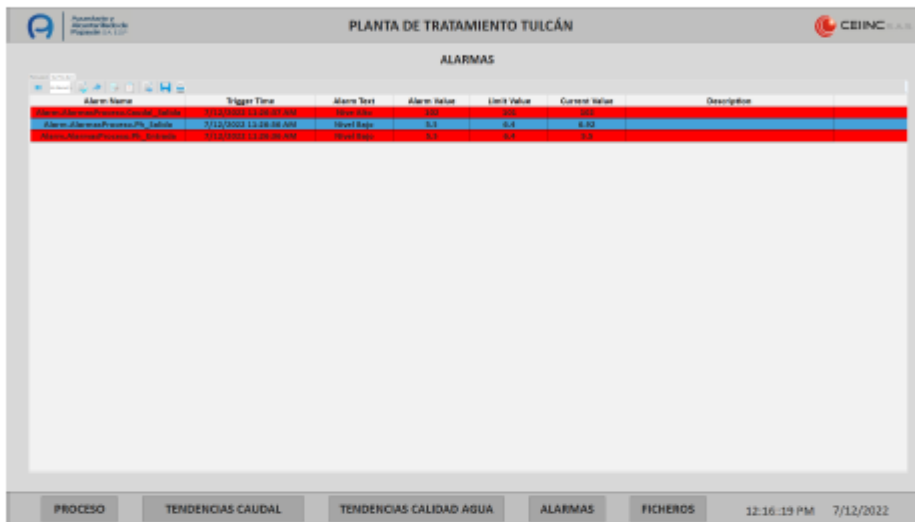
4.4. PANTALLA ALARMAS

En la cuarta pantalla “Alarmas”, se visualizan los detalles de las alarmas definidas para el proceso. Cuando se presenta alguna alarma, aparece el color rojo, tanto en la pantalla “Proceso” como en la pantalla “Alarmas”.

En esta pantalla se puede obtener la siguiente información:

- Alarm Name: Nombre de la alarma.
- Trigger Time: Hora y fecha de activación de la alarma.
- Alarm Text: Si es una alarma de nivel alto o bajo.
- Alarm Value: Valor con el cuál se encendió la alarma.
- Limit Value: El valor máximo o mínimo que puede tener la variable de proceso.
- Current Value: Valor actual de la variable de proceso.
- Description: Descripción de la alarma activada.

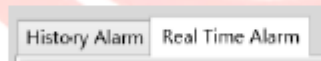
Cuando el valor de las variables vuelve a sus parámetros de operación normales, la alarma pasa a ser de un color azul, lo que indica que ya se ha solucionado el problema.



Alarm Name	Trigger Time	Alarm Text	Alarm Value	Limit Value	Current Value	Description
Alarma:Alcantarillado de Popayan - Calidad	7/12/2022 11:28:58 AM	Flow Rate	0.0	0.0	0.0	
Alarma:Alcantarillado de Popayan - PH - Calidad	7/12/2022 11:28:58 AM	Flow Rate	0.0	0.0	0.0	
Alarma:Alcantarillado de Popayan - pH - Calidad	7/12/2022 11:28:58 AM	Flow Rate	0.0	0.0	0.0	

Fig 15. Pantalla de Alarmas.

La ventana de alarmas tiene dos modos: Histórico de Alarma o Alarma en tiempo real.




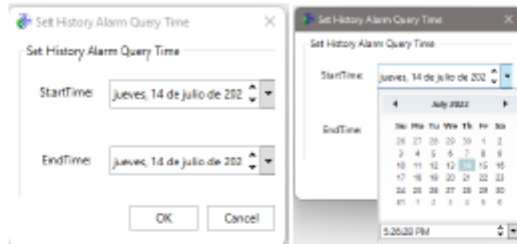
- **Histórico de alarma:**


Se puede obtener un histórico de las alarmas que se han activado en un tiempo determinado y contiene una barra de herramientas con las siguientes opciones:

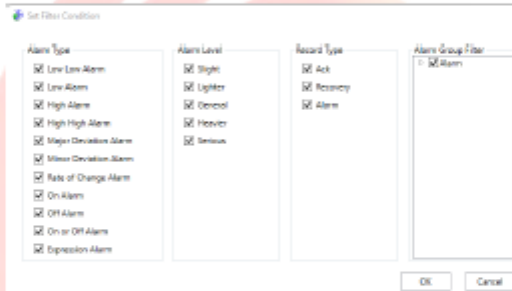
- Establecer tiempo de consulta: Puede ser una hora, un día, una semana, un mes, tres meses, seis meses, un año, tres años o personalizado.




