

**Migración a HMI de alto rendimiento y  
normalización del nombramiento de variables del  
sistema SCADA basado en los estándares  
ANSI/ISA-101 y ANSI/ISA-5.1 para una central  
hidroeléctrica**



Universidad  
del Cauca

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Ingeniero en Automática Industrial

Modalidad: Práctica profesional

Estudiante  
NESTOR DAVID MAZABUEL ORTIZ

Universidad del cauca  
Facultad de ingeniería electrónica y telecomunicaciones  
Programa de ingeniería en automática industrial  
Popayán, Marzo del 2024

**Migración a HMI de alto rendimiento y  
normalización del nombramiento de variables del  
sistema SCADA basado en los estándares  
ANSI/ISA-101 y ANSI/ISA-5.1 para una central  
hidroeléctrica**



Universidad  
del Cauca

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Ingeniero en Automática Industrial

Modalidad: Práctica profesional

Estudiante: NESTOR DAVID MAZABUEL ORTIZ

Director/a: ING. LAURA BERMUDEZ CORDOBA

Codirector: MAG. OSCAR AMAURY ROJAS

Asesor de la empresa: ING. SIMON DANILLO GIRALDO

Universidad del cauca

Facultad de ingeniería electrónica y telecomunicaciones

Programa de ingeniería en automática industrial

Popayán, Marzo del 2024

# NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

**FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

---

**FIRMA DEL JURADO**

Popayán, Marzo del 2024

# AGRADECIMIENTOS.

Agradezco,

A Dios, por haberme dado la oportunidad de estudiar esta maravillosa carrera que culmino con este trabajo de grado, por darme las fuerzas, sabiduría y fortaleza para luchar y salir adelante cumpliendo este sueño.

A mis padres, Eudon Nestor Mazabuel y Yaneth Del Rosario Ortiz, 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, respetuosa, responsable y comprometida.

A mi hermana Sara Valentina Mazabuel, por su acompañamiento diario, por ser uno de mis más grandes motivos para salir adelante y por su apoyo durante todo este tiempo.

A mis abuelos en el cielo y en la tierra, quienes forjaron mi espíritu y me educaron con los valores y la motivación de salir adelante, impulsándome y demostrándome cuan capaz soy de alcanzar mis metas.

A la ingeniera y profesora Laura Bermúdez, por su paciencia, apoyo, orientación y dedicación a lo largo de la realización de este trabajo de grado. Gracias por ser mucho más que una profesora; gracias por ser un modelo para seguir, una fuente de sabiduría durante este recorrido académico, su compromiso con la excelencia académica ha sido una fuerte constante de inspiración para mí.

A la universidad del Cauca por ayudar a forjar mis bases como profesional de manera académica e integral. A la empresa Omnicon, quienes confiaron en mis capacidades personales y técnicas desde un inicio, dándome la oportunidad de desarrollar este proyecto en su compañía.

Al ingeniero Simón Danilo Zuluaga por su contribución y apoyo durante la realización de este proyecto, su orientación experta, consejos estratégicos y compromiso con este trabajo han sido fundamentales para su éxito

Gracias a todas las personas que hicieron parte de este proceso de construcción de conocimientos y permitirme cumplir mi sueño de llamarme con orgullo Ingeniero en Automática Industrial.

# Índice

<b>1. SISTEMA SCADA</b>	<b>12</b>
1.1. ESTÁNDARES Y NORMAS ANSI/ISA . . . . .	14
1.1.1. NORMA ISA 101 . . . . .	14
1.1.2. NORMA ISA 5.1. . . . .	15
1.2. OSIsoft PI SYSTEM E HISTORIAN. . . . .	16
1.3. FUNCIONAMIENTO Y GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDRO- ELÉCTRICA . . . . .	18
1.4. ARQUITECTURA DE CONTROL DE LA CENTRAL . . . . .	20
<b>2. IMPORTANCIA DE LAS ETIQUETAS EN LA INDUSTRIA.</b>	<b>24</b>
2.1. NORMA ANSI ISA 5.1. . . . .	25
2.1.1. IDENTIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS: . . . . .	26
2.2. DISEÑO DEL NOMBRAMIENTO DE VARIABLES DE PROCESO . . . . .	27
2.3. ESTANDARIZACIÓN DEL NOMBRAMIENTO DE VARIABLES . . . . .	29
<b>3. IMPORTANCIA DE SCADA DE ALTO RENDIMIENTO EN LA INDUSTRIA.</b>	<b>34</b>
3.1. NORMA ISA 101 . . . . .	34
3.1.1. ETAPA 1: SISTEMA DE NORMAS . . . . .	36
3.1.2. ETAPA 2: PROCESO DE DISEÑO . . . . .	47
<b>4. ENTORNO DE SIMULACIÓN</b>	<b>56</b>
4.1. ETAPA 3: IMPLEMENTACIÓN. . . . .	60
4.2. ENTORNO DE PRODUCCIÓN . . . . .	60
4.2.1. ETAPA 4: FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN. . . . .	61
<b>5. PRUEBAS SAT</b>	<b>69</b>
5.1. CAPACITACIONES . . . . .	70
5.2. MANTENIMIENTO Y GESTIÓN: . . . . .	70
5.3. CIERRE DEL PROYECTO. . . . .	71
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>72</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>74</b>
<b>8. ANEXOS</b>	<b>76</b>
8.1. ANEXO 1 . . . . .	76
8.2. ANEXO 2 . . . . .	78
8.3. ANEXO 3 . . . . .	82
8.4. ANEXO 4 . . . . .	88
8.5. ANEXO 5 . . . . .	98
8.6. ANEXO 6 . . . . .	103

## Índice de figuras

1.	Arquitectura de un sistema SCADA . . . . .	12
2.	Arquitectura del PI System de OSIsoft . . . . .	16
3.	Componentes de una central Hidroeléctrica . . . . .	18
4.	Partes de una turbina hidráulica . . . . .	19
5.	Arquitectura de Control . . . . .	22
6.	Diagrama de instrumentación U1 . . . . .	23
7.	Estructura de estandarización ISA 5.1 . . . . .	26
8.	Arquitectura Unidad 1 . . . . .	27
9.	Ciclo de vida HMI . . . . .	36
10.	Pantalla Bienvenida central hidroeléctrica . . . . .	37
11.	Pantalla Regulador de velocidad unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	38
12.	Pantalla Regulador de tensión unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	39
13.	Pantalla Compuertas unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	40
14.	Pantalla Pozos central hidroeléctrica . . . . .	41
15.	Banner de navegación central hidroeléctrica . . . . .	43
16.	Resolución Pantallas central hidroeléctrica . . . . .	43
17.	Flujo y estructura de alarmas central hidroeléctrica . . . . .	44
18.	Objeto gráfico Moto bombas . . . . .	45
19.	Objeto gráfico Válvulas . . . . .	45
20.	Objeto gráfico Válvula esférica . . . . .	46
21.	Objeto gráfico Tacómetros . . . . .	46
22.	Objeto gráfico Tanques . . . . .	47
23.	Pantalla Bienvenida alto rendimiento . . . . .	50
24.	Pantalla Regulador de velocidad unidad 1 alto rendimiento . . . . .	51
25.	Pantalla Registros unidad 1 alto rendimiento . . . . .	52
26.	Pantalla alarmas panel general unidad 1 alto rendimiento . . . . .	52
27.	Pantalla Compuertas unidad 1 alto rendimiento . . . . .	54
28.	Pantalla Pozos alto rendimiento . . . . .	55
29.	Creación de Tags en Software . . . . .	58
30.	Evidencia de Creación de Tags en Software . . . . .	59
31.	Reemplazo Tags en sistema de Monitoreo . . . . .	59
32.	Evidencia de funcionamiento 1 . . . . .	61
33.	Evidencia de funcionamiento pantalla Bienvenida . . . . .	62
34.	Evidencia de funcionamiento pantalla Registros . . . . .	63
35.	Evidencia de funcionamiento pantalla Alarmas . . . . .	63
36.	Evidencia de funcionamiento pantalla Regulador de Velocidad . . . . .	64
37.	Evidencia de funcionamiento pantalla Niveles . . . . .	65
38.	Evidencia de funcionamiento pantalla Pozos . . . . .	65
39.	Evidencia de funcionamiento Sala Control . . . . .	66
40.	Complemento Excel Historian . . . . .	67
41.	Funcionamiento del Historian . . . . .	68
42.	Pantalla Válvula Esférica unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	82
43.	Pantalla Generador arranque – paro unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	83

44.	Pantalla Secuencia arranque unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	83
45.	Pantalla Secuencia de paro unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	84
46.	Pantalla Condición de arranque unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	85
47.	Pop Up Apertura Compuertas unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	85
48.	Pop Up Arranque unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	85
49.	Pop Up Cierre Compuerta unidad 1 central hidroeléctrica . . . . .	86
50.	Pantalla Niveles central hidroeléctrica . . . . .	86
51.	Pop Up Descripciones central hidroeléctrica . . . . .	87
52.	Pantalla Alarmas Líneas central hidroeléctrica . . . . .	87
53.	Pantalla Válvula esférica unidad 1 alto rendimiento . . . . .	88
54.	Pantalla Generador arranque – paro unidad 1 alto rendimiento . . . . .	89
55.	Pantalla Secuencia de arranque unidad 1 alto rendimiento . . . . .	89
56.	Pantalla Secuencia paro unidad 1 alto rendimiento . . . . .	90
57.	Pantalla Condición de arranque unidad 1 alto rendimiento . . . . .	90
58.	Pantalla Confirmaciones compuerta unidad 1 alto rendimiento . . . . .	91
59.	Pop Up Apertura total Compuerta unidad 1 alto rendimiento . . . . .	91
60.	Pop Up Apertura Válvula Esférica unidad 1 alto rendimiento . . . . .	92
61.	Pop Up Arranque unidad 1 alto rendimiento . . . . .	92
62.	Pop Up Cierre Compuerta unidad 1 alto rendimiento . . . . .	92
63.	Pop Up Cierre Válvula Esférica unidad 1 alto rendimiento . . . . .	93
64.	Pop Up Confirmación arranque unidad 1 alto rendimiento . . . . .	93
65.	Pop Up Confirmación paro unidad 1 alto rendimiento . . . . .	93
66.	Pop Up Descripciones unidad 1 alto rendimiento . . . . .	94
67.	Pop Up Paro unidad 1 alto rendimiento . . . . .	94
68.	Pop Up Valor Compuerta unidad 1 alto rendimiento . . . . .	94
69.	Pop Up Válvula esférica remoto unidad 1 alto rendimiento . . . . .	95
70.	Pantalla Niveles alto rendimiento . . . . .	95
71.	Pantalla Túnel fugas alto rendimiento . . . . .	96
72.	Pantalla Unifilar alto rendimiento . . . . .	96
73.	Pantalla Alarmas Líneas alto rendimiento . . . . .	97
74.	Pantalla Alarmas Servicios generales alto rendimiento . . . . .	97
75.	Creación de Tags .txt en PLC . . . . .	98
76.	Importación de Archivo en PLC para estandarización de Tags . . . . .	99
77.	Find/Replace de Tags en PLC . . . . .	99
78.	Find/Replace de tags para SCADA y PANEL VIEWS .CSV . . . . .	100
79.	Importación de tags en Factory Talk View .CSV . . . . .	100
80.	Estandarización de TAGS . . . . .	101
81.	Direccionamiento en TAG HMI . . . . .	101
82.	Evidencia de funcionamiento . . . . .	102

## Índice de tablas

1.	Equipos Chasis Unidad 1 . . . . .	28
2.	Equipos Chasis PLC Válvula Esférica Unidad 1 . . . . .	29
3.	Recuento Entradas y Salidas Equipos Chasis Unidad 1 . . . . .	30
4.	Recuento Entradas y Salidas Equipos Chasis Válvula Esférica Unidad 1 . . . . .	30
5.	Explicación diseño de etiquetas bajo estándar ISA 5.1 . . . . .	31
6.	Propuesta etiquetas bajo estándar ISA 5.1 controlador Unidad 1 . . . . .	32
7.	Propuesta etiquetas bajo estándar ISA 5.1 controlador Válvula Esférica 1 . . . . .	32
8.	Etiquetado bajo estándar ISA 5.1 controlador Unidad 1, 2 y 3 . . . . .	33
9.	Falencias Pantalla Bienvenida . . . . .	37
10.	Falencias Pantalla Regulador de Velocidad . . . . .	38
11.	Falencias Pantalla Regulador de Tensión . . . . .	39
12.	Falencias Pantalla Compuertas . . . . .	40
13.	Falencias Pantalla Pozos Drenaje . . . . .	41
14.	Análisis características HMI alto rendimiento . . . . .	42
15.	Pantallas a actualizar según funcionalidad . . . . .	49
16.	Comparación nueva implementación Pantalla Bienvenida . . . . .	50
17.	Comparación nueva implementación Pantalla Regulador de velocidad . . . . .	51
18.	Comparación nueva implementación Pantalla Registros y alarmas . . . . .	53
19.	Comparación nueva implementación Pantalla Compuertas . . . . .	54
20.	Comparación nueva implementación Pantalla Pozos . . . . .	55
21.	Procedimiento implementación Etiquetas estandarizadas ISA 5.1 . . . . .	57
22.	Consolidado de TAGS estandarizadas ISA 5.1 . . . . .	58
23.	Formato Pruebas SAT HMI . . . . .	69
24.	Identificación y nombramiento de instrumentos . . . . .	76
25.	Identificación y nombramiento de instrumentos . . . . .	77
26.	Representación gráfica Válvulas ISA 5.1 . . . . .	78
27.	Representación gráfica Bombas ISA 5.1 . . . . .	78
28.	Representación gráfica Indicadores ISA 5.1 . . . . .	79
29.	Representación gráfica Motores ISA 5.1 . . . . .	79
30.	Representación gráfica Controladores ISA 5.1 . . . . .	80
31.	Representación gráfica Tanques ISA 5.1 . . . . .	80
32.	Representación gráfica Señales ISA 5.1 . . . . .	81

# INTRODUCCIÓN.

## JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una empresa líder en el área de generación energética cuya identidad es reservada por motivos de confidencialidad con la empresa Omnicon, la cual es apasionada por las energías renovables y la eficiencia energética con su misión de “Ser una empresa líder en el sector energético enfocado en la generación y comercialización de energía sostenible y confiable, brindando soluciones innovadoras y de calidad para sus clientes con el fin de contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades en las que opera”, busca constantemente el crecimiento industrial bajo las normativas necesarias para su operación en el país, trazando estrategias de crecimiento y transformación con el objetivo principal de expandirse hacia nuevos mercados y atender a una extensa base de clientes para establecerse como un competidor líder y a la vanguardia del sector eléctrico. Para lograrlo, la empresa busca integradores de sistemas de control que ofrezcan soluciones de automatización innovadoras que se adapten al proceso y a las tecnologías actuales de generación de energía eléctrica que se maneja en la industria, como Omnicon, con el fin de cumplir con los objetivos y metas planteadas logrando situarse como un competidor fuerte en mercado.

El proyecto es desarrollado por la empresa Omnicon la cual cuenta con las capacidades técnicas para ofrecer soluciones innovadoras y de calidad centrándose en llevar a cabo una transformación y migración tecnológica basada en estándares, teniendo en cuenta la infraestructura y tecnología actual de las centrales hidroeléctricas, haciendo énfasis en una de sus principales subestaciones ubicada en el Valle del Cauca la cual genera 345 megavatios-hora (MWh) ostentando la mayor capacidad instalada de la compañía de generación eléctrica, con el fin de validar el impacto obtenido y posteriormente evaluar los resultados y poder implementar los procedimientos a todas las centrales de la empresa en el país.

En este contexto, la central hidroeléctrica requiere estar a la vanguardia en las últimas tecnologías y continuar orientando su portafolio de energía tradicional hacia energías limpias propiciando la transición hacia la movilidad eléctrica, evitando temas como la obsolescencia tecnológica, la complejidad de operaciones, el tiempo de respuesta y toma de decisiones demoradas, además del incumplimiento normativo. Para esto es importante aclarar que la automatización industrial ha tenido un impacto significativo en el contexto de las centrales hidroeléctricas, ya que mediante procedimientos e implementaciones tecnológicas se ha mejorado la eficiencia, la seguridad y la confiabilidad en sus operaciones, permitiendo optimizar los procesos de generación y distribución de energía, monitoreando y controlando en tiempo real los sistemas de automatización obteniendo una visión del estado de todos los componentes y proporcionando una mayor seguridad operativa al minimizar la intervención humana en tareas riesgosas y peligrosas. A pesar de generar una gran cantidad de impactos positivos, se han identificado deficiencias en temas como el bajo rendimiento de la interfaz hombre maquina (HMI) de toda la planta basado en la normativa planteada por la ISA-101 (Human Machine

Interfaces for Process Automation Systems), la falta de estandarización de etiquetas de equipos en programación basado en la norma ISA-5.1 (Instrumentation Symbols and Identification) y la ausencia de una base de datos para el almacenamiento de registros y datos históricos del proceso, problemas que afectan la eficiencia, la seguridad y la productividad del sistema, generando impactos negativos como:

- Accidentes y pérdidas de equipos debido a la falta de visibilidad de los parámetros operativos y el estado general de la planta.
- Interfaces confusas, con gráficos y colores fuertes.
- Limitaciones en la capacidad de control, complejidad y confusión en la programación.
- Dificultades en la integración de sistemas, retrasos en el mantenimiento y la solución de problemas
- Incapacidad en el cumplimiento de requisitos normativos de generación de energía por pérdidas de datos históricos, entre otros.

Con el fin de disminuir las problemáticas, mejorar la eficiencia y el rendimiento general de las operaciones, optimizar los procesos de generación, distribución y comercialización de energía, facilitar la toma de decisiones basadas en datos precisos y actualizados, asegurar que la planta cumpla con los requisitos regulatorios y normativos establecidos para la empresa, evitando sanciones y asegurando un funcionamiento adecuado y ético de las operaciones, este proyecto enfoca su interés en migrar la interfaz HMI actual a una interfaz de alto rendimiento, realizar una estandarización de etiquetas y la creación de puntos históricos de los módulos I/O análogos de la central teniendo en cuenta los lineamientos expuestos en el estándar ANSI/ISA-101 y ANSI/ISA5.1, enfocado en las unidades de generación 1, 2 y 3 las cuales cumplen con la producción de energía teniendo en cuenta que cada unidad está formada por el conjunto de generación mostrado en la **Figura 4**, y son las responsables de entregar energía eléctrica con una capacidad igual a 115 megavatios-hora (MWh) por unidad para suplir con gran parte de la demanda energética del país.

Con la implementación de este proyecto se espera mejorar la competitividad de la empresa en el mercado energético, lo que permite ofrecer un servicio más confiable y eficiente a los clientes con el fin de aumentar su participación en el mercado y obtener una mejora en la imagen corporativa.

## **OBJETIVO GENERAL**

Estandarizar el sistema de supervisión y adquisición de datos basados en ANSI/ISA-101 para el diseño de interfaces gráficas y ANSI/ISA-5.1 para el nombramiento de variables de las unidades de generación de energía 1, 2 y 3 de una central hidroeléctrica

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estandarizar el nombramiento de las variables de proceso del PLC en las unidades de generación 1, 2 y 3, basado en la norma ANSI/ISA-5.1 para la posterior implementación de los puntos de historian.
- Diseñar el HMI de alto rendimiento para las unidades de generación 1, 2 y 3 siguiendo los lineamientos del estándar ANSI/ISA-101
- Implementar el HMI de alto rendimiento, el nombramiento estándar de las variables de proceso y la creación de puntos de historian en las unidades de generación 1, 2 y 3

# CAPITULO I: CONTEXTUALIZACIÓN

## 1. SISTEMA SCADA

SCADA significa Sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos. El término se refiere a un sistema que combina software y hardware, lo que permite a las organizaciones industriales y fábricas controlar procesos y equipos. El sistema recibe datos relacionados con el proceso de los dispositivos y equipos de toda la operación, ya sea en diferentes ubicaciones o dentro de una instalación con el fin de usarlos para monitorear procesos, mantener y mejorar la eficiencia, mejorar la calidad y la rentabilidad, reducir gastos, identificar problemas y emergencias, tratarlos de manera rápida y eficiente con el fin de mantener las condiciones óptimas de operación del proceso y responder efectivamente ante fallas [5].