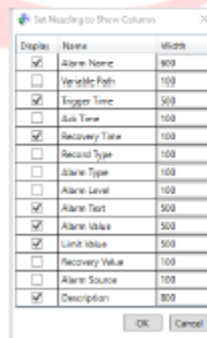
- Rango de consulta autodefinido: Permite escoger día y hora específicos .












→ Condición de filtro: Existen diferentes tipos de alarmas .












→ Selección de columnas en la ventana: Cada columna cuenta con información específica, se pueden seleccionar qué columnas observar y su tamaño .



 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
 CEIINC S.A.S.	CEIINC S.A.S.	Página 17 de 22

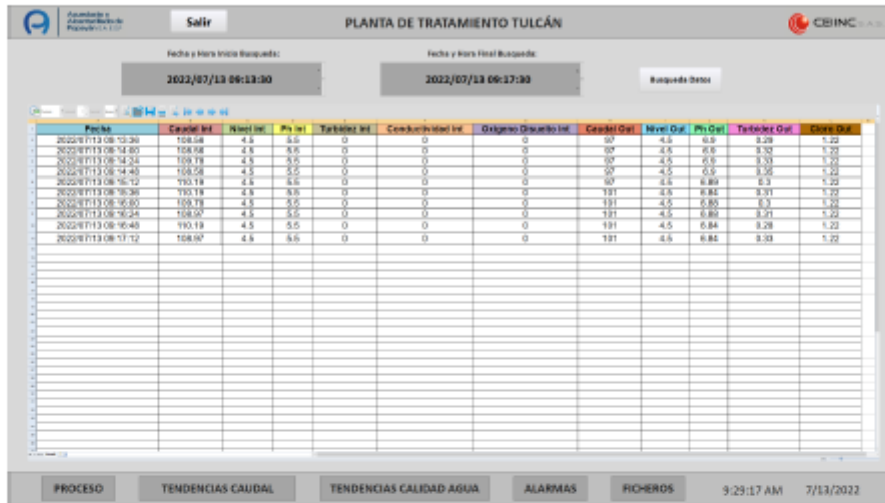
- Historial de consulta de alarmas: Al seleccionar la forma de leer el historial de alarmas, se presiona , para buscar las alarmas según la configuración.
- Exportar Datos:  Permite la descarga tipo archivo excel de la información.
- Exportar todos los datos: .
- Guardar: Se guarda el histórico de alarmas como una imagen .
- Imprimir: Se imprime el histórico actual de alarmas .
- Previo: Ir a la página anterior .
- Siguiente: Ir a la siguiente página .
- Ir a una pagina especifica:  No.1Page

- **Alarma en tiempo real:**

- Inicie a cargar datos en tiempo real: Consultar datos en tiempo real .
- Detener carga de datos en tiempo real: .
- Confirmar la alarma seleccionada: .
- Establecer condición de filtro de consultas: .
- Selección de columnas en la ventana: Se pueden seleccionar qué columnas observar y su tamaño .
- Exportar Datos:  Permite la descarga tipo archivo excel de la información.
- Exportar todos los datos: .
- Guardar: Se guarda el histórico de alarmas como una imagen .
- Imprimir: Se imprime el histórico actual de alarmas .

4.5. PANTALLA FICHEROS

La última pantalla "Ficheros", les permite a los operarios e ingenieros, la búsqueda de datos del proceso en fechas determinadas en un formato tipo informe, permitiéndoles la descarga de estos formatos en archivos tipo excel.



Fecha	Caudal lit	Nivel lit	Ph lit	Turbidez lit	Conductividad lit	Oxígeno Disuelto lit	Caudal lit	Nivel lit	Ph lit	Turbidez lit	Costo lit
2022/07/13 09:13:30	108.08	4.5	8.5	0	0	0	99	4.5	8.5	0.28	1.22
2022/07/13 09:14:00	108.08	4.5	8.5	0	0	0	99	4.5	8.5	0.28	1.22
2022/07/13 09:14:30	109.19	4.5	8.5	0	0	0	99	4.5	8.5	0.28	1.22
2022/07/13 09:15:00	108.28	4.5	8.5	0	0	0	99	4.5	8.5	0.28	1.22
2022/07/13 09:15:30	110.19	4.5	8.5	0	0	0	99	4.5	8.5	0.28	1.22
2022/07/13 09:16:00	110.19	4.5	8.5	0	0	0	131	4.5	8.84	0.31	1.20
2022/07/13 09:16:30	109.78	4.5	8.5	0	0	0	131	4.5	8.85	0.31	1.20
2022/07/13 09:17:00	108.07	4.5	8.5	0	0	0	131	4.5	8.82	0.29	1.22
2022/07/13 09:16:40	110.19	4.5	8.5	0	0	0	131	4.5	8.84	0.28	1.22
2022/07/13 09:17:12	108.07	4.5	8.5	0	0	0	131	4.5	8.84	0.30	1.22

Fig 16. Pantalla visualización de Reportes.

Para la búsqueda de datos, se tienen dos opciones:

- Filtro de fecha y hora y botón de búsqueda de datos:





Estos filtros y botón fueron creados para determinar de manera más fácil un rango de tiempo.

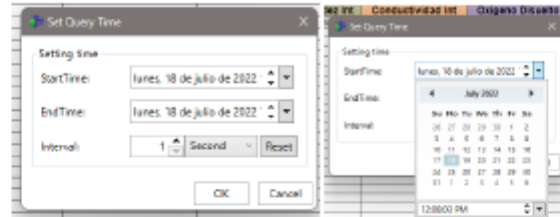
Para obtener un resultado de búsqueda, se deben de modificar manualmente los rangos de fecha y hora según lo deseado y dar clic sobre el botón "Búsqueda de datos".

- Selección de rango de tiempo desde barra de herramientas:



Esta opción tiene el mismo fin del método anterior, al presionarlo, aparecerá la siguiente ventana:







 	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
	CEIINC S.A.S.	Página 19 de 22



La cuál permite elegir un tiempo de inicio, fin y un intervalo, al definirlo se le da Ok, pero solo realizará la búsqueda si se da clic en el siguiente botón que aparece igualmente en la barra de herramientas:



El formato de reporte, tiene una barra de herramientas con las siguientes características:

- Selección de rango de tiempo: Es otra forma de definir fecha y hora de búsqueda .
- Búsqueda de información: Permite visualizar la información en el tiempo determinado. .
- Abrir un nuevo formato: .
- Guardar plantilla del formato: .
- Imprimir reporte: .
- Exportar reporte con datos almacenados: Se exporta el reporte en un archivo tipo excel .

5. PREGUNTAS FRECUENTES:

En este apartado se recogen algunas preguntas frecuentes y sus respuestas.

- Pregunta 1: ¿Por qué se cierra el programa cada 2 horas?

En la CPU del computador siempre debe estar conectada una USB de color azul, esta permite que el software de DiaView funcione correctamente. Si es retirada del computador, el programa solo permite 2 horas de funcionamiento.



 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP.  CEIINC S.A.S.	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
	CEIINC S.A.S.	Página 20 de 22



Fig 17. USB Software DiaView.

- Pregunta 2: ¿Por qué no aparece el seguimiento de las tendencias en las gráficas?