Un sistema SCADA consta de tres componentes principales las cuales aseguran que los datos se transmitan desde el equipo que debe monitorearse y controlarse (sensores, motores, etc.) a una interfaz donde los datos pueden analizarse y usarse para generar informes. El vínculo de conexión en la arquitectura SCADA son los controladores lógicos programables (PLC) o las unidades terminales remotas (RTU) los cuales son dispositivos que interactúan tanto con el equipo (también llamados dispositivos de campo), como con las HMI, que son interfaces hombre-máquina o interfaces gráficas de usuario

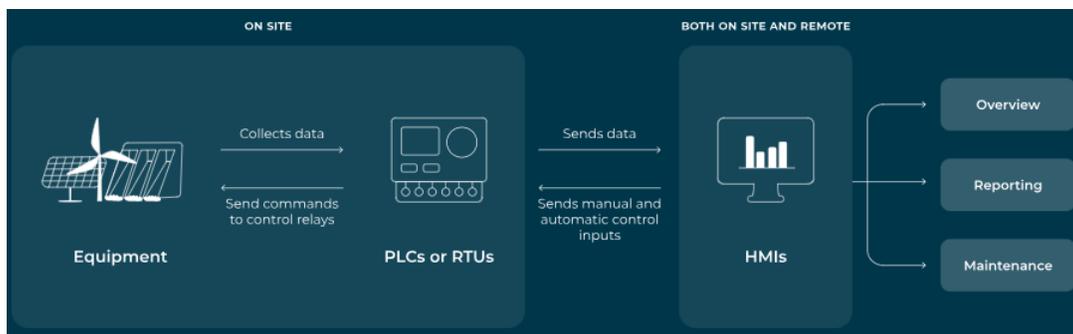


Figura 1: Arquitectura de un sistema SCADA

Fuente tomada de: “Learn all about SCADA systems: What is SCADA?” [6]

Como muestra la **Figura 1**, los PLC y RTU funcionan como puntos de recopilación locales que envían y traducen datos a la HMI remota o en sitio y envían comandos de control a los dispositivos de campo. Los operadores humanos acceden a los datos a través de la HMI, que puede estar basada en la nube o en servidores propios. El software interpreta y muestra los datos en un asunto fácil de entender, por lo que los operadores pueden analizar y reaccionar a las alarmas de forma rápida y sencilla. Algunos sistemas SCADA también incluyen opciones para acciones de control automático y un motor de informes automáticos [6].

La central hidroeléctrica a intervenir cuenta con un sistema de control distribuido debido al gran número de controladores ubicados en varias secciones de la planta, los cuales están conectados a través de una red de comunicaciones de alta velocidad donde las aplicaciones son distribuidas a cada controlador dedicados a realizar procesos específicos en cada área; La elección de esta clase de arquitectura viene dada por las ventajas y capacidades que presenta, ya que la lógica de control permite ser más flexible ante las implementaciones de nuevos equipos, permitiendo el mantenimiento eficiente y ágil de cada dispositivo, evitando en caso de fallas la pérdida de comunicación y afectaciones en otras áreas [7].

Para realizar el monitoreo de toda la planta la central usa la suite de Rockwell Automation el cual ofrece una herramienta robusta y flexible para implementación de su SCADA con la capacidad de monitoreo, adquisición de datos y control del proceso en tiempo real llamada Factory Talk View; Esta herramienta atiende las necesidades de visualización conectando a las personas con la información necesaria y relevante del proceso permitiendo la integración del hardware y software de producción, además de tener acceso a las herramientas de análisis para la toma de decisiones de forma rápida y asertiva con la capacidad de monitorear su sistema de control basado en la arquitectura distribuida desde una o varias estaciones de trabajo [8].

El Sistema de Adquisición de Datos y Control Supervisado (SCADA) es una pieza fundamental en el funcionamiento de la central hidroeléctrica, su importancia radica en su capacidad para desempeñar un papel central en el control y monitoreo de toda la planta, convirtiéndose en el componente más crítico para el funcionamiento exitoso de la instalación ya que es el encargado de la ejecución de las siguientes actividades

- **Control:** El sistema SCADA permite un control completo de todos los procesos y dispositivos en la central hidroeléctrica. Esto incluye la operación de las turbinas, las compuertas, los generadores, las válvulas y otros equipos clave, al proporcionar un punto de acceso central para controlar estos elementos, el SCADA garantiza que la planta funcione de manera segura.
- **Monitoreo en Tiempo Real:** La capacidad de supervisar en tiempo real es crucial en la central hidroeléctrica, ya que cualquier cambio en las condiciones operativas o problemas técnicos pueden tener un impacto significativo en la generación de energía. El SCADA permite a los operadores monitorear constantemente el estado de la planta y tomar medidas correctivas de inmediato en caso de anomalías.
- **Optimización de Recursos:** El SCADA recopila datos de sensores y dispositivos en toda la planta y los presenta de manera comprensible para los operadores. Esto permite la optimización de los recursos, como la gestión del flujo de agua y la generación de energía, lo que ahorra costos y maximiza la producción
- **Seguridad:** La seguridad en la central hidroeléctrica es de suma importancia debido a la presencia de equipos de alta potencia y la manipulación de grandes volúmenes de agua. El SCADA permite la supervisión continua de las condiciones

de seguridad, como la presión, la temperatura y el flujo de agua, lo que contribuye a prevenir accidentes y garantizar la seguridad de los trabajadores y del entorno

- **Diagnóstico de Fallas:** El SCADA es fundamental para identificar y diagnosticar problemas técnicos o fallas en la planta. Proporciona alertas tempranas visuales y sonoras sobre posibles problemas, lo que permite a los operadores tomar medidas preventivas antes de que las fallas se conviertan en problemas graves que puedan afectar la operación y la generación de energía
- **Registro Histórico:** El SCADA es enlazado con el PI de OSIsoft y almacena datos históricos, lo que facilita el análisis de tendencias y el seguimiento del rendimiento a lo largo del tiempo. Esta información es valiosa para la toma de decisiones a largo plazo, la planificación de mantenimiento y la optimización de la central hidroeléctrica

Partiendo de lo anterior, es evidente que el SCADA desempeña un papel crítico en la central hidroeléctrica al proporcionar un control integral, monitoreo en tiempo real, optimización de recursos, seguridad, diagnóstico de fallas y registros históricos. Este sistema es el núcleo que permite la operación segura de la planta, garantizando así la producción continua de energía hidroeléctrica, una fuente de energía limpia y renovable de vital importancia en la matriz energética actual[15][17][20].

## **1.1. ESTÁNDARES Y NORMAS ANSI/ISA**

El objetivo del uso y aplicación de las normas ANSI/ISA en la automatización industrial es estandarizar y unificar las prácticas y procedimientos en este ámbito para asegurar la eficiencia, seguridad y compatibilidad de los sistemas automatizados. Estas normas proporcionan directrices técnicas desarrolladas por expertos en la industria, que permiten una implementación coherente y exitosa de sistemas de control y automatización, buscando implementar sistemas seguros y confiables, promoviendo la interoperabilidad entre diferentes equipos y fabricantes, reduciendo costos y facilitando la actualización tecnológica.

Entre estas normas, a lo largo de este proyecto se destaca la ISA 101, que se enfoca en las interfaces hombre-máquina (HMI) en los entornos de automatización industrial y la ISA 5.1 que se enfoca en la estandarización y la claridad en la representación de procesos y sistemas en la industria de automatización:

### **1.1.1. NORMA ISA 101**

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el principal vínculo que existe entre los operarios y los sistemas automatizados de control que se encargan de proporcionar información sobre el proceso, el cual debe contar con un buen diseño, estar dotado de formas fáciles de navegación con opciones claras que aumentan la productividad y la seguridad en la operación reduciendo distractores con el fin de impactar de forma positiva a cualquier compañía.

El comité de la ISA se formó para establecer estándares, prácticas recomendadas e informes técnicos relacionados con las HMI en aplicaciones de proceso industrial y manufactura por lo cual en Junio del 2010, el comité ISA101 realizó la publicación de la norma haciendo evidente la importancia del correcto diseño que se debe considerar en estas interfaces, estableciéndose en 2015 como el estándar ANSI/ISA-101.01-2015 cuyo objetivo es brindar las normas, prácticas recomendadas y/o informes técnicos relacionados con las interfaces hombre-máquina en aplicaciones de fabricación, los cuales están dirigidos a los responsables de diseñar, implementar, usar y/o administrar interfaces hombre-máquina, definiendo la terminología, los modelos y los procesos de trabajo recomendados para mantener y desarrollar una HMI de alto rendimiento y así lograr un sistema de control de procesos más confiable, mejorando las habilidades del usuario para detectar, diagnosticar y responder adecuadamente ante situaciones anormales dando paso a la innovación y el desarrollo continuo en la automatización industrial. [7], [8].

### **1.1.2. NORMA ISA 5.1.**

Durante la última década Colombia se ha convertido en uno de los países latinoamericanos que registra un mayor crecimiento en el desarrollo de sus procesos productivos. En muchos casos, este crecimiento ha traído consigo la instalación de nuevas plantas industriales junto con la expansión y modernización de las existentes, buscando con ello competir de manera eficaz en los mercados internacionales.

Uno de los pasos para asumir estos compromisos al interior de una organización es documentar de forma clara, precisa y global, los procesos de ingeniería. La norma ISA 5.1, también conocida como ANSI/ISA-5.1-2009 "Instrumentación y Control de Sistemas de Procesos - Diagramas de Flujo y Símbolos", es el estándar básico que definió ISA a nivel mundial para propósitos de documentación de sistemas de control, automatización y seguridad. Este estándar deriva otros y soporta la nomenclatura de estos sistemas dentro de otros documentos, prácticas recomendadas y reportes técnicos, estableciendo los medios uniformes para representar e identificar instrumentos o dispositivos, especificando las funciones inherentes, los sistemas y las aplicaciones de los instrumentos utilizados para la medición, el seguimiento y el control [9].

El objetivo de ANSI/ISA 5.1 es cumplir con los procedimientos de varios usuarios que necesitan identificar y representar gráficamente equipos y sistemas de medición. Los símbolos y métodos de identificación establecidos en esta norma están destinados a servir como ayudas de conceptualización, herramientas de diseño, dispositivos de enseñanza y medios de comunicación concisos y específicos en todo tipo de documentos técnicos de ingeniería, adquisición, construcción y mantenimiento. Esto incluye en gran medida diagramas de tuberías e instrumentación, no solo mejorando la comunicación y la eficiencia en el diseño, sino que también establece un marco para la representación visual consistente y comprensible en la automatización industrial [10], [11].

## 1.2. OSIsoft PI SYSTEM E HISTORIAN.

OSIsoft ofrece una infraestructura abierta que conecta datos, operaciones y personas basados en sensores, permitiendo inteligencia en tiempo real. Su pilar, el PI System (Plant Information) es el estándar de la industria para la gestión de eventos y datos en tiempo real. Este sistema permite a las empresas aprovechar los datos basados en sensores para mejorar la sostenibilidad, calidad y seguridad. La suite presenta una arquitectura que incluye componentes interconectados como el PI Server, actuando como un repositorio central para almacenar datos en tiempo real e históricos, Interfaces de Datos que recopilan información de diversas fuentes, el PI AF (Asset Framework) que estructura los datos y organiza activos, Herramientas de Análisis para explorar patrones y tendencias, e Interfaces de Usuario y Aplicaciones para ofrecer visualizaciones intuitivas. Juntos estos componentes conforman una plataforma completa que potencia la toma de decisiones informada y la optimización de procesos industriales [12], [13].

El PI System y el PI Historian de OSIsoft son herramientas fundamentales en la industria de la automatización, que desempeñan un papel crítico en la gestión de datos y el análisis preciso en entornos industriales. Partiendo de la arquitectura mostrada en la **Figura 2**, el PI System como una plataforma integral, ofrece la capacidad de capturar, almacenar y analizar datos en tiempo real provenientes de diversas fuentes, permitiendo a las organizaciones tomar decisiones informadas y rápidas. Por otro lado, el PI Historian se enfoca en la recopilación y almacenamiento de datos históricos, proporcionando un valioso recurso para el análisis retrospectivo y la identificación de tendencias a largo plazo.

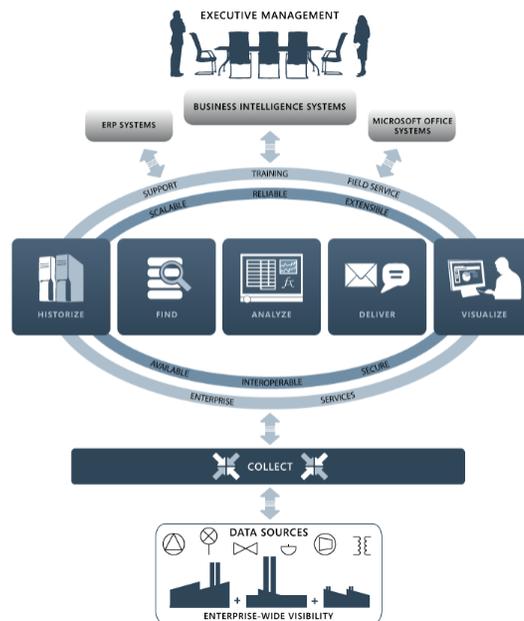


Figura 2: Arquitectura del PI System de OSIsoft  
Fuente tomada de: “PI System — AVEVA” [14]

Las dos soluciones permiten a las empresas mejorar la calidad, aumentar la seguridad y reducir costos a través de una toma de decisiones respaldada por datos sólidos. La capacidad de visualizar patrones, identificar oportunidades de mejora y prever posibles problemas es esencial en entornos donde la automatización y el control precisos son críticos, ya que estos softwares han transformado la forma en que las organizaciones manejan y utilizan datos en la industria de la automatización. Su capacidad para capturar información en tiempo real y a lo largo del tiempo, y convertirla en conocimientos valiosos, es un activo inestimable en la búsqueda constante de la mejora continua y la optimización en los procesos industriales [14].

El sistema Historian desempeña un papel crítico en la central hidroeléctrica al permitir el almacenamiento y despliegue eficiente de datos históricos. Su importancia radica en su capacidad para recopilar, organizar y proporcionar acceso a una gran cantidad de información pasada, lo que brinda numerosos beneficios a la operación y gestión de la planta, ya que desempeña las siguientes actividades:

- Registro y análisis Integral: El Historian está diseñado para capturar y almacenar una amplia variedad de datos históricos, desde la producción de energía y el estado de los equipos hasta las condiciones operativas y ambientales. Esto crea un archivo completo y detallado que abarca toda la historia de la central hidroeléctrica. A partir de este registro se habilita la posibilidad de generar un análisis en retrospectiva, lo que permite a los operadores y a los ingenieros identificar tendencias, patrones y comportamientos pasados. Estos análisis respaldan la toma de decisiones informadas, lo que puede conducir a mejoras en las operaciones y en la planificación estratégica a largo plazo.
- Mantenimiento Predictivo: El acceso a datos históricos permite la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo. Al analizar el rendimiento pasado de los equipos y sistemas, es posible identificar signos tempranos de desgaste o problemas potenciales, lo que facilita la programación de mantenimiento preventivo y la reducción de tiempos de inactividad no planificados
- Seguridad y Respaldo en Incidentes: En caso de incidentes, los datos históricos son fundamentales para investigar y comprender las causas. Son usados para ayudar a reconstruir eventos y tomar medidas correctivas efectivas. Además, respaldan la documentación en caso de auditorías o investigaciones regulatorias
- Cumplimiento Normativo: Los organismos reguladores y agencias gubernamentales requieren que la central hidroeléctrica mantenga registros precisos de su operación, con el Historian se facilita la tarea de recopilación y presentación de datos históricos para demostrar el cumplimiento de regulaciones y normativas.

Teniendo en cuenta esta información, el sistema Historian en la central hidroeléctrica no solo almacena datos pasados, sino que actúa como un recurso valioso e indispensable para el análisis, la seguridad y la optimización operativa, proporcionando la información necesaria para que la central funcione de manera segura y cumpla con las expectativas y regulaciones en un sector energético cada vez más crítico y regulado [18][19].

### 1.3. FUNCIONAMIENTO Y GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

La energía hídrica es aquella que tiene el agua cuando se mueve a través de un cauce o cuando se encuentra embalsada (energía potencial) a cierta altura y se deja caer para producir energía eléctrica, esta fuente de energía renovable se encuentra disponible en las zonas que presentan suficiente cantidad de agua donde el uso más significativo la constituyen las centrales hidroeléctricas, las cuales están compuestas en su mayoría por los elementos mostrados en la **Figura 3** los cuales requieren de un gran desarrollo estructural que varía de acuerdo con las condiciones del entorno, ya que son instalaciones que permiten el aprovechamiento de las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos para transformarlas en energía eléctrica utilizando turbinas acopladas a generadores, teniendo en cuenta que después de este proceso el agua se devuelve al río en las condiciones en que se tomó, de modo que se puede volver a usar por otra central situada aguas abajo o para consumo [1], [2].

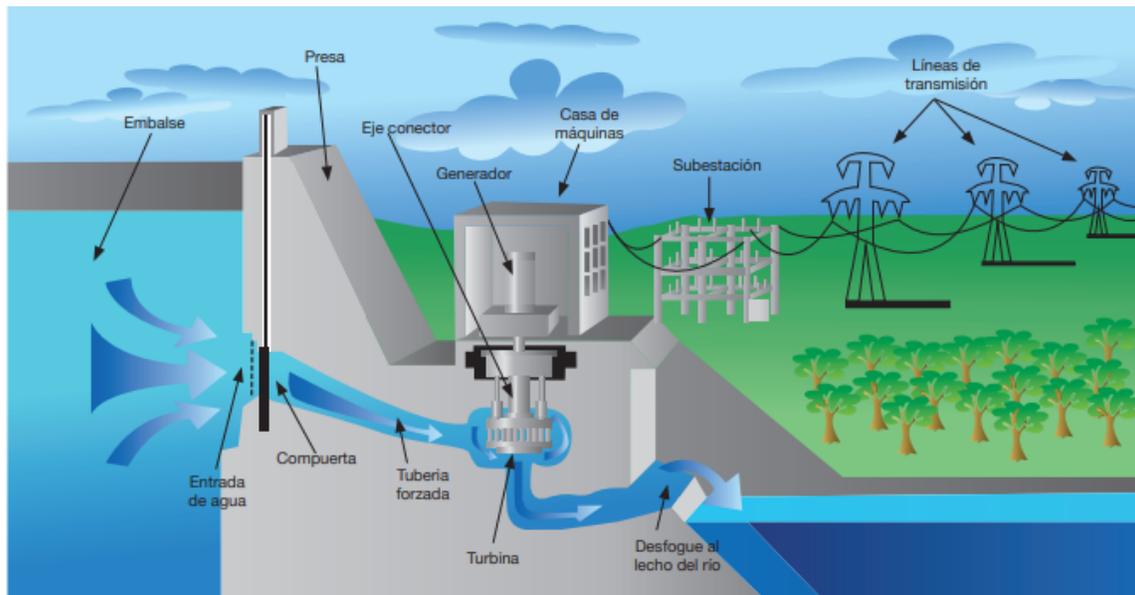


Figura 3: Componentes de una central Hidroeléctrica

Fuente tomada de: “Central hidroeléctrica — Enel Green Power” [1]

- Presa: Es la encargada de almacenar el agua y provocar una elevación de su nivel que permita encauzarla para su utilización hidroeléctrica. También se emplea para regular el caudal de agua que circula por el río y aumentar el potencial hidráulico
- Canal de derivación: Es un conducto que canaliza el agua desde el embalse por medio de túneles excavados que hacen uso de compuertas o válvulas para regular el caudal. En su origen dispone de una o varias tomas de agua protegidas por medio de rejillas metálicas para evitar que se introduzcan cuerpos extraños
- Tubería forzada: Se encarga de conducir el agua hasta la cámara de turbinas

- Casa de máquinas: Es donde se ubican las máquinas (turbinas-alternadores, turbina hidráulica, eje y generador eléctrico) y los elementos de regulación y comando. Presenta unas válvulas esféricas de entrada que se emplean para poder dejar sin agua la zona de las máquinas en caso de reparación o desmontajes
- Turbinas hidráulicas: Se encarga de aprovechar la energía del agua que pasa por su interior para producir un movimiento de rotación mediante su propio eje. La turbina como se ve en la **Figura 4** es una máquina compuesta esencialmente por un rodete con álabes o palas unidos a un eje central giratorio, la cual transforma la energía cinética del agua en energía cinética de rotación del eje. El alternador, cuyo eje es la prolongación del eje de la turbina, se encarga de transformar la energía cinética de rotación de éste, en energía eléctrica

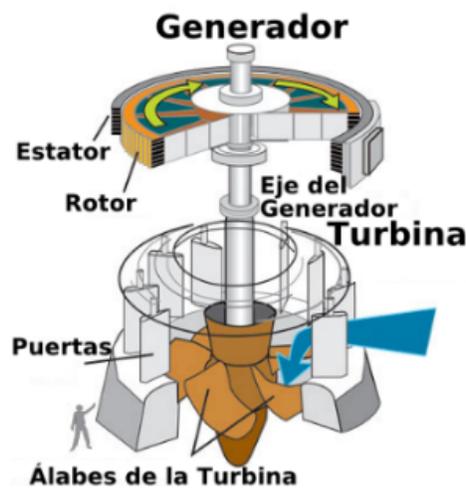


Figura 4: Partes de una turbina hidráulica  
Fuente tomada de: “Turbina Hidráulica” [4]

- Transformadores: Son dispositivos eléctricos que sirven para aumentar o disminuir la tensión de un circuito eléctrico de corriente alterna manteniendo la potencia.
- Líneas de transporte de energía eléctrica: es el cableado para transmitir la electricidad producida [3], [4].