Cuando se reinicia el programa y/o se cierra y es abierto de nuevo, las gráficas de tendencias recogen información pero no se observa ningún seguimiento así:

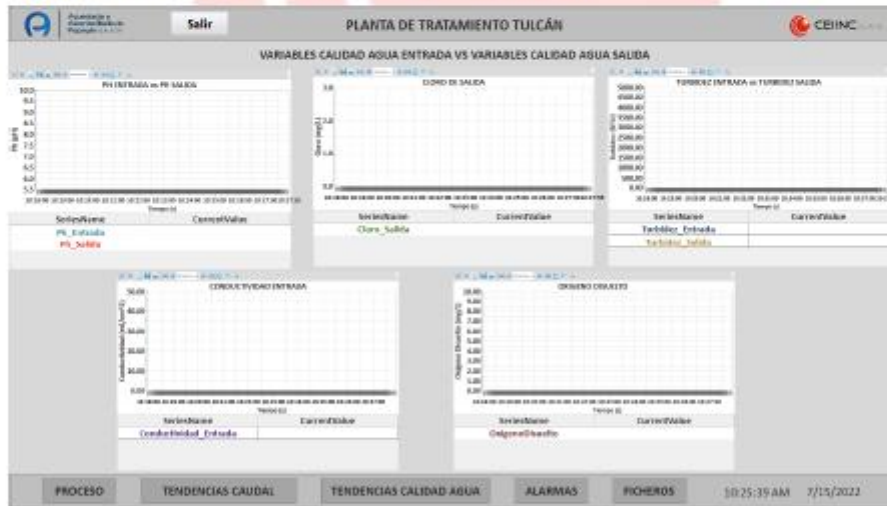




Fig 18. Gráficas de tendencias sin visualización de valores.

 	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
	CEIINC S.A.S.	Página 21 de 22

Esto sucede, debido a que el software espera el paso del cursor (Mouse) por la gráfica, solo así aparecerá la información de las variables en la tabla inferior y también la tendencia que sigue el comportamiento de la variable.

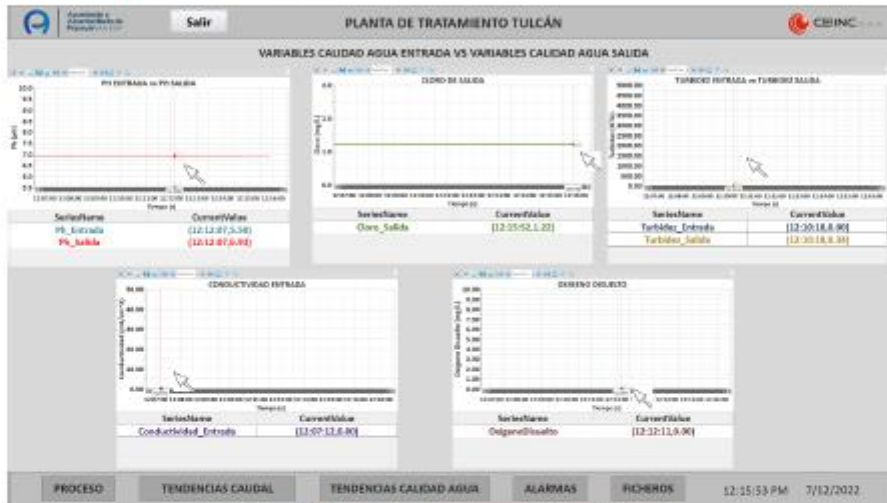


Fig 19. Paso de cursor por cada gráfica.

- Pregunta 3: ¿Por qué en el fichero no aparecen valores?

Cada vez que abran el programa, en la pantalla de ficheros aparecerá el formato de reporte sin datos, así:



Fecha	Caudal In	Nivel In	PH In	Turbidez In	Conductividad In	Orogeno Disuelto In	Caudal Out	Nivel Out	PH Out	Turbidez Out	Orogeno Out


Fig 20. Reporte sin búsqueda de datos

Para poder observar valores, se debe establecer el rango de búsqueda y dar clic en el botón

búsqueda datos

o hacerlo desde el icono , desde el cuál también se puede realizar la selección del rango,

 Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. ESP.  CEIINC S.A.S.	MANUAL HMI	SCADA PLC TULCÁN
		Fecha: Agosto 2022 Autor: Luisa Paredes
	CEIINC S.A.S.	Página 22 de 22

para después oprimir  y obtener el resultado de la búsqueda, sólo de cualquiera de las 2 maneras será posible que aparezcan los valores en la tabla.



Fecha	Caudal Int.	Nivel Int.	Ph Int.	Turbidez Int.	Conductividad Int.	Origen Origen Int.	Caudal Out.	Nivel Out.	Ph Out.	Turbidez Out.	Nivel Out.
2022/07/13 08:52:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22
2022/07/13 08:54:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22
2022/07/13 08:56:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22
2022/07/13 08:58:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22
2022/07/13 09:00:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22
2022/07/13 09:02:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22
2022/07/13 09:04:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22
2022/07/13 09:06:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22
2022/07/13 09:08:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22
2022/07/13 09:10:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22
2022/07/13 09:12:30	108.04	4.5	8.6	0	0	0	99	4.5	8.6	0	1.22

Fig 21. Reporte con resultado exitoso de búsqueda.

Anexo C: Pruebas de Protocolo FAT.

El anexo C es un documento PDF que corresponde el protocolo de pruebas FAT realizado a uno de los operarios que usa constantemente el sistema.

PRUEBAS DE ACEPTACIÓN DE FÁBRICA (FAT)

Proyecto: Desarrollo e implementación de sistema SCADA en la PTAP Tulcan del Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

Cliente: Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

Fecha: 12/10/2022.

PRUEBAS			
INSPECCIÓN VISUAL	CUMPLE	NO CUMPLE	OBSERVACIONES
Inspección de conexiones eléctricas.	X		
Comprobación visual de los componentes principales.	X		
Calibración de los instrumentos de medición.	X		
VERIFICACIÓN DE INTERFASE GRÁFICA			
Verificar acceso a cada una de las pantallas por medio de la barra de navegación.	X		
Verificar el título de cada una de las pantallas.	X		
Verificar que el contenido estático de las pantallas estén en concordancia con el proceso.	X		
Unidades de ingeniería.	X		
Animación de niveles.	X		
Animación de estado de equipos.	X		
Lectura de datos correspondientes en tendencias niveles.	X		
Lectura de datos correspondientes en tendencias calidad de agua.	X		
Visualización de alarmas.	X		
Selección de intervalos de fechas en reportes.	X		
Visualización de histórico de valores del proceso.	X		
Descarga de histórico de variables del proceso.	X		

Buen uso de los colores.	X		
Confortable a la vista.	X		
Información simplificada.	X		
Entrega de manual de operación de HMI.	X		Imprimir el Manual para que los operarios lo tengan a disposición en sus carpetas de archivo
Capacitaciones del personal.	X		

Observaciones adicionales: El sistema de supervisión y adquisición de datos para la integración de variables de analítica de entrada y salida en la PTAP Tulcán ha sido instalado con éxito y superó a satisfacción las pruebas de puesta en marcha realizadas.



Evaluador: Ivan Ramos.

Cargo: Operario en el Acueducto y Alcantarillado de Popayán.

Anexo D: Capacitación sobre el funcionamiento del HMI.

El anexo D muestra los operarios que fueron capacitados en el correcto funcionamiento y usabilidad del sistema de supervisión.



CEIINC S.A.S.
Analítica e instrumentación, su mejor opción!

Calle 28N # 6BN - 11 Cali - Colombia
PBX_ (572) 524 0161
soporte@ceiinc.co
techserv@ceiinc.co

Cod: FO-P07-02 Ver4- Mayo 2018

ASISTENCIA ENTRENAMIENTO TÉCNICO.

CEIINC, dando cabal cumplimiento al compromiso de ofrecer a sus clientes soporte, ofrece entrenamiento técnico sobre el principio de funcionamiento, operación, puesta en marcha y el mantenimiento general requerido para los sistemas suministrados. Siendo este un valor agregado a la venta, solo se realizará una vez por solicitud del cliente. En caso de requerir nuevos entrenamientos o capacitaciones estos generarán un costo.

Empresa: ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A. E.S.P.

Equipo(s): SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Alcance del entrenamiento: Entrenamiento Interfaz Gráfica.