## FUNCIONAMIENTO

En la central hidroeléctrica, la transformación de la energía potencial en energía cinética se logra mediante la caída del agua que esta represada en el embalse, en este punto es de vital importancia tener las medidas constantes de los niveles para poder determinar si se cuenta en condiciones óptimas para proceder con la generación mediante la puesta en marcha de las tres unidades o solo una. Para que el agua del embalse o represa llegue hacia los generadores se hace uso de los canales de derivación y las tuberías forzadas, estas estructuras permiten la llegada del agua con las inclinaciones necesarias y la velocidad adecuada para poder generar la cantidad de energía requerida.

Como método de seguridad, antes de que el agua ingrese en el alavés situado en casa de máquinas encargados de realizar el movimiento giratorio del generador, primero pasa por una válvula esférica de dos posiciones con un diámetro superior a los 10mts, la cual es la encargada de administrar el flujo de agua que ingresa al generador. El agua que cae pasa por el alavés que se acopla al rotor del generador, accionando las turbinas las cuales convierten la energía cinética en energía mecánica y sale por un canal de descarga a través del cual se devuelve al cauce. El generador tiene como función transformar la energía mecánica en energía eléctrica, esta transformación se consigue gracias a la interacción de los dos elementos principales que lo componen: La parte móvil llamada rotor y la parte estática que se denomina estátor. Cuando un generador eléctrico está en funcionamiento, el rotor genera un flujo magnético que actúa como inductor para que el estátor transforme la energía mecánica en energía eléctrica, la cual debe transformarse para poder ser transmitida a grandes distancias; Antes de introducirse en las líneas de transmisión, la electricidad pasa por el transformador, que disminuye la intensidad de la corriente producida por el generador eléctrico rotativo, pero aumenta su tensión. Una vez que llega al lugar de destino, antes de ser utilizada, la energía vuelve a pasar por un transformador el cual eleva la intensidad de la corriente y baja el voltaje para que sea apta para uso industrial, comercial o doméstico.

Durante todo el proceso se monitorean constantemente equipos como los reguladores de velocidad, que tienen como función aumentar o disminuir la velocidad del rotor para aumentar o disminuir la generación eléctrica, monitorear el regulador de tensión para obtener la corriente y la potencia dentro de los niveles adecuados de generación, monitorear las temperaturas del generador y los niveles de agua que fluyen al interior y exterior de la central, además de datos hidrológicos del entorno [16]

#### **1.4. ARQUITECTURA DE CONTROL DE LA CENTRAL**

Para realizar la intervención en la central, es importante tener en cuenta la arquitectura de control y comunicaciones que se maneja actualmente con el fin de identificar los equipos afectados en los procedimientos a realizar, para esto es importante tener en cuenta que por motivos de confidencialidad entre Omnicon y la Central, se va a mostrar una arquitectura general y no a detalle.

La central tiene incorporada una arquitectura de control basado en un sistema de control distribuido ya que consta de elementos de control distribuidos de forma geográfica en la planta y no se centra únicamente en un controlador principal; La central está constituida por equipos Allen Bradley en sus controladores, módulos de entradas/salidas analógicas/digitales locales/remotos, módulos de comunicación Ethernet, DeviceNet y ControlNet y pantallas de visualización o PanelViews; Por otro lado, cuenta con equipos prosoft technology como módulos prolinx y prolinx 104 para implementación de protocolos de seguridad y servidores con la suite de Windows, Rockwell Automation y OSIsoft.

La central cuenta con un rack de servidores virtualizados compuesto por el servidor

HMI primario y secundario con la suite de Factory Talk implementada para permitir redundancia, cuenta con un servidor Historiador con la suite de PI OSIsoft, un servidor de administración de activos, un controlador de dominio y un servidor de reportes, además de contar con una configuración para acceso remoto desde diferentes estaciones (PC) en sala de control y oficinas fuera de la central.

En la sección de control, los medios de comunicación principales están enlazados mediante protocolo Ethernet/Ip, y en cada unidad se presenta una comunicación por ControlNet hacia dispositivos ubicados a distancias lejanas cuya información se envía por cable de fibra óptica debido a su versatilidad y capacidad de comunicación a distancia, por otro lado, para comunicar los centros de control de motores CCM se realiza mediante una red DeviceNet.

La arquitectura viene dada principalmente por unidades, donde cada unidad cuenta con un PLC Control Logix con sus respectivos módulos analógicos y digitales, así como sus tarjetas de comunicación. Como se mencionó anteriormente en cada unidad hay presencia de una tarjeta de red ControlNet con módulos Flex I/O remotos que leen variables de temperaturas y flujos ubicados a distancias considerables del cuarto de control; Además de esto por unidad se hace el control de una válvula esférica, la cual tiene a su disposición un PLC Compact Logix con sus respectivos módulos y tarjetas de expansión.

En la parte de visualización se cuenta con dos PanelViews 1500 Plus, una destinada al monitoreo y control de la unidad y otra al monitoreo de la válvula esférica. Para el control de las compuertas de la represa, se hace uso por compuerta un PLC Compact Logix y una PanelView para monitorear y operar.

Para la adquisición de variables como niveles del río y niveles de la represa, se hace uso de dos PLC Compact Logix y una PanelView ubicada en la represa para su monitoreo. Existe un PLC Control Logix el cual es el encargado de realizar la ejecución de servicios auxiliares como el control de las unidades y monitoreo de variables de respaldo en caso de que algún PLC de unidad falle.

Existen tres PLC Control Logix que son los encargados de monitorear y controlar el funcionamiento de los pozos de drenaje, las bombas, túneles de fugas de desagües y variables meteorológicas. Al estar ubicados a distancias muy largas los lugares donde es necesario adquirir datos o realizar el control, se ha destinado un PLC para cada área como se ve en la **Figura 5** y por medio de cables de fibra óptica son recibidos en sala de control.

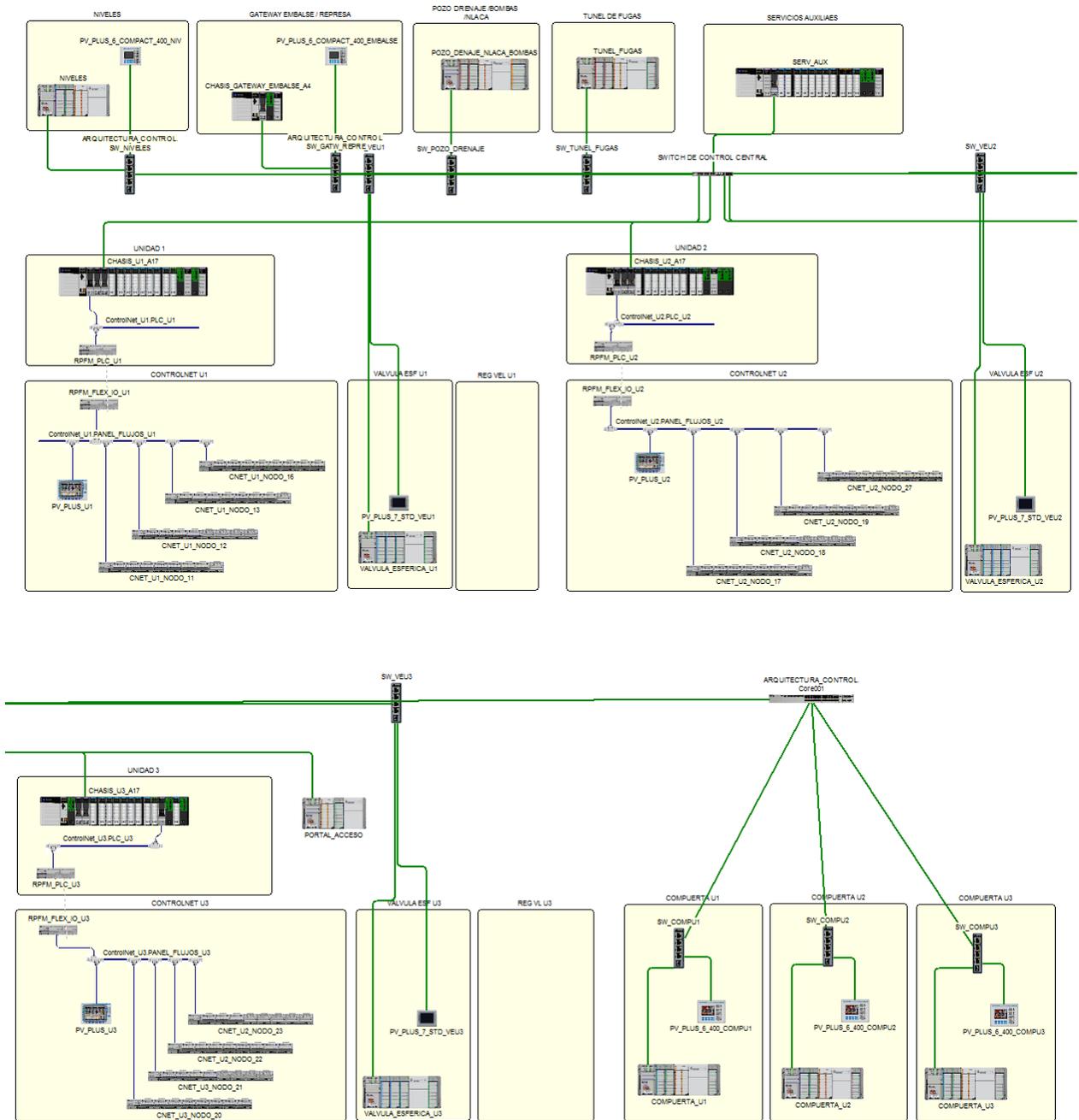


Figura 5: Arquitectura de Control  
Fuente: Propia.

En cuanto al diagrama de proceso e instrumentación para la central, es importante tener en cuenta que los tres generadores están modelados de la misma forma realizando la lectura de las mismas variables de temperatura, velocidades, tensión, flujos, niveles, etc. Por tal motivo en la **Figura 6** se muestra únicamente el diagrama de tuberías e instrumentación para la unidad 1, de igual manera que en la arquitectura hay que tener en cuenta que por motivos de confidencialidad entre Omnicon y la Central, se va a mostrar un diagrama general y no a detalle.

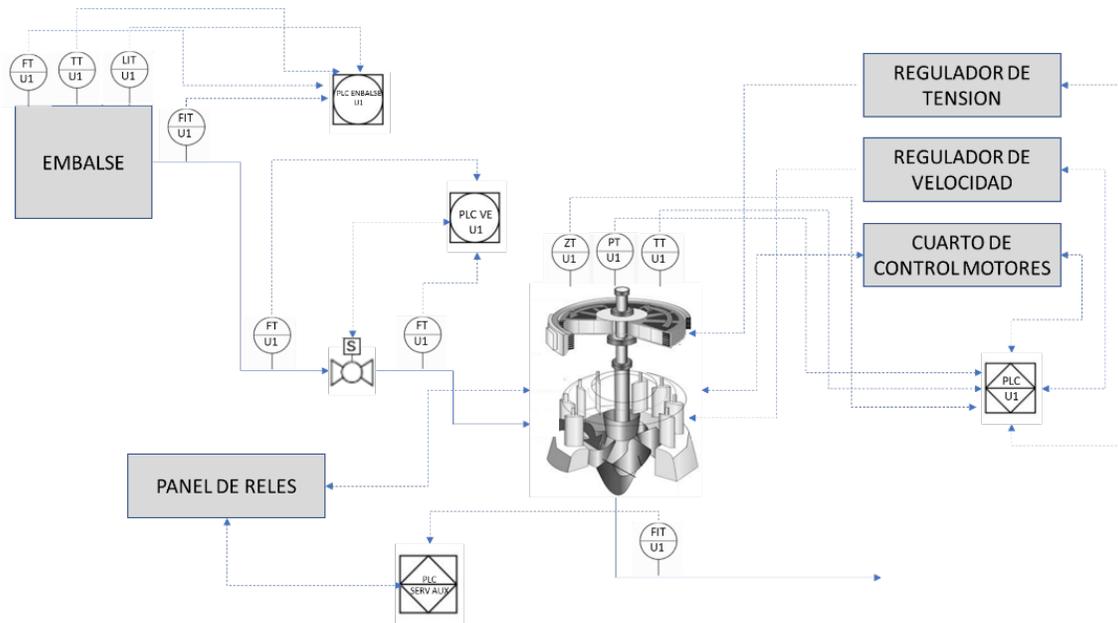


Figura 6: Diagrama de instrumentación U1  
Fuente: Propia

Con este diagrama se puede evidenciar la distribución y funcionalidad principal que tiene cada uno de los controladores que conforman la central aplicado a una unidad, donde se tiene el PLC de embalse encargado del monitoreo de los datos hidrológicos y niveles presentes en la represa, se tiene el PLC de Válvula Esférica encargada del monitoreo y control del equipo de seguridad para administrar el flujo de agua hacia el generador partiendo de los flujos de entrada y salida, se tiene el controlador de servicios auxiliares que monitorea el panel de relés de seguridad de los generadores y por último se tiene el controlador de Unidad principal, que monitorea y controla los equipos principales como reguladores de tensión, velocidad y los motores que tienen presencia en el funcionamiento de cada uno de los generadores de energía de la central hidroeléctrica.

# **CAPITULO II: PROPUESTA DE ETIQUETADO DEL PROCESO SIGUIENDO ESTÁNDAR ISA 5.1 PARA LA PROGRAMACIÓN Y PUNTOS DE HISTORIAN.**

## **2. IMPORTANCIA DE LAS ETIQUETAS EN LA INDUSTRIA.**

El correcto etiquetado de las variables de proceso en una central hidroeléctrica es un elemento esencial en la programación de controladores y en los diagramas de instrumentación y tuberías, ya que su importancia radica en varios aspectos clave para la operación de la planta como:

- **Claridad y Coherencia:** Ya que un etiquetado preciso y coherente de las variables de proceso garantiza que todos los involucrados en la operación de la central hidroeléctrica comprendan de manera unificada la función y el propósito de cada componente y punto de medición. Esta claridad es esencial para evitar confusiones, errores en la programación y operación de sistemas de control.
- **Programación de Controladores:** Debido a que los controladores y sistemas de automatización en una central hidroeléctrica dependen en gran medida de los nombres y etiquetas de las variables de proceso para funcionar correctamente y crear algoritmos y estrategias de control, por lo tanto un etiquetado erróneo, incoherente o ambiguo puede resultar en dificultades en la programación y configuración de estos sistemas generando un mal funcionamiento del control, lo que podría tener consecuencias significativas en la operación y seguridad de la planta
- **Mantenimiento y Resolución de Problemas:** Cuando surgen problemas en la central hidroeléctrica, los técnicos y personal de mantenimiento deben confiar en los datos proporcionados por los controladores y sistemas de automatización. Un etiquetado claro y preciso facilita la identificación rápida de problemas y contribuye a una resolución más efectiva.
- **Cumplimiento Normativo:** Ya que las empresas están sujetas a regulaciones estrictas y normativas de seguridad, es de vital importancia el etiquetado correcto de las variables de proceso para garantizar que los sistemas estén configurados y funcionando de acuerdo con las regulaciones aplicables.
- **Fácil Integración y Expansión:** Un etiquetado coherente permite una integración más fluida de nuevos sistemas y equipos a lo largo del tiempo. También simplifica la expansión de la planta, ya que los nuevos componentes pueden incorporarse de manera más efectiva en los sistemas existentes.
- **Documentación Precisa:** Los diagramas de instrumentación y tuberías son documentos esenciales para la planificación, operación y mantenimiento de una central

hidroeléctrica. El etiquetado correcto garantiza que estos diagramas sean precisos y útiles para la toma de decisiones y la gestión de la planta.

Teniendo en cuenta lo anterior, el adecuado etiquetado de las variables de proceso en una central hidroeléctrica es crucial para la operación ya que garantiza una programación precisa de controladores, facilita el diseño, la integración de los sistemas, respaldando así el cumplimiento normativo y contribuyendo a la resolución efectiva de problemas, siendo fundamental para la documentación y seguridad de la industria donde la precisión y fiabilidad son de suma importancia.

Para poder implementar un etiquetado adecuado en la planta se aplica la norma ISA 5.1, ya que establece un sistema de nomenclatura estandarizada y coherente para las variables de proceso, lo que conlleva numerosos beneficios.

## **2.1. NORMA ANSI ISA 5.1.**

La norma ISA 5.1 establece un marco coherente y consistente para nombrar las variables de proceso, esto asegura que todas las personas involucradas en la operación, el mantenimiento y la gestión de la central hidroeléctrica comprendan de manera clara y precisa a qué se refieren los nombres de las variables, aspecto fundamental para evitar errores en la toma de decisiones asegurando una base sólida para la comunicación en el proceso de generación de energía hidroeléctrica.

El objetivo de la norma es establecer un medio uniforme para representar e identificar instrumentos, dispositivos y sus funciones inherentes, además de las funciones de software de aplicación utilizadas para medición, monitoreo y control mediante la presentación de un sistema de designación que incluye esquemas de identificación y símbolos gráficos. Esta norma es adecuada para su uso en las industrias de generación de energía ya que requieren el uso de sistemas de control, diagramas funcionales y esquemas eléctricos para describir la relación con los equipos de procesamiento y la funcionalidad de los equipos de medición y control.

Para la aplicación, la norma presenta una clasificación de la instrumentación para facilitar el nombramiento de los dispositivos ya que existe una gran variedad de equipos en un proceso industrial, dentro de esta clasificación están los dispositivos primarios, los cuales están conformados por los dispositivos y hardware de medición, monitoreo y control, como transmisores, controladores, válvulas; Secundarios, los cuales consisten en dispositivos y hardware de medición o dispositivos finales como termómetros, reguladores de presión, manómetros; Auxiliares, conformados por equipos y hardware que son necesarios para la operación efectiva de la instrumentación primaria o secundaria como los equipos de aire que permiten el funcionamiento hidráulico de los instrumentos, y por último, la instrumentación basada en “accesorios” que son equipos que no miden ni controlan pero que son necesarios para el funcionamiento de los sistemas de control y monitoreo, como tuberías y contenedores.

El estándar además de proporcionar un conjunto de normas para el etiquetado presenta un conjunto de símbolos para la representación gráfica de los instrumentos dependiendo del propósito y funcionalidad de estos, con el fin de generar diagramas o planos de instrumentación, actividad esencial en el desarrollo y planeación de un proyecto de ingeniería.

En este contexto, es esencial comprender dos aspectos fundamentales: La identificación de los instrumentos principales y la representación de las señales presentes en la central hidroeléctrica. En primer lugar, se realizara la exploración de cómo se etiquetan y representan visualmente los instrumentos dependiendo de su tipo y ubicación, empleando letras y gráficos para facilitar su reconocimiento y operación. Posteriormente se explicará cómo se realiza la identificación de las señales eléctricas utilizadas en la industria, asegurando una comunicación precisa y efectiva en entornos industriales críticos.

### 2.1.1. IDENTIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS:

En los diagramas de instrumentación y tuberías (Piping and Instrumentation Diagram) es importante y fundamental la identificación de los instrumentos que conforman el diagrama de flujo del proceso. Esta identificación se hace mediante un código al que comúnmente se le denomina “Tag” del instrumento, el cual consiste en un arreglo de letras donde cada instrumento, identificación o función para identificar es designado por un código alfanumérico o un número de etiqueta que presenta la estructura mostrada en la **Figura 7**, donde la primera letra define el tipo de variable que se mide (nivel, temperatura, etc.), las letras sucesivas definen la función que ejerce el instrumento (transmisor, indicador, controlador etc.), los números hacen referencia al identificador del lazo de control al que pertenece el instrumento y en caso de que existan dos o más instrumentos similares en el mismo lazo, se hace uso de un sufijo que es desarrollado por la empresa a la cual va dirigido el proyecto.



Figura 7: Estructura de estandarización ISA 5.1

Fuente: Propia

Las letras de identificación de instrumentos se determinan siguiendo las Tablas presentadas en el **Anexo 1** de referencia, la cual es establecida por la norma ISA 5.1 y la normativa establecida por la Central que asigna letras específicas a diferentes tipos de instrumentos, asegurando la coherencia y la comprensión en la identificación de equipos en entornos industriales.

Además de la identificación de instrumentos mediante el etiquetado o “Tags”, la norma ISA 5.1 proporciona una tabla de símbolos gráficos que se utiliza en la industria de la instrumentación para representar gráficamente diversos elementos relacionados con la automatización y el control de procesos. Estos símbolos gráficos tienen el propósito de estandarizar la representación visual de equipos, instrumentos y sistemas, lo que facilita la comprensión y la comunicación en la industria. Dentro de los símbolos gráficos que se encuentran en la norma ISA 5.1 [14], se presentan los relacionados con los equipos e instrumentos presentes en la central hidroeléctrica que serán usados posteriormente para la implementación del diagrama de tuberías e instrumentación los cuales son presentados en el **Anexo 2**.

## 2.2. DISEÑO DEL NOMBRAMIENTO DE VARIABLES DE PROCESO

Al realizar el nombramiento de las variables del proceso es importante tener en cuenta los equipos a intervenir realizando un mapeo de los controladores y módulos I/O que integran cada unidad, con el fin de tener claro los canales, a que equipos está realizando la lectura o el control, conocer las etiquetas actuales que maneja cada canal y así poder definir un nombramiento adecuado siguiendo los lineamientos del estándar ISA 5.1. Partiendo de la explicación de la arquitectura de control que se tiene en la central hidroeléctrica, es importante recordar que se cuenta con un sistema de control distribuido donde cada unidad está compuesta por un PLC de unidad, un PLC de control de válvula esférica, el SCADA principal, dos Panel Views y el Historiador como se ve en la **Figura 8**.

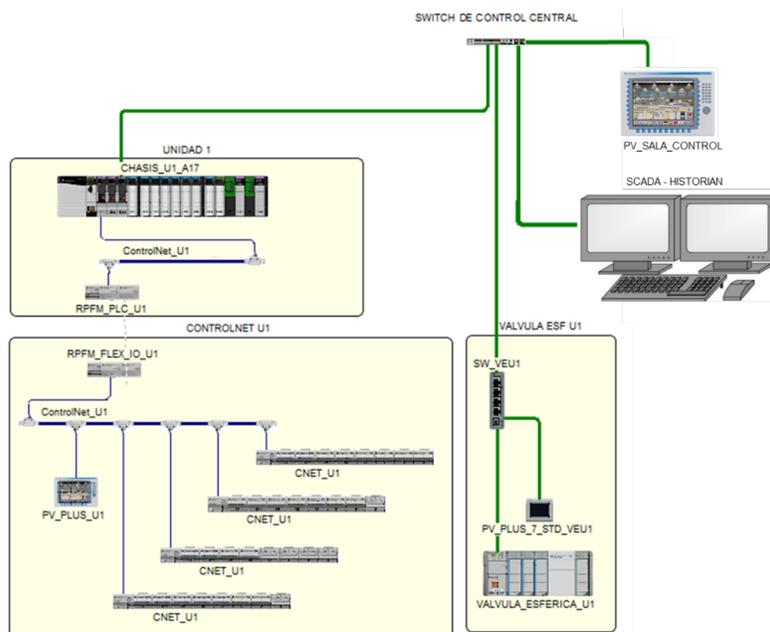


Figura 8: Arquitectura Unidad 1  
Fuente: Propia

## EQUIPOS IMPLICADOS EN LA ESTANDARIZACIÓN DE ETIQUETAS:

### ■ PLC U1

El chasis de control de la unidad 1 presenta 17 slots compuesto por un controlador Control Logix, diferentes tarjetas de comunicación como ethernet para comunicarse con los demás dispositivos de la arquitectura, tarjetas prolinx, una tarjeta ControlNet la cual comunica 22 FLEX I/O remotos y una PanelView de control y monitoreo, además presenta 9 módulos I/O locales como se puede ver en la **Tabla 1**, teniendo en cuenta que tanto los módulos remotos como locales serán intervenidos para realizar la estandarización de las etiquetas.

PLC CONTROLLOGIX UNIDAD1				
ITEM	CANTIDAD	REFERENCIA		DESCRIPCION
1	1	1756	A17 SER B	CHASSIS
2	1	1756	L71	CONTROLADOR CONTROLLOGIX
3	1	1756	CN2R/C	CONTROLNET BRIDGE COMMUNICATION - NODE 01
4	2	1756	EN2T/D	ETHERNET BRIDGE - 10/100 Mbps
5	5	1756	IH16/A	DIGITAL ISOLATED INPUTS 16 Points 90V - 146V DC
6	2	1756	IB32/B	DIGITAL INPUTS 32 Points 10V - 31.2V DC
7	1	1756	IH16ISOE/A	DIGITAL ISOLATED INPUTS 16 Channel Isolated 125V Sequence of events
8	1	1756	OB32/A	DIGITAL OUTPUTS 32 Points 10V-31.2V DC
9	1	1756	MVI56MCM	TARJETA MVI56-MCM MODBUS
10	1	1756	MVI56_104S	TARJETA 104
11	1	1756	PB75/A	POWER SUPPLIES
EQUIPOS RED CONTROLNET U1				
MODULO	CANTIDAD	REFERENCIA		DESCRIPCION
11	5	1794	IR8/A	RTD ANALOG INPUT 8 Channel 24V DC
	2	1794	IE8/B	ANALOG INPUT NON-ISOLATED VOLTAGE/CURRENT 8 Channel 24V DC
12	2	1794	IR8/A	RTD ANALOG INPUT 8 Channel 24V DC
	1	1794	IE8/B	ANALOG INPUT NON-ISOLATED VOLTAGE/CURRENT 8 Channel 24V DC
	1	1794	IB16/A	DIGITAL INPUTS 16 Points 24V DC
13	1	1794	IR8/A	RTD ANALOG INPUT 8 Channel 24V DC
	4	1794	IE8/B	ANALOG INPUT NON-ISOLATED VOLTAGE/CURRENT 8 Channel 24V DC
	2	1794	IB16/A	DIGITAL INPUTS 16 Points 24V DC
16	2	1794	IR8/A	RTD ANALOG INPUT 8 Channel 24V DC
	2	1794	OF4/A	ANALOG OUTPUT ISOLATED 4 Channel 24V DC
3	1			Panel view PLUS 1500

Tabla 1: Equipos Chasis Unidad 1

Fuente: Propia

### ■ PLC VÁLVULA ESFÉRICA U1

El PLC de control de válvula esférica al ser Compact Logix no presenta un chasis, pero si cuenta con 4 módulos I/O de expansión, módulos que serán intervenidos para realizar la estandarización de las etiquetas los cuales se ve en la **Tabla 2**.

VALVULA ESFERICA U1				
ITEM	CANTIDAD	REFERENCIA		DESCRIPCION
1	1	1769	L33ER	CONTROLADOR COMPACTLOGIX
2	3	1769	IQ16/A	DIGITAL INPUTS 16 Points 24V DC
3	1	1769	OB16/B	DIGITAL OUTPUTS 16 Points 24V DC
4	1	1756		POWER SUPPLIES

Tabla 2: Equipos Chasis PLC Válvula Esférica Unidad 1  
Fuente: Propia

- SCADA, PANEL VIEW SALA DE CONTROL Y PANEL FLUJOS U1

El SCADA, las PanelViews de Sala de control (Ethernet) y Panel de Flujos (ControlNet) de la central se ven afectados ya que al realizar un cambio en el nombramiento de las variables de los dos PLC de Unidad y de Válvula esférica U1, todo el direccionamiento que se tiene dirigido hacia el sistema de supervisión central o local va a cambiar tanto en los TAGs HMI que se maneja por estándar como en la configuración de las alarmas del sistema, por lo tanto, es un punto crítico e importante en la estandarización de las etiquetas.

- HISTORIAN

El historian esta enlazado directamente con las etiquetas de los controladores del sistema de control distribuido con el fin de almacenar todas las variables de los módulos I/O de la planta, por lo tanto, al cambiar el direccionamiento en PLC se debe modificar el direccionamiento de cada punto de historian existente con el fin de almacenar la información de la nueva variable de manera correcta.

Es importante tener en cuenta que la explicación realizada anteriormente se desarrolló únicamente para la intervención en la Unidad 1, pero al ser las unidades 2 y 3 una “replica” de la unidad 1, al realizar la intervención en las otras unidades se verán implicados el mismo grupo de dispositivos.

### 2.3. ESTANDARIZACIÓN DEL NOMBRAMIENTO DE VARIABLES

Partiendo de la información presentada anteriormente donde es posible identificar la cantidad de módulos I/O Analógicos/Digitales Locales/Remotos que conforman cada chasis de los PLCs para las tres unidades de generación en la central hidroeléctrica, se procede a identificar la cantidad de canales disponibles por modulo a partir de su referencia, esto con el fin de identificar cuantas entradas y salidas reales hay por unidad, a que dispositivo, que acción ejecuta y cuales canales están libres para poder tener un panorama claro que va a ser de gran utilidad para la propuesta del nombramiento de las variables bajo el estándar ISA 5.1.

La **Tabla 3** presenta el consolidado con la cantidad de canales/puntos por modulo y el total de entradas/salidas que están presentes en el controlador de la Unidad 1,

teniendo en cuenta que los módulos locales son aquellos que se encuentran ubicados en el chasis del controlador de la unidad y los módulos ubicados remotamente y comunicados por ControlNet (CNET) los cuales son los módulos remotos Flex I/O.

RECUESTO CANALES MODULOS I/O PLC U1			CANTIDAD PUNTOS POR MODULO	TOTAL DE PUNTOS Y CANALES
TIPO	CANTIDAD	DESCRIPCION		
DIGITALES	5	DIGITAL ISOLATED INPUTS 16 Points 90V - 146V DC	16	80
	2	DIGITAL INPUTS 32 Points 10V - 31.2V DC	32	64
	1	DIGITAL ISOLATED INPUTS 16 Channel Isolated 125V Sequence of events	16	16
	1	DIGITAL OUTPUTS 32 Points 10V-31.2V DC	32	32
	3	DIGITAL INPUTS 16 Points 24V DC	16	48
			<b>TOTAL PUNTOS</b>	<b>240</b>
ANALOGICOS	10	RTD ANALOG INPUT 8 Channel 24V DC	8	80
	7	ANALOG INPUT NON-ISOLATED VOLTAGE/CURRENT 8 Channel 24V DC	8	56
	2	ANALOG OUTPUT ISOLATED 4 Channel 24V DC	4	8
			<b>TOTAL CANALES</b>	<b>144</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>384</b>

Tabla 3: Recuento Entradas y Salidas Equipos Chasis Unidad 1  
Fuente: Propia

En la **Tabla 4** se presenta el consolidado con la cantidad de canales/puntos por modulo y el total de entradas/salidas que están presentes en el controlador de la Válvula Esférica de la Unidad 1, teniendo en cuenta que solo presenta módulos locales

RECUESTO CANALES MODULOS I/O PLC VALVULA ESFERICA U1			CANTIDAD PUNTOS POR MODULO	TOTAL DE PUNTOS Y CANALES
TIPO	CANTIDAD	DESCRIPCION		
DIGITALES	3	DIGITAL INPUTS 16 Points 24V DC	16	48
	1	DIGITAL OUTPUTS 16 Points 24V DC	32	32
			<b>TOTAL PUNTOS</b>	<b>80</b>
ANALOGICOS	NO PRESENTA MODULOS ANALOGICOS			
			<b>TOTAL CANALES</b>	<b>0</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>80</b>

Tabla 4: Recuento Entradas y Salidas Equipos Chasis Válvula Esférica Unidad 1  
Fuente: Propia

Teniendo en cuenta las **Tablas 3** y **4** presentadas anteriormente, se concluye que en total se tienen disponibles 464 canales/puntos para la realizar la intervención en la Unidad 1. A partir de esta información el paso a seguir es realizar un escaneo a detalle de los módulos para identificar correctamente si los puntos/canales están siendo usados y si presentan una descripción para así, saber qué dispositivo se identifica con cada canal y que direccionamiento presenta actualmente, esto con el fin de proceder con el nombramiento de las etiquetas en los controladores bajo el estándar ISA 5.1.

En este caso se hace uso de variables como temperaturas y niveles cuya nomenclatura es explicada a continuación y desarrollada según lo que establece la norma en el **Anexo 1**.

El primer paso es identificar cual es la descripción de cada uno de los equipos teniendo en cuenta su funcionalidad y aplicación en el sistema (1), identificando también que etiqueta que esta siendo usada antes de realizar la migración (2), posterior a esto, con ayuda de lo establecido por la norma ISA 5.1 se realiza el diseño de la nueva etiqueta según el tipo de variable y las funciones del dispositivo, además del identificador de unidad, partiendo de que el equipo esta ubicado en la unidad 1 (3). En este caso, para el proyecto existen mas de dos equipos con la misma funcionalidad de "sensor de temperatura ubicado en cada unidad por tal motivo es necesario hacer uso del sufijo (4) que establece la central hidroeléctrica para su identificación a detalle presentado en el **Anexo 1**.

ESTANDARIZACION TAGS ISA 5.1				
1	TPO DE VARIABLE	ETIQUETA ANTIGUA	ETIQUETA NUEVA	DESCRIPCION
	TEMPERATURA	F8[0]	TE_1AGE001_IN	RTD Temperatura del Agua de Refrigeración de Entrada para el Generador en el Radiador 1 Derecho para la unidad U1
	DESCRIPCION DE LA NUEVA ETIQUETA			
	INDICA LA VARIABLE A MEDIR	TEMPERATURA		T
	INDICA FUNCIÓN DEL DISPOSITIVO	SENSOR		E
	INDICAN EL NUMERO DEL LAZO O UNIDAD	UNIDAD 1		1
	DESCRIPCION DEL DISPOSITIVO TENIENDO EN CUENTA QUE ALGUNAS VARIABLES SON DEFINIDAS POR USUARIO O ESTANDAR DE LA EMPRESA	AGUA		A
		GENERADOR		G
		ENTRADA		E
		EN RADIADOR 1		001
VARIABLE			N	
	CORRIENTE (MEDIDA ANALOGICA DADA POR 4 - 20mA)		I	
TPO DE VARIABLE	ETIQUETA ANTIGUA	ETIQUETA NUEVA	DESCRIPCION	
NIVEL	F8[117]	LT_1PT001_IN	Transmisor de Nivel del Pozo de Turbina de la Unidad 1	
DESCRIPCION DE LA NUEVA ETIQUETA				
INDICA LA VARIABLE A MEDIR	NIVEL		L	
INDICA FUNCIÓN DEL DISPOSITIVO	TRANSMISOR		T	
INDICAN EL NUMERO DEL LAZO O UNIDAD	UNIDAD 1		1	
DESCRIPCION DEL DISPOSITIVO TENIENDO EN CUENTA QUE ALGUNAS VARIABLES SON DEFINIDAS POR USUARIO O ESTANDAR DE LA EMPRESA	POZO		P	
	TURBINA		T	
	SENSOR 1 EN TURBINA		001	
	VARIABLE		N	
		CORRIENTE (MEDIDA ANALOGICA DADA POR 4 - 20mA)		I

Tabla 5: Explicación diseño de etiquetas bajo estándar ISA 5.1

Fuente: Propia

El procedimiento presentado anteriormente es replicado para las 464 variables que conforman cada unidad y posteriormente para las 1342 variables de las tres unidades, información que es consolidada en un documento de Excel que es uno de los entregables planteados para el cliente, en el cual se presenta la referencia del equipo, el nombre o identificador del mismo, los canales o puntos que presenta, la etiqueta que está siendo identificador de ese canal o punto, la descripción y la propuesta de la nueva etiqueta que se desarrolló siguiendo los lineamientos del estándar, teniendo en cuenta que por motivos de confidencialidad con la empresa Omnicon no se muestra a detalle toda la tabla con el nombramiento de las variables siendo la **Tabla 6** para el PLC U1 y la **Tabla 7** para el PLC Válvula Esférica U1.