Asistentes al entrenamiento:

NOMBRE	CEDULA	AREA	FIRMA
Aureliano Corderon B	18261029	Producción	<i>[Firma]</i>
Pomardo González Hernández	79122932	Producción	<i>[Firma]</i>
Tuván Fernan Rama P.	76313.981	Producción	<i>[Firma]</i>
Heber Hilton Morillo Tasse	76.029.408	Producción	<i>[Firma]</i>
Adalberto Perdomo Leiva	4'946.788	Producción	<i>[Firma]</i>
Luis Humberto Tejillo	10541371	Producción	<i>[Firma]</i>
THONJADER GONZALEZ	10305292	Producción	<i>[Firma]</i>
Fern. Andres Rivera	10307166	Producción	<i>[Firma]</i>
José Edwin Rivera R.	1061759718	Producción	<i>[Firma]</i>
Luis Eybar Carón N.	10'543.298	Producción	<i>[Firma]</i>
Alberto Velasco	76.211.140	Producción	<i>[Firma]</i>
Nilsen Hernan Garino A	76'285.413	Producción	<i>[Firma]</i>

Ciudad y Fecha: Agosto 2022, Popayán, Cauca

Personal asignado por CEIINC: Luisa Fernanda Paredes

Comentarios: _____

Bibliografía

- [1] A. y. A. d. Popayán, «Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P.,» 2022. [En línea]. Available: <https://aapsa.com.co/institucional/historia/>. [Último acceso: 2 Octubre 2022].
- [2] A. y. A. d. Popayán, «Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P.,» 2022. [En línea]. Available: <https://aapsa.com.co/institucional/infraestructura/plantas-de-tratamiento/>. [Último acceso: 2 Octubre 2022].
- [3] I. A. Ortíz, «Procedimiento operación de la planta de tratamiento de agua plantas Tablazo y Tulcán.,» Popayán, 2021.
- [4] A. R. Penin, *Sistemas SCADA* (2a. ed.), Barcelona: Marcombo, 2007.
- [5] J. M. T. Chicaiza, *Automatización de la central de generación Cuyabeno de petroproducción mediante la implementación de un sistema SCADA*, Quito: B - Escuela Politécnica Nacional, 2009.
- [6] *Deficinición*, 2008.
- [7] Aula21, «Centro de formación técnica para la industria,» [En línea]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-instrumentacion-industrial/>. [Último acceso: 6 Octubre 2022].
- [8] S. Imecsa, «Cursos de Electricidad,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.cursosdeelectricidad.com.mx/wp-content/uploads/2020/07/Qu%C3%A9-es-un-sensor-industrial-1.pdf>. [Último acceso: 5 Octubre 2022].
- [9] I. S. o. Automation, *ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*, United States of America, 2015.
- [10] I. S. o. Automation, «New Guidelines for Optimizing HMI Usability and Performance Published by ISA,» 22 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.isa.org/news-press-releases/2019/august/guidelines-for-hmi-usability-and-perfomance-isa>. [Último acceso: 8 Noviembre 2022].
- [11] I. S. o. Automation, «International Society of Automation,» [En línea]. Available: <https://www.isa.org/products/the-high-performance-hmi-handbook>. [Último acceso: 7 11 2022].
- [12] D. O. I. N. E. H. Bill Hollifield, *The High Performance HMI Handbook*, Houston: PAS, 2008.
- [13] M. Wilkins, «ISA-101.01, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems,» [En línea]. Available: <https://www.isa.org/intech/2020/september-october/isa-101-01-human-machine-interfaces-for-process-au>. [Último acceso: 7 Noviembre 2022].
- [14] I. S. o. Automation, «ISA101, Human-Machine Interfaces,» [En línea]. Available: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa101>. [Último acceso: 7 Noviembre 2022].
- [15] I. S. o. Automation, «ANSI/ISA-101.01-2015, Human Machine Interfaces for Process Automation Systems,» [En línea]. Available: <https://www.isa.org/products/ansi-isa-101-01-2015-human-machine-interfaces-for>. [Último acceso: 7 Noviembre 2022].