ESTANDARIZACIÓN DE TAGS ISA 5 CONTROLADOR UNIDAD 1						
REFERENCIA	MODULO	TIPO DE SEÑAL	ENTRADA / CANAL	DESCRIPCIÓN	NUEVOS TAGS	TAGS ANTIGUOS
1794-IR8	ACN 11 - FlexBus Slot 0-RTD1Panel_Flujos_U1	Entrada Análoga	CH0	RTD Temp. Agua de Ref. Entrada Radiador1 Derecho U1	TE_1AGE001_IN	F8[0]
			CH1	RTD Temp. Agua de Ref. Entrada Rad2 Izquierdo U1	TE_1AGE002_IN	F8[1]
			CH2	RTD Temp. Agua de Ref. Salida 1 Radiador #1 U1	TE_1AGS001_IN	F8[2]
			CH3	RTD.Temp.Agua de Ref.Salida 2 Rad#3 U1	TE_1AGS003_IN	F8[3]
			CH4	RTD Temp.Agua de Ref.Salida1 Radiador#2 U1	TE_1AGS002_IN	F8[4]
			CH5	RTD Temp.Agua de Ref.Salida2 Radiador#4 U1	TE_1AGS004_IN	F8[5]
			CH6	RTD.Temp.Aire de Ref.Entrada Radiador#2 U1	TE_1ARE002_IN	F8[6]
CH7	RTD Temp.Aire de Ref.Entrada Radiador#3 U1	TE_1ARE003_IN	F8[7]			

Tabla 6: Propuesta etiquetas bajo estándar ISA 5.1 controlador Unidad 1

Fuente: Propia

ESTANDARIZACIÓN DE TAGS ISA 5 CONTROLADOR VÁLVULAS ESFERICA UNIDAD 1						
REFERENCIA	MODULO	TIPO DE SEÑAL	ENTRADA / CANAL	DESCRIPCIÓN	NUEVOS TAGS	TAGS ANTIGUOS
1769-IQ16	INPUT_D_01	Entrada Digital	D10	U1_S2000_1S2000_1Válvula Esférica Cerrada (B2)	UV_1VAES001_CLOSE	I[0].0
			D11	U1_S2000_2S2000_2Válvula Esférica Cerrada (B2)	UV_1VAES002_CLOSE	I[0].1
			D12	U1_S2000_8S2000_8VALVULA ESFERICA ABIERTA (B1) 0 GRADOS	UV_1VAES008_OPEN	I[0].2
			D13	U1_S2000_9S2000_9VALVULA ESFERICA ABIERTA (B1) 0 GRADOS	UV_1VAES009_OPEN	I[0].3
			D14	U1_S2050_2SENSOR 2050_2 SELLO SERVICIO CERRADO B4	E_1SE502_CLOSE	I[0].4
			D15	U1_S2050_1SENSOR S2050_1 SELLOS SERVICIO ABIERTO B5	E_1SE501_OPEN	I[0].5
			D16	U1_S2050_9SENSOR 2050_9 SELLO SERVICIO CERRADO B4	E_1SE509_CLOSE	I[0].6
			D17	U1_S2050_8SENSOR S2050_8 SELLOS SERVICIO ABIERTO B5	E_1SE508_OPEN	I[0].7
			D18	U1_S2012_1SENSOR S2012_1 VALVULA BYPASS ABIERTA (B8)	E_1VABY121_OPEN	I[0].8
			D19	U1_S2012_2SENSOR S2012_2 VALVULA BYPASS CERRADO (B9)	E_1VABY122_CLOSE	I[0].9
			D110	U1_S2012_9SENSOR S2012_9 VALVULA BYPASS CERRADO (B9)	E_1VABY129_CLOSE	I[0].10
			D111	U1_P_E2018P_E2018 Presión Normal en el Caracol	PS_1PRCA18_IN	I[0].11
			D112	SPARE	N/A	
			D113	SPARE	N/A	
			D114	SPARE	N/A	
D115	SPARE	N/A				

Tabla 7: Propuesta etiquetas bajo estándar ISA 5.1 controlador Válvula Esférica 1

Fuente: Propia

Partiendo del diseño de las variables desarrolladas bajo el estándar ISA 5.1 para el nombramiento en la unidad U1 y teniendo en cuenta que las unidades 2 y 3 son una réplica de la Unidad 1 como se puede evidenciar en la arquitectura de control y comunicaciones presentada en la **Figura 5**, para el desarrollo de la propuesta de etiquetado de las dos unidades faltantes únicamente fue necesario realizar el cambio en el identificador de la unidad en la etiqueta de la siguiente forma:

UNIDAD 1		UNIDAD 2		UNIDAD 3	
ETIQUETA NUEVA		ETIQUETA NUEVA		ETIQUETA NUEVA	
TE_1AGE001_IN		TE_2AGE001_IN		TE_3AGE001_IN	
DESCRIPCION NUEVA ETIQUETA					
TEMPERATURA	T	TEMPERATURA	T	TEMPERATURA	T
SENSOR	E	SENSOR	E	SENSOR	E
UNIDAD 1	1	UNIDAD 2	2	UNIDAD 3	3
AGUA	A	AGUA	A	AGUA	A
GENERADOR	G	GENERADOR	G	GENERADOR	G
ENTRADA	E	ENTRADA	E	ENTRADA	E
EN RADIADOR 1	001	EN RADIADOR 1	001	EN RADIADOR 1	001
VARIABLE	N	VARIABLE	N	VARIABLE	N
CORRIENTE	I	CORRIENTE	I	CORRIENTE	I

Tabla 8: Etiquetado bajo estándar ISA 5.1 controlador Unidad 1, 2 y 3  
Fuente: Propia

De esta forma se garantiza que para las tres unidades el procedimiento de estandarización sea más dinámico y rápido, reduciendo la complejidad y el tiempo de ejecución durante la implementación del cambio de direccionamiento en el SCADA, historian y PanelViews siguiendo la norma, dando cumplimiento al primer objetivo específico que consiste en realizar el diseño de la estandarización del nombramiento de las variables de proceso del PLC en las unidades de generación 1, 2 y 3, basado en la norma ANSI/ISA-5.1 para la posterior implementación de los puntos de historian.

# CAPITULO III: DISEÑO HMI DE ALTO RENDIMIENTO.

## 3. IMPORTANCIA DE SCADA DE ALTO RENDIMIENTO EN LA INDUSTRIA.

Un sistema SCADA distribuido presenta aspectos fundamentales en aplicaciones industriales y de automatización que abarcan múltiples ubicaciones o sistemas dispersos donde la redundancia y la arquitectura de red son esenciales para supervisar y controlar los sistemas de manera eficiente. Teniendo en cuenta que debe presentar la capacidad de almacenar datos históricos, ser escalable, tener una interfaz de usuario intuitiva y de alto rendimiento, poder gestionar alarmas, integrar datos y generar documentación precisa que permita la toma de decisiones en tiempo real, son características que dan lugar a la capacidad de adaptarse a las necesidades cambiantes y operar en entornos industriales.

Un sistema SCADA con un HMI de alto rendimiento es esencial en aplicaciones industriales complejas ya que está caracterizado por gráficos, alarmas, normas y procedimientos efectivos con la capacidad de supervisar y controlar sistemas en tiempo real ubicados en diferentes lugares geográficos, lo que exige una red redundante para garantizar la continuidad de las operaciones en caso de fallos, ofreciendo múltiples beneficios que optimizan la seguridad y la confiabilidad en el entorno operativo como la visualización clara y efectiva de todos los aspectos de la central hidroeléctrica debido al uso de colores, gráficos y distribuciones bien diseñados que facilitan la comprensión instantánea del estado de los sistemas y las variables clave, además de usarse de manera inteligente para resaltar alarmas y situaciones críticas permitiendo a los operadores identificar de inmediato problemas o eventos anómalos, lo que es esencial para la toma de decisiones rápidas y la prevención de situaciones de riesgo; Además de esto, al presentar un sistema de alto rendimiento, se facilita el entrenamiento y la capacitación de nuevos operadores garantizando que se sigan las prácticas recomendadas y los procedimientos operativos estándar. Estos sistemas avanzados son esenciales en una industria donde la precisión y la seguridad son de máxima importancia, cumpliendo las normas que garantiza que la operación de la central esté en conformidad con las regulaciones y normativas aplicables, por lo tanto, para realizar el diseño de un HMI de alto rendimiento se siguen los lineamientos establecidos en la norma ISA 101 la cual establece las mejores prácticas para un HMI de alto nivel.

### 3.1. NORMA ISA 101

La norma ISA-101, también conocida como "ISA-101.01-2015: Human Machine Interfaces for Process Automation Systems", es un estándar desarrollado por la Sociedad de Automatización (ISA) que se centra en la interfaz de usuario humana (HMI) para sistemas de automatización de procesos. La norma ISA-101 establece directrices y me-

jores prácticas para el diseño de interfaces de usuario efectivas en entornos industriales con el objetivo de mejorar la comprensión, la operación y el control de sistemas automatizados. La norma se enfoca en aspectos como la presentación de datos, la organización de la información, la gestión de alarmas, la navegación y la seguridad, mejorando la productividad en entornos de automatización de procesos.

Partiendo de la metodología de ingeniería, es importante tener en cuenta que en la empresa Omnicon se ha empeñado en realizar una segmentación del personal asignando diferentes roles a cada equipo con responsabilidades específicas, esto con el fin de enfocar las actividades según el perfil de cada persona. Teniendo en cuenta esto, existe un grupo de Consulting and Sales los cuales son los encargados de realizar la ingeniería conceptual del proyecto, el grupo de Solution Design es el encargado de realizar la ingeniería básica y de detalle, y el equipo de ingeniería partiendo de la ingeniería de detalle se enfoca en la ejecución y pruebas de funcionamiento del proyecto, por tal motivo en este trabajo al ser parte del equipo de ingeniería, será aplicada la metodología de automatización planteada por la norma ISA 101 basada en el ciclo de vida del HMI haciendo énfasis en las ejecución y pruebas, actividades que tienen como objetivo realizar la planeación, el diseño, la implementación y la gestión de sistemas, siendo fundamental para garantizar el éxito de un proyecto de automatización, ayudando a los usuarios a comprender los conceptos básicos como una forma de aceptar mejor y más fácilmente el estilo de HMI que recomienda el estándar, ya que proporciona un enfoque estructurado y organizado para abordar todas las etapas del proceso. Al aplicar la metodología en un proceso industrial se logran los objetivos de generar un sistema de control de procesos más efectivo en todas las condiciones operativas.

Según la norma, los HMI se desarrollarán y gestionarán mediante un modelo de ciclo de vida y se usan estándares del sistema para establecer las bases de esa metodología como se muestra en la **Figura 9** que incluyen la filosofía HMI y la guía de estilo HMI. Estos elementos deben mantenerse durante la vida útil de una instalación y una vez creados, no suelen recrearse ni modificarse significativamente a menos que la filosofía general haya cambiado teniendo en cuenta que ocasionalmente, los requisitos del proyecto dictarán la creación de nuevos estándares o impulsarán cambios significativos en los estándares del sistema existente.

Las principales etapas del ciclo de vida de HMI son el sistema de normas, diseño, implementación y operación. Se muestran dos puntos de entrada en la **Figura 9**, de los cuales para este proyecto se hará uso del segundo punto que consiste en aplicar los estándares del sistema para cambios importantes incluyendo la migración de la plataforma HMI usando la mejora continua en el ciclo de vida. Las ideas de mejora pueden surgir en cualquier punto del ciclo de vida, pero las conexiones principales se muestran donde ocurren los cambios reales.

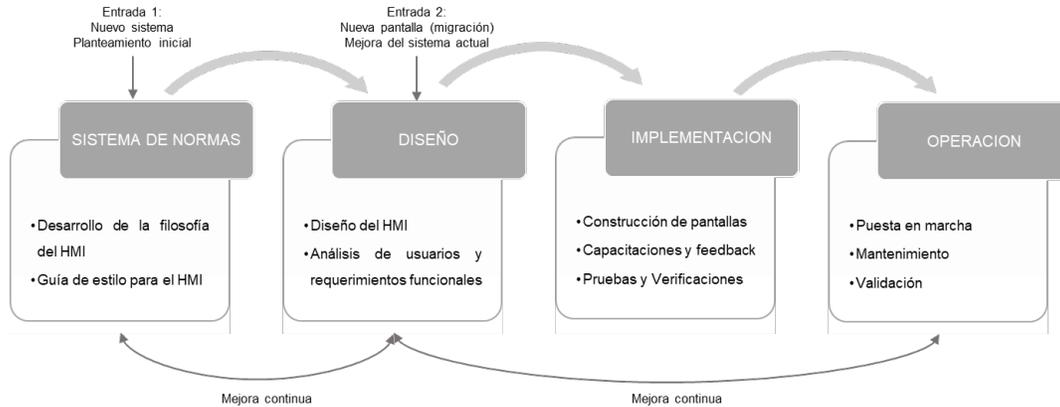


Figura 9: Ciclo de vida HMI  
Fuente tomada de: ANSI/ISA-101.01-2015 [9]

Partiendo de las etapas del ciclo de vida del HMI, es importante tener en cuenta que se han elegido las actividades que tienen relevancia en la ejecución del proyecto, además la etapa de implementación y operación serán explicadas a detalle en el Capítulo 4 ya que este capítulo consiste en la evaluación normativa, el análisis del sistema actual y el diseño del nuevo sistema HMI de alto rendimiento para la central hidroeléctrica [14].

### 3.1.1. ETAPA 1: SISTEMA DE NORMAS

Esta etapa está compuesta por actividades que permiten establecer una base normativa sólida a seguir para desarrollar un HMI de alto rendimiento como el desarrollo de la filosofía HMI y la guía de estilos HMI; Para el desarrollo de la filosofía la cual tiene como objetivo proporcionar los principios y bases conceptuales para el diseño incluyendo detalles sobre cómo está diseñado y cuál es la función que presenta, se tiene en cuenta la idea de realizar una migración ya que es importante analizar el sistema actual para definir el por qué es necesario implementar una mejora al sistema basado en la norma ISA 101.

El análisis se realiza teniendo en cuenta la funcionalidad y el tipo de pantalla (Operación por unidad, monitoreo por unidad, operación auxiliar, etc) de las cuales se explicaran a detalle en esta sección los displays principales resaltando las falencias y características que hacen a cada pantalla de bajo rendimiento, para posteriormente proceder con su migración, teniendo en cuenta que las pantallas faltantes, son explicadas en el **Anexo 3**.

## PANTALLA PRINCIPAL:

- BIENVENIDA

El display de bienvenida mostrado en la **Figura 10** es el display principal que permite ver si las unidades están generando o girando en vacío, además de presentar un menú para acceder a los displays de las unidades y monitorear variables como potencias y niveles en el embalse que son variables principales de generación.

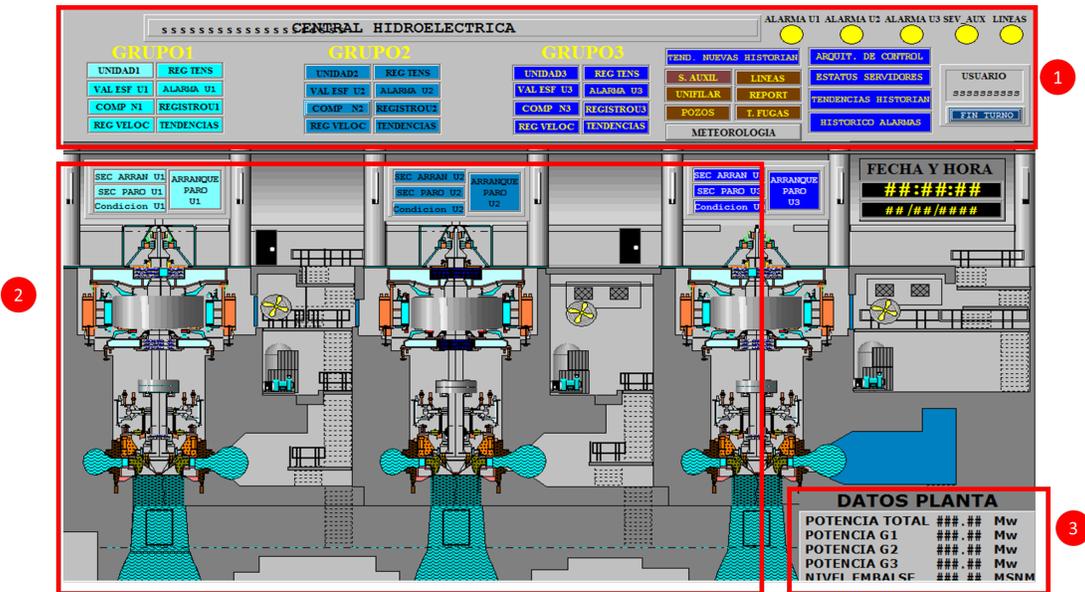


Figura 10: Pantalla Bienvenida central hidroeléctrica

Fuente: Propia

A continuación se presentan las deficiencias identificadas en el display de Bienvenida mostrado anteriormente.

ITEM	ASPECTO A EVALUAR
1	Se evidencia un bajo rendimiento en temas como el uso del color estandarizado según lo establecido por la norma, además del mal uso de la fuente de letra, el color y el tamaño a lo largo de todo el display
2	Se evidencia un sobre exceso de información en el display, una gran cantidad de gráficos con un mal uso del color, lo que genera un cansancio visual por parte del operador que evita la fácil y rápida identificación de las situaciones anormales que se puedan presentar durante el funcionamiento de la planta
3	Los datos o información importante de la planta no es de fácil identificación debido a la mala distribución de la pantalla y al uso incorrecto de los colores

Tabla 9: Falencias Pantalla Bienvenida

Fuente: Propia

## PANTALLAS POR UNIDAD: OPERACIÓN.

### ■ REGULADOR DE VELOCIDAD U1:

La función del display del regulador de velocidad mostrado en la **Figura 11** es monitorear y controlar el sistema y variables críticas para el arranque de las unidades de generación, como requisito de mejora se pidió por parte del cliente implementar la lógica de sincronismo que es de vital importancia para el arranque de máquina y tener un equilibrio esencial para la generación eléctrica.

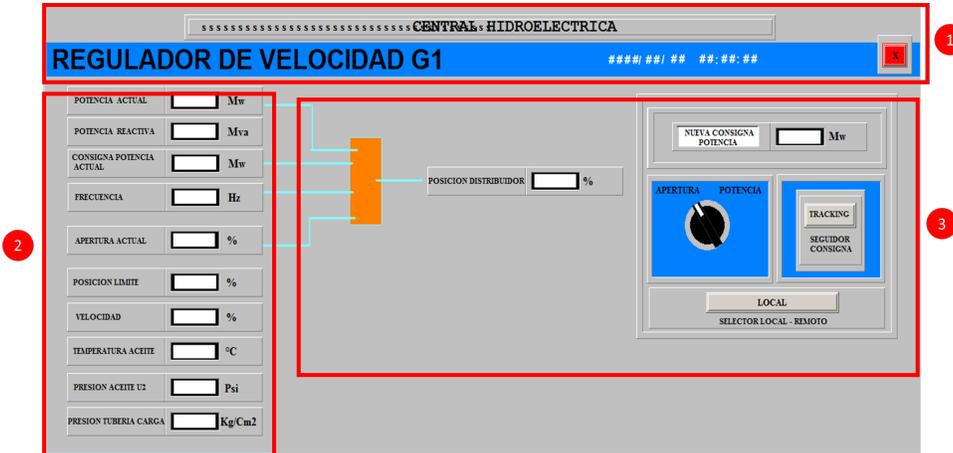


Figura 11: Pantalla Regulador de velocidad unidad 1 central hidroeléctrica

Fuente: Propia

A continuación se presentan las deficiencias identificadas en el display de Regulador de Velocidad mostrado anteriormente.

ITEM	DEFICIENCIAS PANTALLA REGULADOR DE VELOCIDAD
1	Se evidencia la ausencia de un banner de navegación estandarizado según lo planteado por la norma, el cual presente el nombre de la central, el nombre de la pantalla, el usuario, la fecha, la hora, el logo de la central haciendo un uso adecuado de los colores y distribuciones
2	En este punto se evidencia que los valores críticos de cada unidad no están siendo presentados en un contexto de información, sino que son datos sin procesar que están dispersos por la pantalla. Esto causa que los operadores deban tener un alto trabajo mental para memorizar los rangos de operación normales de las diferentes variables de procesos, dificultando su trabajo y generando riesgos debido a errores humanos.
3	Se evidencia una mala distribución de la pantalla, el uso de colores fuertes y reservados para otros fines según la norma además de presentar un mal uso de el color y tipo de la fuente en el display

Tabla 10: Falencias Pantalla Regulador de Velocidad

Fuente: Propia

## PANTALLAS POR UNIDAD: ALARMAS

### ■ REGULADOR U1:

El display de regulador mostrado en la **Figura 12** monitorea la tensión para el arranque de la máquina, además de presentar alarmas de disparo según sensores dispersos en la estructura de generación



Figura 12: Pantalla Regulador de tensión unidad 1 central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

A continuación se presentan las deficiencias identificadas en el display de Regulador de Tensión mostrado anteriormente.

ITEM	DEFICIENCIAS PANTALLA REGULADOR DE TENSION
1	Se evidencia la ausencia de un banner de navegación estandarizado según lo planteado por la norma, el cual presente el nombre de la central, el nombre de la pantalla, el usuario, la fecha, la hora, el logo de la central haciendo un uso adecuado de los colores y distribuciones
2	Como requerimiento del cliente se solicitó una división de las alarmas digitales en un display y las alarmas analógicas en otro display, ya que para dar respuesta a cada alarma el procedimiento es diferente, segmentando el tipo de alarma y consolidándolo así en un mismo lugar, además de esto se evidencia un mal uso del tipo de fuente que no es estandarizado a lo largo de la pantalla
3	Este display también presenta un mal uso de colores como en el fondo, además de hacer uso de colores reservados para la información importante o alarmas críticas, en botones que no es lo adecuado según la norma, ya que genera confusiones y falla en la operación de la central.

Tabla 11: Falencias Pantalla Regulador de Tensión  
Fuente: Propia

## PANTALLAS POR UNIDAD: OPERACIÓN AUXILIAR.

- COMPUERTAS U1:

El display de compuertas mostrado en la **Figura 13** es la más crítica para toda la central ya que opera la apertura y cierre de las compuertas en el embalse por ende en caso de una mala ejecución podría causar una inundación a poblaciones aguas abajo de la represa.



Figura 13: Pantalla Compuertas unidad 1 central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

A continuación se presentan las deficiencias identificadas en el display de Compuertas mostrado anteriormente.

DEFICIENCIAS PANTALLA COMPUERTAS
Al ver esta pantalla de compuertas el usuario puede asociarla con un display similar al presentado en un tipo de juego, comportamiento que es inadecuado teniendo en cuenta la criticidad del sistema de monitoreo en cuestión, esto se da debido al mal uso del color, al sobre exceso de información y animaciones que presenta el display, además del uso de objetos gráficos en tercera dimensión (3D) lo que disminuye el rendimiento de todo el sistema de supervisión, afectando a su vez la velocidad y eficiencia del mismo-

Tabla 12: Falencias Pantalla Compuertas  
Fuente: Propia

## PANTALLAS AUXILIARES: MONITOREO.

### ■ POZOS

El display de pozos mostrado en la **Figura 14** monitorea y controla las bombas en los pozos de drenaje para las unidades las cuales están ubicados en casa de máquinas, en este punto según el nivel y las maniobras del operador se pueden activar o desactivar las bombas de manera manual o automática

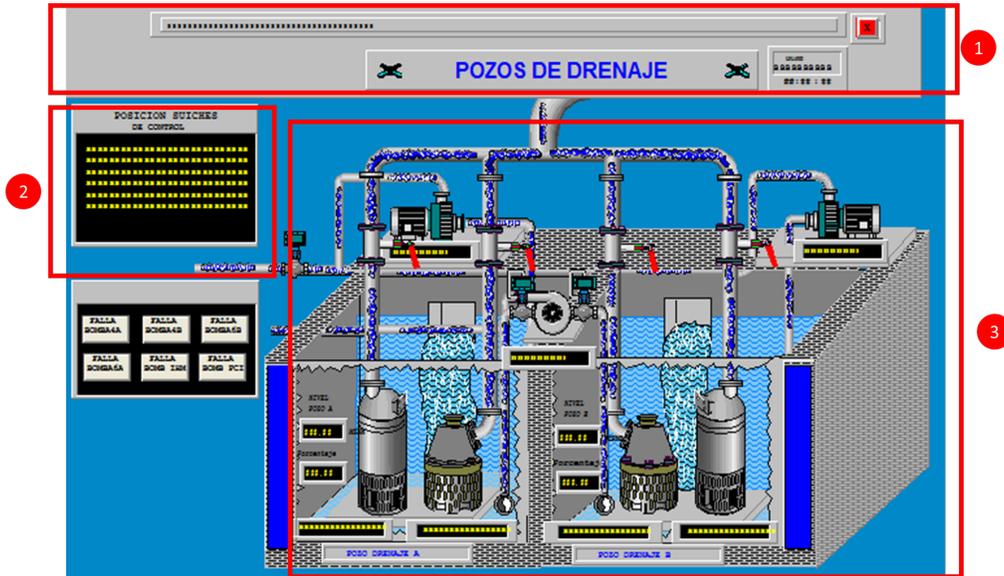


Figura 14: Pantalla Pozos central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

A continuación se presentan las deficiencias identificadas en el display de Pozos Drenaje mostrado anteriormente.

ITEM	DEFICIENCIAS PANTALLA POZOS DE DRENAJE
1	Se evidencia la ausencia de un banner de navegación estandarizado según lo planteado por la norma, el cual presente el nombre de la central, el nombre de la pantalla, el usuario, la fecha, la hora, el logo de la central haciendo un uso adecuado de los colores y distribuciones
2	Se evidencia un mal uso del color y los fondos, además de las fuentes de letra usadas en toda la pantalla
3	Se evidencia un sobre exceso de información que genera confusiones en la operación debido a la cantidad de objetos en tercera dimensión que vuelven lento el sistema de monitoreo, además de dificultar la identificación rápida de situaciones anormales o estados de los equipos debido a la mala distribución que presenta la pantalla-

Tabla 13: Falencias Pantalla Pozos Drenaje  
Fuente: Propia

Partiendo de la información del sistema SCADA en funcionamiento en la central, en la **Tabla 14** se presentan diversas características que identifican a una pantalla HMI como de bajo rendimiento. Estas características abarcan desde tiempos de respuesta lentos debido a la gran cantidad de gráficos que contienen, hasta una interfaz de usuario poco intuitiva y dificultades en la interpretación de la información presentada (Si alguna pantalla en revisión no cumple con alguna de estas condiciones, es necesario considerar su migración). La migración se convierte en una estrategia esencial para mejorar la eficacia del sistema, ya que permite reemplazar las pantallas deficientes por interfaces más avanzadas y eficientes. Al abordar las deficiencias identificadas en la tabla mediante la migración, se busca optimizar la productividad, la usabilidad y la confiabilidad del sistema HMI, asegurando así un rendimiento adecuado en entornos operativos críticos.

PANTALLAS POR UNIDAD		CARACTERÍSTICAS DE BAJO RENDIMIENTO SEGUN NORMA ISA 101					
ACCION	NOMBRE	COLORES DE GRAFICOS Y FONDOS ADECUADOS?	COLOR, FUENTE Y TAMAÑO DE LETRA ADECUADO?	ANIMACION DE ALARMAS CON COLOR ADECUADO SEGUN PRIORIDAD?	PRESENTA INFORMACION CLARA?	LOS GRAFICOS CORRESPONDEN AL ESTANDAR?	LA DISTRIBUCION DE LA PANTALLA ES CORRECTA?
OPERACION	REGULADOR DE VELOCIDAD	NO	NO		NO	NO	NO
	COMPUERTAS	NO	NO		NO	NO	
	VALVULAS ESFERICAS	NO	NO	NO	NO	NO	NO
	GENERADOR ARRANQUE PARO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MONITOREO	SECUENCIA DE ARRANQUE	NO	NO	NO			NO
	RTD CEDAG	NO	NO	NO			
	REGISTROS	NO	NO	NO			NO
	SECUENCIA DE PARO	NO	NO				
	CONDICION DE ARRANQUE	NO	NO	NO			
	CONFIRMACION VALVULA ESFERICA	NO	NO	NO			
POP UPS	CONFIRMACION COMPUERTA	NO	NO		NO		
	DESCRIPCIONES	NO	NO		NO		
ALARMAS	CONFIRMACIONES	NO	NO		NO		
	PANEL GENERAL	NO	NO	NO	NO		NO
PANTALLAS AUXILIARES							
ACCION							
OPERACION	NIVELES	NO	NO	NO		NO	NO
	POZOS	NO	NO	NO	NO	NO	
MONITOREO	UNIFILAR	NO	NO				
	BIENVENIDA	NO	NO	NO	NO	NO	
TENDENCIAS	TENDENCIAS HISTORICAS	NO					
ALARMAS	LINEAS	NO	NO	NO			
	SERVICIOS AUXILIARES	NO	NO	NO			

Tabla 14: Análisis características HMI alto rendimiento  
Fuente: Propia

Como segunda actividad de esta etapa, se tiene el desarrollo de la guía de estilos HMIs, en esta actividad se aplica la norma planteada y establecidas en la actividad anterior con el fin de proporcionar ejemplos de implementación y orientación. Una guía de estilo HMI Incluye principios generales de diseño para las pantallas y aplicaciones asociadas, así como estándares de implementación específicos.

Según lo planteado por la norma ISA 101, se establecen los requerimientos de navegación, distribución en pantallas, resolución, alarmas y para los principales objetos gráficos dinámicos, una descripción del comportamiento del objeto, su presentación (tamaño, color, etc.) e ilustraciones de sus posibles estados generando así la guía de estilo HMI con las reglas para diseñar y construir pantallas la cual se puede administrar como una única biblioteca de diseño. Dentro de esa guía se tiene que:

- NAVEGACIÓN

Para la navegación en cada pantalla es requerimiento primordial tener acceso desde cada display a los botones de alarmas para las 3 unidades, para servicios generales y líneas, ya que estos presentarán una animación de color y estarán asociados a una alarma sonora con el fin de alertar al operador que hay eventos anormales en las unidades. Por otro lado, es importante que cada display tenga el logo y el nombre de la central, así como la fecha, hora y usuario. En cuanto a la navegación hacia las otras pantallas, es importante que desde la misma pantalla pueda acceder a las 2 unidades en el mismo display como se evidencia en la **Figura 15**.

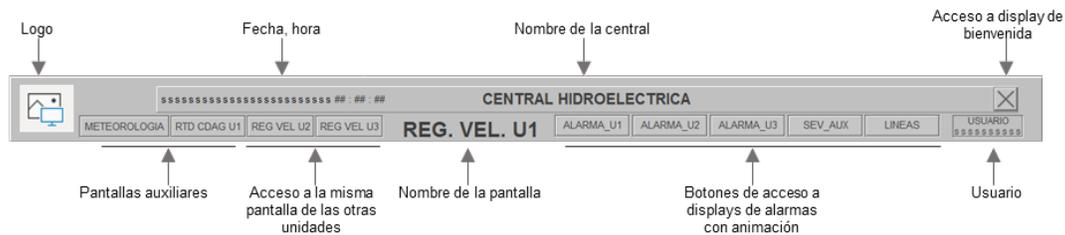


Figura 15: Banner de navegación central hidroeléctrica

Fuente: Propia

- DISTRIBUCIÓN Y RESOLUCIÓN

En cuanto a la distribución y resolución, el requerimiento principal es que el contenido de las pantallas no se vea colapsado de información ya que debe mostrar información clara y ordenada, por tal motivo la distribución dependerá del contenido de las pantallas ya que todas son diferentes; por otro lado, en temas de resolución, fue necesario realizar la visita a planta para saber el tamaño del monitor y definir la resolución de la pantalla la cual se muestra en la **Figura 16**



Figura 16: Resolución Pantallas central hidroeléctrica

Fuente: Propia

## ■ ALARMAS

Las alarmas del sistemas se presenta en las pantallas de panel general para las 3 unidades, líneas y servicios auxiliares que son las pantallas que deben estar disponibles para acceso inmediato en todas los displays. Las alarmas presentan una estructura según estándar de la empresa mostrada en la **Figura 17** y explicada a continuación.

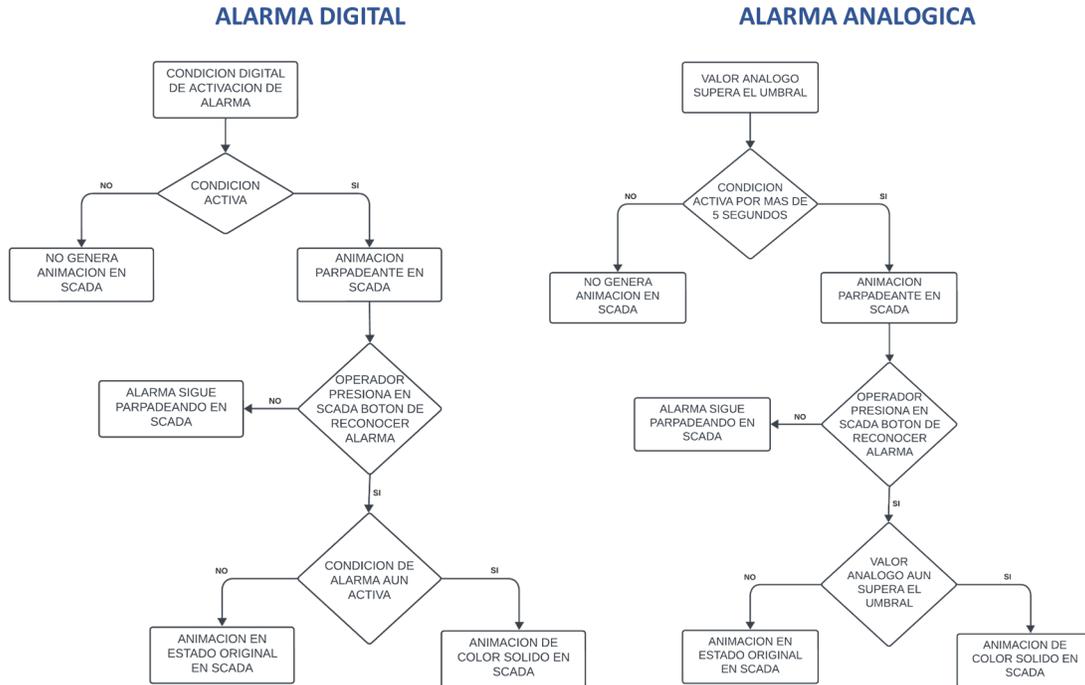


Figura 17: Flujo y estructura de alarmas central hidroeléctrica

Fuente: Propia

Según las condiciones de activación que hacen referencia a entradas físicas análogas o digitales que identifican la presencia de una alarma en el sistema, se da una animación de color siendo amarillo para alarma de prioridad 2 y rojo para alarma crítica de prioridad 1, animación intermitente que se mantiene hasta que la alarma sea reconocida por medio de un botón en la consola del operador, esto con el objetivo de que hasta que el operador no reconozca el suceso, esta va a estar alarmando al personal de supervisión.

## ■ OBJETOS GRÁFICOS

Se establecen los objetos gráficos que serán usados a lo largo de todo el diseño de los displays en alto rendimiento, teniendo en cuenta el tamaño, color asociado a la animación según el estado del equipo que es representado por el objeto en el HMI los cuales son:

### - BOMBAS

El objeto gráfico de las bombas es desarrollado bajo el estándar ISA 101, presenta una animación de color en la cual cuando esta apagada presenta un color gris y cuando esta prendida un color blanco como se ve en la **Figura 18** mostrada a continuación

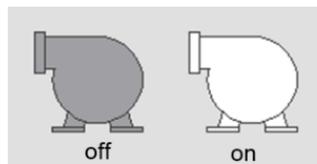


Figura 18: Objeto gráfico Moto bombas  
Fuente: Propia

### - VÁLVULAS

El objeto gráfico de las válvulas es desarrollado bajo el estándar ISA 101, presenta una animación de color en la cual cuando está cerrada presenta un color gris y cuando está abierta un color blanco como se ve en la **Figura 19** mostrada a continuación

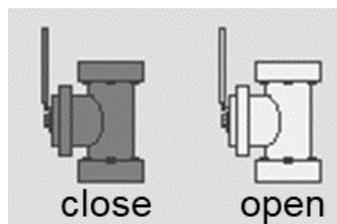


Figura 19: Objeto gráfico Válvulas  
Fuente: Propia

## - VÁLVULA ESFÉRICA

El objeto gráfico de la válvula esférica se basa en la válvula presentada por el estándar ISA 101 pero debido a la información que contiene en su interior y la escala, se ha modificado para poder mostrar los datos de manera clara como se ve en la **Figura 20** presentada a continuación

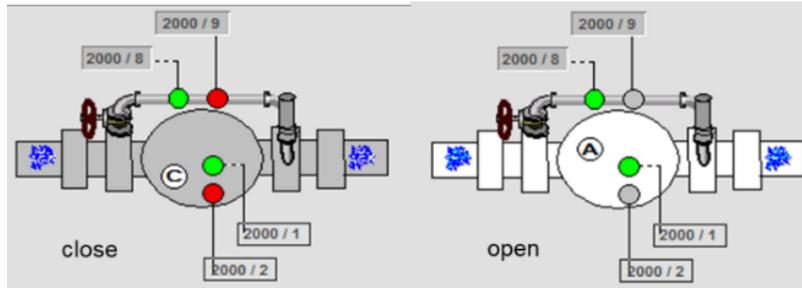


Figura 20: Objeto gráfico Válvula esférica  
Fuente: Propia

## - TACÓMETROS

El objeto gráfico de los tacómetros se estandarizan según los objetos presentes en el software Factory Talk View y los colores del estándar ISA 101 como se ve en la **Figura 21** presentada a continuación con el fin de representar los datos de proceso de manera gráfica.

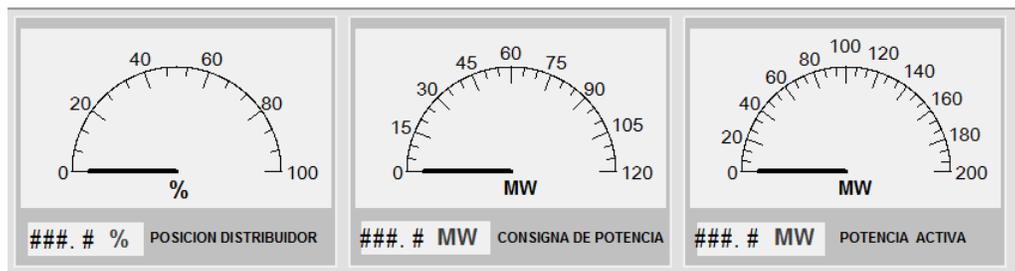


Figura 21: Objeto gráfico Tacómetros  
Fuente: Propia

## - TANQUES

El objeto gráfico de los tanques presenta la estructura establecida por el estándar ISA 101 compuesto por el objeto en dos dimensiones, la barra de nivel y la gráfica o tendencia en tiempo real como se ve en la **Figura 22** presentada a continuación.

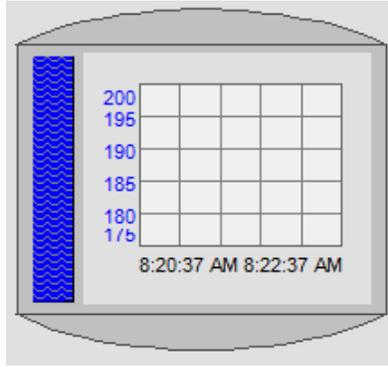


Figura 22: Objeto gráfico Tanques  
Fuente: Propia

### 3.1.2. ETAPA 2: PROCESO DE DISEÑO

Esta etapa está compuesta por actividades que permiten establecer los objetos gráficos para el diseño de la interfaz y el análisis de usuarios y requerimientos funcionales. La base del diseño del sistema HMI incluye la selección de la plataforma de control, el sistema operativo relacionado y la elección de los objetos gráficos de herramientas HMI que se utilizarán en el sistema, considerando conceptos de diseño de red.

La plataforma del sistema de control se basa en el software que ofrece Rockwell Automation como herramienta de diseño para interfaces de visualización partiendo de un sistema distribuido, la plataforma es llamada Factory Talk View Site edition para el entorno SCADA distribuido y Machine Edition para el entorno de visualización y monitoreo remoto en PanelViews.

FactoryTalk View Site Edition (SE) y Machine Edition (ME) son dos componentes clave del conjunto de herramientas de software FactoryTalk de Rockwell Automation, diseñados para la supervisión y control de sistemas en entornos industriales, FactoryTalk View SE es una solución de software que facilita la visualización y supervisión de procesos industriales distribuidos, permitiendo a los operadores monitorear y controlar equipos y procesos desde ubicaciones remotas a través de una interfaz gráfica intuitiva, proporcionando capacidades avanzadas de visualización, incluyendo gráficos dinámicos, tendencias de datos en tiempo real y alarmas, lo que facilita la toma de decisiones informadas; Por otro lado, FactoryTalk Machine Edition está diseñado específicamente para el desarrollo de interfaces hombre-máquina (HMI) y la programación de controladores en máquinas individuales. Este software permite a los ingenieros de control crear y personalizar interfaces de usuario para máquinas industriales, facilitando la programación

y el control de procesos en el nivel de la máquina, ofreciendo herramientas gráficas para la programación de controladores y un entorno de desarrollo integrado, simplificando el diseño y la implementación de sistemas de control de máquinas.

Ambas ediciones, SE y ME, comparten la ventaja de la integración con otros productos de Rockwell Automation y la capacidad de trabajar con una variedad de hardware industrial, además, ofrecen funciones avanzadas de seguridad y cumplen con los estándares de la industria, lo que garantiza un entorno de producción confiable y seguro. La combinación de FactoryTalk View SE y Machine Edition proporciona un enfoque integral para la supervisión y control en entornos industriales, mejorando la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta, entorno que se maneja actualmente en la central. En temas de diseño de red, se manejará la misma arquitectura presentada en el Capítulo I integrando eficientemente todos los datos relevantes e importantes de los controladores en un SCADA para el monitoreo de datos remotos de manera rápida y efectiva, haciendo uso de los objetos gráficos establecidos en la Etapa 1 del ciclo de vida del HMI.

En cuanto a usuarios, es importante mencionar e identificar los requisitos primarios y secundarios soportados en el HMI, donde los usuarios primarios son los responsables directos del funcionamiento de los equipos controlados desde la HMI y los usuarios secundarios son aquellos que apoyan las actividades operativas, ya sean mantenimiento, ingeniería o gestión.

Una vez que se definen los roles y requisitos básicos de los usuarios, se capturan, revisan y optimizan las tareas reales que deben realizar los usuarios, para esto partiendo de los usuarios ya existentes los cuales son operador, administrativo, ingeniero, en esta migración y como requerimiento por parte del cliente, se implementaran restricciones de acceso a las pantallas para cada usuario, siendo el administrativo, el ingeniero y el operario los usuarios globales con acceso a todas las pantallas y el usuario por defecto únicamente presentara acceso a las pantallas de monitoreo y no de operación.

Teniendo claro el software y las características que debe presentar el sistema, se procede con la actividad de diseño de la interfaz en alto rendimiento, iniciando con el levantamiento de información con el fin de conocer la cantidad de pantallas a diseñar e implementar y posteriormente tener el plan de acción para realizar el montaje de las nuevas pantallas en entorno de producción, ya que es importante tener en cuenta que no se realizara un paro del sistema para la implementación de las pantallas, sino que se realizara progresivamente con la planta en funcionamiento, actividad que requiere mayor cuidado debido a que las pruebas únicamente se podrán realizar en entorno de simulación.

Los displays se dividen en 2 categorías, por unidad y pantallas auxiliares, dentro de cada categoría existen pantallas de monitoreo, operación, alarmas, como se puede ver en las siguientes tablas.

PANTALLAS POR UNIDAD		
ACCION	NOMBRE	CANTIDAD
OPERACION	REGULADOR DE VELOCIDAD	5
	COMPUERTAS	
	VALVULAS ESFERICAS	
	GENERADOR ARRANQUE PARO	
	SECUENCIA DE ARRANQUE	
MONITOREO	RTD CEDAG	7
	REGISTROS	
	SECUENCIA DE PARO	
	CONDICION DE ARRANQUE	
	CONFIRMACION VALVULA ESFERICA	
	CONFIRMACION COMPUERTA	
	HOROMETROS	
POP UPS	DESCRIPCIONES	10
	CONFIRMACIONES	
TENDENCIAS	TENDENCIAS HISTORICAS	1
ALARMAS	PANEL GENERAL	1
TOTAL POR UNIDAD		24
TOTAL 3 UNIDADES		72

PANTALLAS AUXILIARES		
ACCION		
OPERACION	NIVELES	2
	TUNEL DE FUGAS	
MONITOREO	POZOS	6
	UNIFILAR	
	ARQUITECTURA DE CONTROL	
	SERVIDORES	
	METEROLOGIA	
POP UPS	AUXILIARES	10
TENDENCIAS	TENDENCIAS HISTORICAS	1
ALARMAS	LINEAS	5
	SERVICIOS AUXILIARES	
	ALARMAS INDIVIDUALES	
	ALARMAS REPRESA	
	ALARMAS TEXTO	
TOTAL AUXILIARES		24
TOTAL PANTALLAS CENTRAL HIDROELECTRICA		96

Tabla 15: Pantallas a actualizar según funcionalidad  
Fuente: Propia

Se encontraron 24 pantallas por unidad (72 pantallas 3 unidades) y 24 pantallas auxiliares, dando un total de 96 pantallas en el SCADA principal, teniendo en cuenta esto para la panel view de sala de control se presenta la misma cantidad, pero para las PanelViews de flujos de cada unidad, se tienen las 24 de la unidad más las 24 auxiliares para un total de 48 pantallas, según esto se procede con el diseño de cada pantalla en alto rendimiento.

A continuación, se presentará el diseño de las pantallas de alto rendimiento que serán implementadas al sistema SCADA. Este nuevo desarrollo promete optimizar la visualización de datos y mejorar la operación, ofreciendo una experiencia avanzada e intuitiva en la monitorización y control del proceso industrial.

La presentación de los displays en alto rendimiento se realiza para las pantallas presentadas anteriormente donde se evidencian las deficiencias y se presenta la explicación general de funcionamiento por pantalla en la sección ubicada en la ".ETAPA 1: SISTEMA DE NORMAS", teniendo en cuenta que en este punto se presentara la propuesta en alto rendimiento y se explicara la mejora realizada, el resto de pantallas cuya cantidad es conocida con ayuda de la **Tabla 15** presentada anteriormente, son mostradas y explicadas en el **Anexo 4** con el fin de dar cumplimiento al segundo objetivo específico planteado, que consiste en Diseñar la interfaz hombre maquina (HMI) en alto rendimiento para todo el sistema de monitoreo de la central siguiendo los lineamientos del estándar ANSI/ISA-101.

# PANTALLA PRINCIPAL.

## ■ BIENVENIDA:

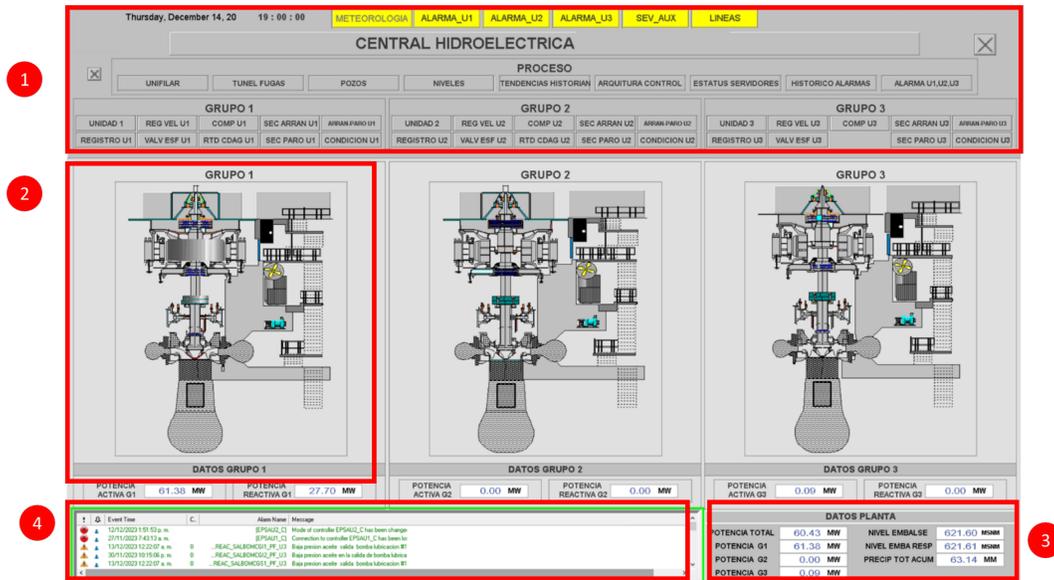


Figura 23: Pantalla Bienvenida alto rendimiento

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la propuesta de alto rendimiento para la pantalla Bienvenida, se presenta la comparación de las deficiencias generales que presentaba la pantalla en bajo rendimiento y las mejoras implementadas en la propuesta de alto rendimiento como se ve en la siguiente tabla, esto con el fin de resaltar las mejoras realizadas.

ITEM	DISPLAY BIENVENIDA	
	DEFICIENCIAS IDENTIFICADAS	MEJORAS IMPLEMENTADAS
1	Bajo rendimiento en el uso del color Mal uso de la fuente y tamaño de letra a largo de todo el display	Se evidencia un mejor uso en el tema de los colores, aplicando las escalas de grises planteadas por la norma con el fin de generar una mejor identificación de la información importante, dando lugar así a una interfaz más intuitiva para el operador, además de esto se hace un uso adecuado de el color, tamaño y tipo de fuente a lo largo de todo el display
2	Sobre exceso de información en el display Gran cantidad de gráficos con un mal uso del color Genera cansancio visual por parte del operador que evita la fácil y rápida identificación de las situaciones anormales	Se evidencia un mejor uso del color en objetos gráficos estáticos y dinámicos, mejorando el fondo y la distribución de toda la pantalla, evitando el sobre exceso de información y el cansancio visual por parte del operador.
	Los datos o información no son de fácil identificación Mala distribución de la pantalla Uso incorrecto de los colores	Al mejorar la distribución y hacer uso adecuado del color, se resalta más la información importante como los datos de planta.
3	No hay presencia de un banner de alarmas en tiempo real	El estándar plantea el uso de los banners de alarmas en tiempo real en las pantallas principales, esto permite una identificación más ágil y efectiva de las situaciones anormales de toda la planta con el fin de dar lugar a una resolución más efectiva de las mismas.

Tabla 16: Comparación nueva implementación Pantalla Bienvenida

Fuente: Propia

# PANTALLAS POR UNIDAD: OPERACIÓN.

## ■ REGULADOR DE VELOCIDAD U1:

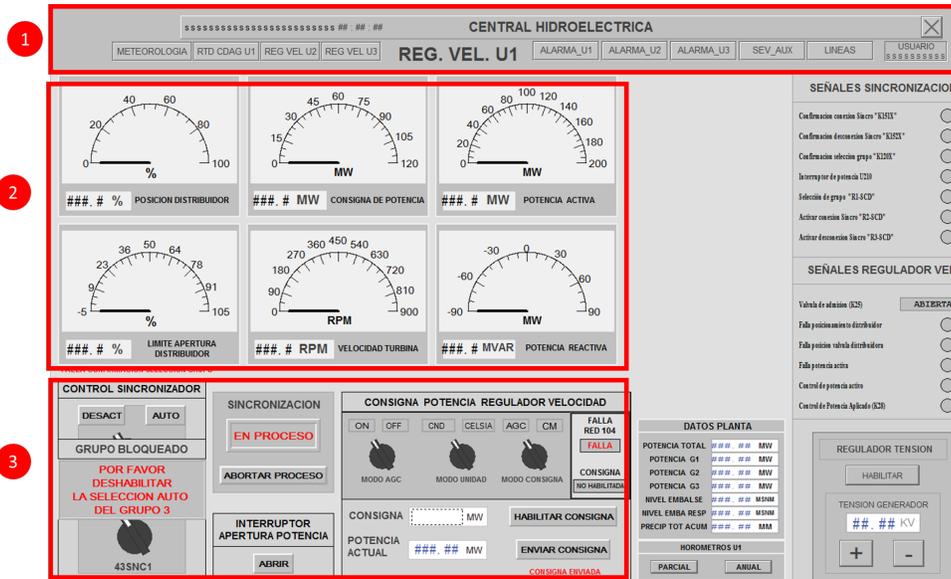


Figura 24: Pantalla Regulador de velocidad unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la propuesta de alto rendimiento para la pantalla Regulador de velocidad, se presenta la comparación de las deficiencias generales que presentaba la pantalla en bajo rendimiento y las mejoras implementadas en la propuesta de alto readmito como se ve en la siguiente tabla, esto con el fin de resaltar las mejoras realizadas.

ITEM	DISPLAY REGULADOR DE VELOCIDAD	
	DEFICIENCIAS IDENTIFICADAS	MEJORAS IMPLEMENTADAS
1	Ausencia de un banner de navegación estandarizado	Se evidencia la presencia de un banner de navegación general para el sistema de monitoreo, teniendo en cuenta los requisitos planteados por la norma y el cliente como, nombre de la central, logo, fecha, hora, usuario, etc., teniendo en cuenta el uso del color y la fuente adecuada
2	Valores críticos de cada unidad presentados como datos sin procesar dispersos por la pantalla. Alto trabajo mental para memorizar los rangos de operación normales de las diferentes variables de procesos para el operador. Dificultad en la operación su trabajo. Posibles riesgos debido a errores humanos.	La información de las variables importantes está siendo presentada en un contexto de información con ayuda de gráficos y colores, además de las animaciones que permiten al operador identificar visualmente la operación de cada variable, evitando la tarea de memorizar todos los rangos de operación normal de cada dato, disminuyendo errores humanos.
3	Mala distribución de la pantalla. Uso de colores fuertes y reservados para otros fines según la norma	Se evidencia el cumplimiento del requerimiento de mejora por parte del cliente debido a la presencia del control de sincronización de la unidad, además del envío del set Paint de generación desde el display en cuestión, mejorando y agilizando el proceso de generación que anteriormente se hacía de forma manual-

Tabla 17: Comparación nueva implementación Pantalla Regulador de velocidad  
Fuente: Propia

# PANTALLAS POR UNIDAD: MONITOREO.

## ■ REGISTROS U1:

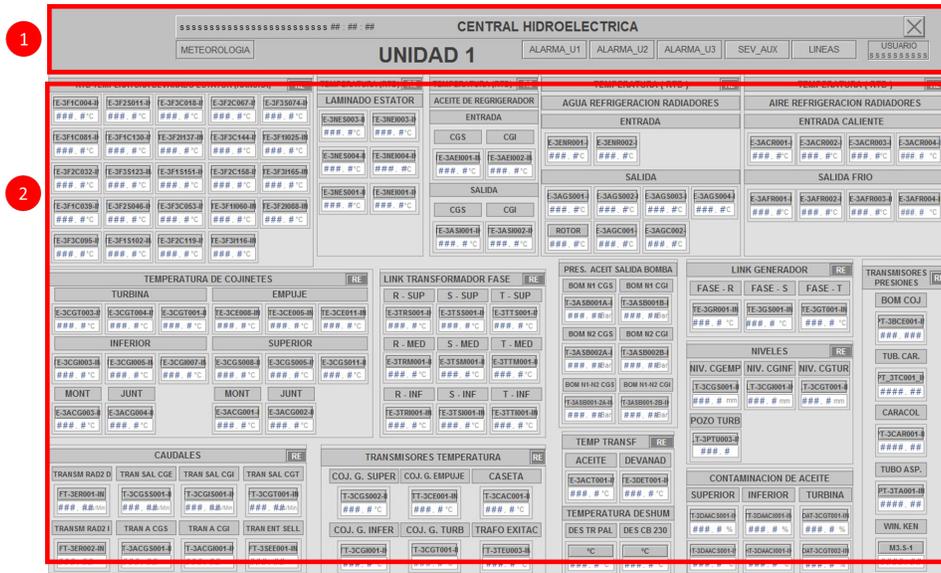


Figura 25: Pantalla Registros unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

# PANTALLAS POR UNIDAD: ALARMAS.

## ■ PANEL GENERAL U1:

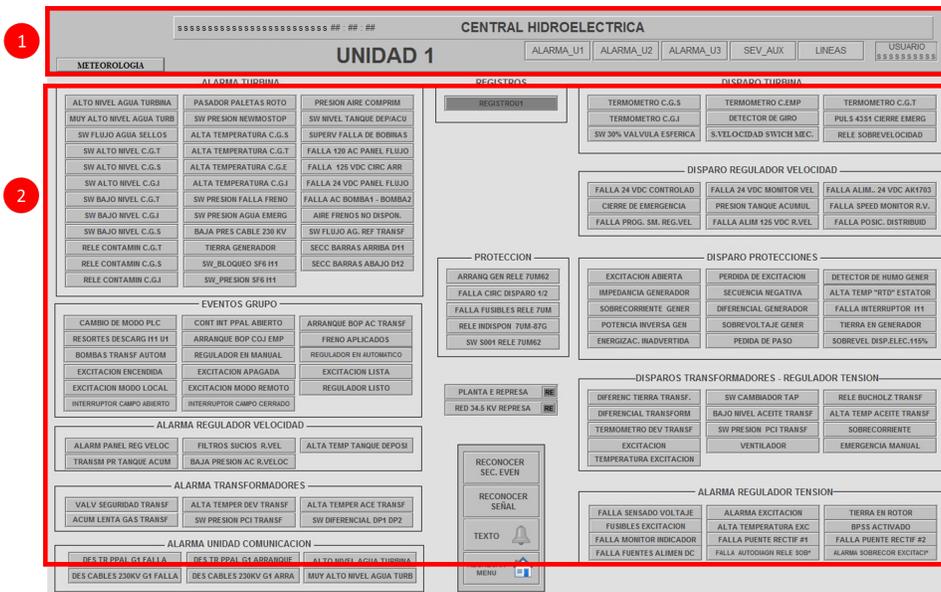


Figura 26: Pantalla alarmas panel general unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la propuesta de alto rendimiento para las pantallas panel general y Registros, se presenta la comparación de las deficiencias generales que presentaba la pantalla en bajo rendimiento y las mejoras implementadas en la propuesta de alto readmito como se ve en la siguiente tabla, esto con el fin de resaltar las mejoras realizadas.

ITEM	DISPLAY REGULADOR DE TENSION Y ALARMAS	
	DEFICIENCIAS IDENTIFICADAS	MEJORAS IMPLEMENTADAS
1	Ausencia de un banner de navegación estandarizado	Se evidencia la presencia de un banner de navegación general para el sistema de monitoreo, teniendo en cuenta los requisitos planteados por la norma y el cliente como, nombre de la central, logo, fecha, hora, usuario, etc., teniendo en cuenta el uso del color y la fuente adecuada
2	Fue solicitada la división de las alarmas según su tipo, digitales en un display y análogas en otro display Se evidencio un mal uso del tipo de fuente que no es estandarizado a lo largo de la pantalla. Mal uso de los colores. Ausencia de identificadores de variables.	Se evidencia la segmentación de alarmas según su tipo, donde las alarmas digitales son presentadas en la 26 y las alarmas analógicas en la Figura 25. Se evidencia una mejor distribución a lo largo de todo el display, haciendo uso de colores adecuados y animaciones de alarmas según su prioridad. Se hace uso del estándar ISA 5.1 de nombramiento para la identificación de cada punto de medición que genera alarmas.

Tabla 18: Comparación nueva implementación Pantalla Registros y alarmas  
Fuente: Propia

## PANTALLAS AUXILIARES: MONITOREO:

### ■ COMPUERTAS U1

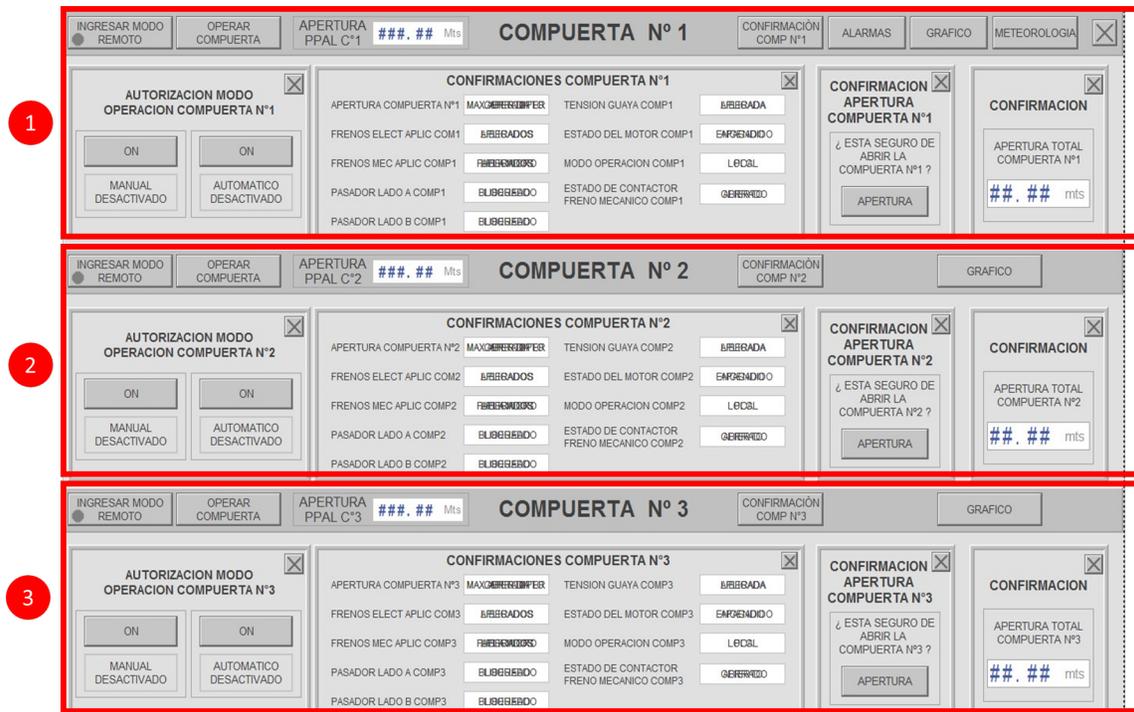


Figura 27: Pantalla Compuertas unidad 1 alto rendimiento

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la propuesta de alto rendimiento para las pantallas Compuertas, se presenta la comparación de las deficiencias generales que presentaba la pantalla en bajo rendimiento y las mejoras implementadas en la propuesta de alto readmito como se ve en la siguiente tabla, esto con el fin de resaltar las mejoras realizadas.

ITEM	DISPLAY COMPUERTAS	
	DEFICIENCIAS IDENTIFICADAS	MEJORAS IMPLEMENTADAS
1	La pantalla parecía un display de un juego Mal uso del color.	Se evidencia un mejor uso del color, eliminando los gráficos y animaciones que no permiten identificar la información importante de cada display, generando afectaciones en la velocidad y rendimiento del sistema de supervisión debido al exceso de objetos.
2	Sobre exceso de información y animaciones Mal uso de objetos gráficos en tercera dimensión (3D)	Se consolida la operación de las 3 compuertas en un mismo display.
3	La pantalla genera una disminución en el rendimiento de todo el sistema de supervisión, afectando a su vez la velocidad y eficiencia.	Se hace un uso adecuado de el tamaño y tipo de fuente para identificar los estados de operación.

Tabla 19: Comparación nueva implementación Pantalla Compuertas

Fuente: Propia

■ POZOS:

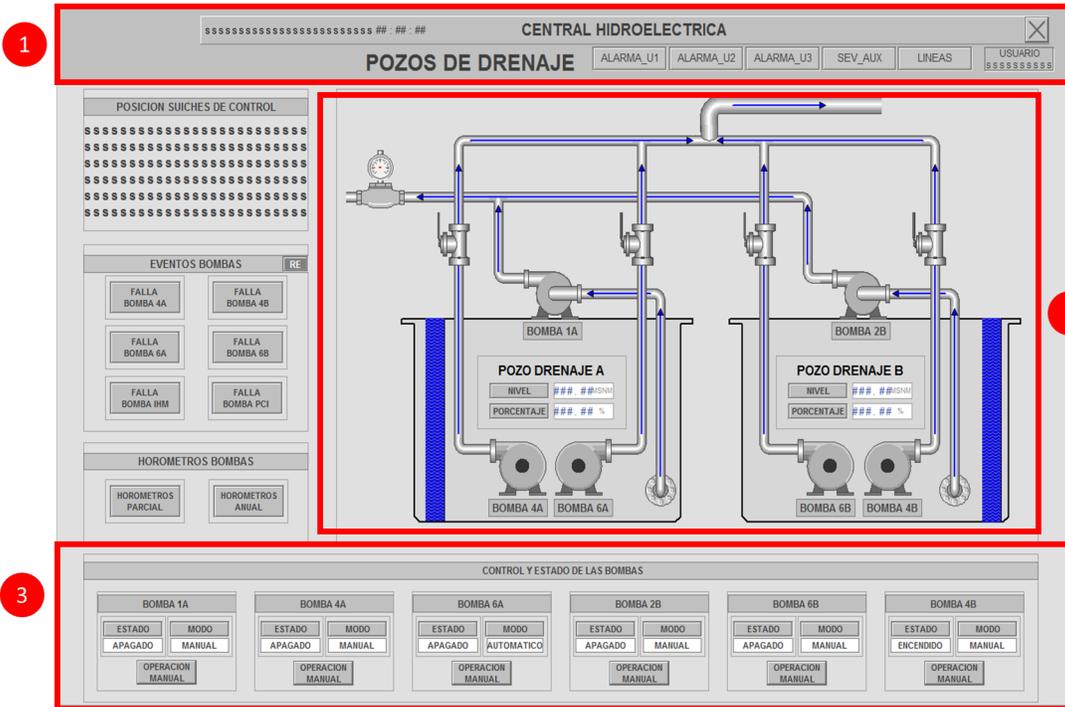


Figura 28: Pantalla Pozos alto rendimiento  
Fuente: Propia

Teniendo en cuenta la propuesta de alto rendimiento para la pantalla Pozos, se presenta la comparación de las deficiencias generales que presentaba la pantalla en bajo rendimiento y las mejoras implementadas en la propuesta de alto readmito como se ve en la siguiente tabla, esto con el fin de resaltar las mejoras realizadas.

ITEM	DISPLAY POZO DRENAJE	
	DEFICIENCIAS IDENTIFICADAS	MEJORAS IMPLEMENTADAS
1	Ausencia de un banner de navegación estandarizado	Se evidencia la presencia de un banner de navegación general para el sistema de monitoreo, teniendo en cuenta los requisitos planteados por la norma y el cliente como, nombre de la central, logo, fecha, hora, usuario, etc., teniendo en cuenta el uso del color y la fuente adecuada
2	Mal uso del color. Mal uso de los objetos gráficos	Se hace uso adecuado del color y los objetos gráficos en dos dimensiones, que genera un aumento en la velocidad y funcionalidad de la pantalla
3	Sobre exceso de información que genera confusiones en la operación. Dificultades en la identificación de situaciones anormales o estados de los equipos debido a la mala distribución que presenta la pantalla.	Se presenta una mejor distribución a lo largo del display, haciendo uso de colores según lo establecido por la norma para agilizar la identificación de situaciones anormales en el sistema, además de facilitar la identificación de estado actual de cada equipo según los colores asociados a las animaciones de los objetos gráficos.

Tabla 20: Comparación nueva implementación Pantalla Pozos  
Fuente: Propia

# CAPITULO IV: IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO EN ENTORNO DE PRODUCCIÓN.

## 4. ENTORNO DE SIMULACIÓN

En el área de la automatización industrial, donde la eficiencia y la seguridad son pilares fundamentales, la implementación de normas como la estandarización de Tags bajo ISA 5.1 y el diseño de pantallas HMI bajo ISA 101 en una central hidroeléctrica representa un avance significativo, por ende, este trabajo de grado se centra no solo en la conceptualización y diseño de estos elementos previamente explorados en capítulos anteriores, sino también en la importancia de llevar a cabo una implementación escalonada y estratégica donde la transición desde el diseño teórico hasta la aplicación práctica en el entorno real de una central hidroeléctrica se fundamenta en la necesidad de maximizar la eficacia operativa y garantizar la seguridad de las operaciones. Por lo tanto, este capítulo se sumerge en la relevancia crucial de la implementación inicial en un entorno simulado antes de introducir el proyecto en el entorno de producción.

La transición que abarca la estandarización de Tags bajo ISA 5.1 y el diseño de pantallas HMI bajo ISA 101 ha sido meticuloso y fundamentado en la optimización de la operación en la central hidroeléctrica donde cada fase, desde la concepción de estándares hasta el diseño práctico, ha sido guiada por el propósito de mejorar la eficiencia, minimizar errores y fortalecer la seguridad en un entorno operativo crítico. Sin embargo, el diseño teórico, necesita ser validado y refinado en un entorno simulado antes de introducirse en la realidad de la producción.

El entorno de simulación se rige como un laboratorio virtual, donde los elementos diseñados bajo ISA 5.1 e ISA 101 pueden ser sometidos a pruebas exhaustivas antes de entrar en la fase de producción. Este paso no solo constituye una medida de seguridad sino también una estrategia pro activa para anticipar posibles desafíos y optimizar la funcionalidad del sistema durante la simulación, evaluando las interacciones complejas entre los Tags estandarizados y las interfaces HMI de alto rendimiento, permitiendo ajustes finos y asegurando la compatibilidad en situaciones diversas.

La simulación no solo es un campo de pruebas, es una oportunidad para validar las decisiones de diseño tomadas en fases anteriores donde los Tags estandarizados, al interactuar en un entorno simulado, revelan cómo se comportan en situaciones prácticas y ofrecen una visión clara de cómo pueden mejorar o adaptarse. Del mismo modo, las pantallas HMI diseñadas para optimizar la experiencia del operador, pueden ser ajustadas según la retroalimentación obtenida en la simulación. Este proceso iterativo de validación garantiza que el diseño teórico se traduzca de

manera efectiva a soluciones prácticas.

Teniendo en cuenta lo anterior, se marca una transición significativa en el proyecto, se procede con la fase crucial de implementación, que se llevará a cabo inicialmente en un entorno de simulación abarcando detalles de la estrategia de implementación para validar la eficiencia y usar la misma estrategia en el entorno de producción. Para esto, se procede a usar una herramienta con la suite de rockwell instalada en su sistema para ejecutar el paso a paso mostrada a continuación.

PASOS PREVIOS A LA IMPLEMENTACION DE LA ACTIVIDAD DE ESTANDARIZACION DE TAGS BAJO ISA 5.1		
PASO	ACTIVIDAD	ELEMENTOS AFECTADOS EN LA ACTIVIDAD
1	REALIZAR BACKUPS	PLC UNIDAD 3
		PLC VALVLA ESFERICA U3
		ETIQUETAS EN SCADA
		ETIQUETAS EN PANELVIEWS
		BASE DE DATOS HISTORIAN
2	EXPORTAR ETIQUETAS ACTUALES CON DESCRIPCIONES EN ARCHIVO .TXT	PLC UNIDAD 3 PLC VALVLA ESFERICA U3
3	CREAR NUEVAS ETIQUETAS CON DESCRIPCIONES EM ARCHIVO .TXT	PLC UNIDAD 3 PLC VALVLA ESFERICA U3
4	EXTREAER .CSV DE LAS TAGS	ETIQUETAS EN SCADA
		ETIQUETAS EN PANELVIEWS
5	EXTRAER EXCEL DE LA BASE DE DATOS .XLSX	HISTORIAN
PASOS PARA IMPLEMENTACION		
6	IMPORTAR NUEVAS ETIQUETAS CON DESCRIPCIONES	PLC UNIDAD 3
		PLC VALVLA ESFERICA U3
7	REEPLAZAR LAS ETIQUETAS ANTIGUAS POR LAS NUEVAS EN PROGRAMACION	PLC UNIDAD 3
		PLC VALVLA ESFERICA U3
8	DESCARGAR LOS PROGRAMAS ACTUALIZADOS	PLC UNIDAD 3
		PLC VALVLA ESFERICA U3
9	REEMPLAZAR EN ARCHIVO .CSV LAS TAGS ANTIGUAS POR LAS NUEVAS	ETIQUETAS EN SCADA
		ETIQUETAS EN PANELVIEWS
10	REEMPLAZAR DIRECCIONAMIENTO EN EXCEL	HISTORIAN
11	IMPORTAR NUEVO ARCHIVO .CSV CON DIRECCIONAMIENTO ACTUALIZADO	ETIQUETAS EN SCADA
		ETIQUETAS EN PANELVIEWS
12	CARGAR NUEVA BASE DE DATOS AL HISTORIAN	HISTORIAN

Tabla 21: Procedimiento implementación Etiquetas estandarizadas ISA 5.1

Fuente: Propia

Es importante realizar copias de seguridad de todos los equipos a intervenir, con el fin de tener un plan de contingencia en caso de fallos en la implementación. Partiendo de la explicación realizada en el capítulo 3, se procede con la creación de etiquetas apoyándonos de una herramienta de edición de texto con la capacidad de buscar/reemplazar para facilitar el trabajo de implementación tanto en las etiquetas en el PLC como en el SCADA, las PanelViews y el Historian.

El procedimiento realizado consiste en intervenir cada uno de los controladores de las unidades con el fin de crear las etiqueta que se pueden ver en la **Tabla**

22, teniendo en cuenta cada uno de los canales que presentan los módulos (1) los cuales están asociados al tipo de dato en controlador, también se tiene en cuenta la descripción (2) de cada etiqueta y el nombre diseñado según el estándar ISA 5.1 (3).

ESTANDARIZACIÓN DE TAGS ISA 5 CONTROLADOR UNIDAD 1				
TIPO DE SEÑAL	ENTRADA / CANAL	DESCRIPCIÓN	NUEVOS TAGS	TAGS ANTIGUOS
Entrada Análoga	CH0	RTD Temp. Agua de Ref. Entrada Radiador1 Derecho U1	TE_1AGE001_IN	F8[0]
	CH1	RTD Temp. Agua de Ref. Entrada Rad2 Izquierdo U1	TE_1AGE002_IN	F8[1]
	CH2	RTD Temp. Agua de Ref. Salida 1 Radiador #1 U1	TE_1AGS001_IN	F8[2]
	CH3	RTD.Temp.Agua de Ref.Salida 2 Rad#3 U1	TE_1AGS003_IN	F8[3]
	CH4	RTD Temp.Agua de Ref.Salida1 Radiador#2 U1	TE_1AGS002_IN	F8[4]
	CH5	RTD Temp.Agua de Ref.Salida2 Radiador#4 U1	TE_1AGS004_IN	F8[5]
	CH6	RTD.Temp.Aire de Ref.Entrada Radiador#2 U1	TE_1ARE002_IN	F8[6]
	CH7	RTD Temp.Aire de Ref.Entrada Radiador#3 U1	TE_1ARE003_IN	F8[7]

Tabla 22: Consolidado de TAGS estandarizadas ISA 5.1  
Fuente: Propia

Esta información es implementada en el software usado para realizar la lógica en controlador llamado Studio 5000 de Rockwell Automation de la siguiente manera, donde se ingresa la información de la variable explicada anteriormente.

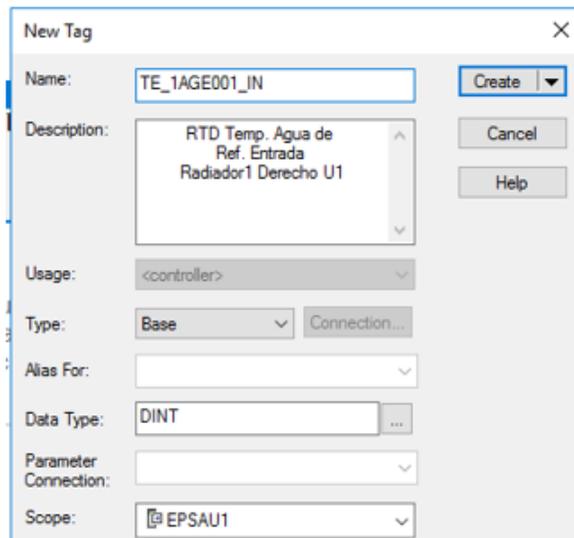


Figura 29: Creación de Tags en Software  
Fuente: Propia

Después de tener todas las etiquetas creadas en el controlador evidenciadas en la **Figura 30**.

Name	Alia Base	Data Type	Description
RSVIEW_N_PSP_U1		REAL	Nueva consigna de potencia U1 desde supervisorio
TE_1AC001_IN		REAL	VECT_TEMP20_PF_U1 RTD Temperatura. Aceite cojinete turbina #1 U1
TE_1AGE001_IN		REAL	VECT_TEMP0_PF_U1 RTD Temp. Agua de Ref. Entrada Radiador1 Derecho U1
TE_1AGE002_IN		REAL	VECT_TEMP1_PF_U1 RTD Temp. Agua de Ref. Entrada Rad2 Izquierdo U1
TE_1AGS001_IN		REAL	VECT_TEMP2_PF_U1 RTD Temp. Agua de Ref. Salida 1 Radiador #1 U1

Figura 30: Evidencia de Creación de Tags en Software  
Fuente: Propia

Se procede a realizar el reemplazo en controlador de la etiqueta antigua (4) mostrada anteriormente en la **Tabla 22** por la nueva etiqueta (3) según el diseño bajo la norma ISA 5.1, esto genera un cambio de direccionamiento en el envío y monitoreo de datos hacia los sistemas de supervisión de la central como las PanelViews y el sistema SCADA principal, generando así la necesidad de intervenir los direccionamientos bajo el mismo procedimiento de Buscar la etiqueta antigua según su descripción y ubicación en la pantalla de visualización, reemplazándola por la nueva según el estándar, procedimiento cuyo resultado se evidencia en la **Figura 31** mostrada a continuación.

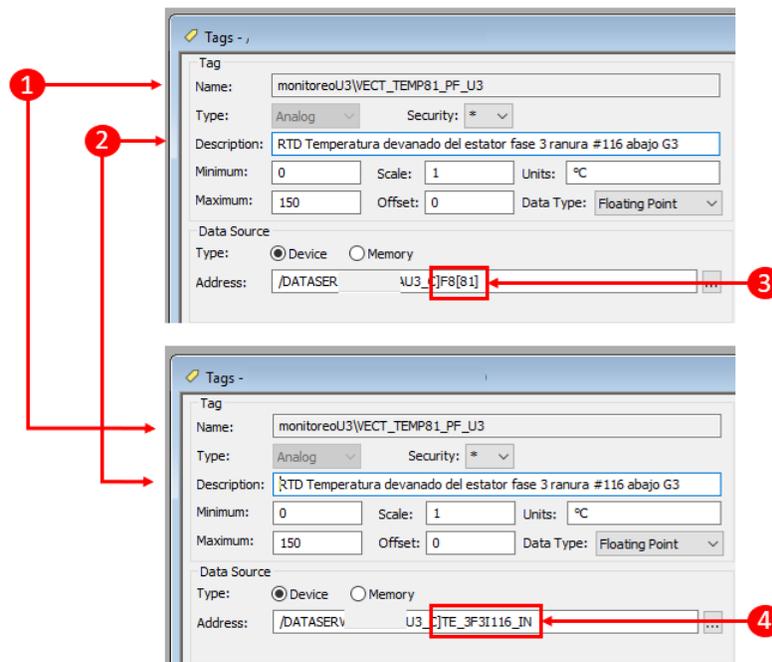


Figura 31: Reemplazo Tags en sistema de Monitoreo  
Fuente: Propia

En la figura anterior se evidencia que para la etiqueta en cuestión (1), la cual presenta una descripción (2) asociada a un sensor de temperatura en el estator del sistema que anteriormente estaba siendo direccionada a una etiqueta sin estandarizar (3) llamada F8[81] que no es muy dicente, para una mejor identificación en el proceso se realiza la sustitución de etiquetas hacia el controlador direccionando a la nueva etiqueta existente en la lógica de control (4) que obedece a lo establecido por la norma, generando así una estandarización completa para el nombramiento de variables en todos los software que presenta la central hidroeléctrica, facilitando la búsqueda en todas las plataformas de control.

El procedimiento desarrollado para la implementación y pruebas simuladas de enlace de datos con las nueva etiquetas en controlador y en los sistemas de visualización como SCADA y en Panel Views en alto rendimiento, es presentado en el **Anexo 5** con el fin de validar que el proceso cumple con el funcionamiento requerido, procedimiento que sera replicado para realizar la implementación en entorno de producción.

#### **4.1. ETAPA 3: IMPLEMENTACIÓN.**

Esta etapa está compuesta por actividades que permiten realizar la implementación mediante la metodología del ciclo de vida del HMI integrando el hardware y software definidos en las etapas anteriores mediante la puesta en marcha de pantallas, verificación y capacitación hacia el personal operativo. La adopción de la metodología en la migración tiene el objetivo de contribuir significativamente a fortalecer la seguridad y la fiabilidad de las operaciones reduciendo los tiempos de inactividad y el control preciso durante la transición, minimizando riesgos y garantizando la continuidad operativa.

#### **4.2. ENTORNO DE PRODUCCIÓN**

Después de realizar la simulación para implementación de la estandarización de Tags según ISA 5.1 y el diseño de HMI de alto rendimiento se evidencio que en simulación todo funciona según las normas y acciones que debe realizar el sistema de supervisión, por ende, para la actividad de estandarización de etiquetas se procede a ejecutar la actividad en entorno de producción de la misma manera que se realizó en el entorno de simulación, obteniendo los siguientes resultados.

En la **Figura 32** se evidencia que en el controlador de la Unidad 1, se han creado y reemplazado correctamente las etiquetas bajo el estándar ISA 5.1 ya que están almacenando datos provenientes de los equipos físicos ubicados en planta, cabe aclarar que se muestra un fracción de las etiquetas con el fin de no generar un exceso de información en el documento y poder evidenciar claramente la imple-

mentación en el sistema, teniendo en cuenta que por controlador fueron creadas las 464 variables para cada unidad.

Name	Value	Force M	Style	Data Type	Description
SOE_DataTemp		[--]	[--]	AB:1756_SOE_16P...	
Sort_Temp				SOE_Data	
TE_1AC001_IN	56.1		Float	REAL	VECT_TEMP20_Pf_U1 RTD Temperatura. Aceite cojinete turbina #1 ...
TE_1ACE_TRA_IN	0		Decimal	BOOL	TERMO_ACE_U1_A Termómetro aceite transformador U1.
TE_1AGE001_IN	19.2		Float	REAL	VECT_TEMP0_Pf_U1 RTD Temp. Agua de Ref. Entrada Radiador1 De...
TE_1AGE002_IN	19.8		Float	REAL	VECT_TEMP1_Pf_U1 RTD Temp. Agua de Ref. Entrada Rad2 Izquier...
TE_1AGS001_IN	23.6		Float	REAL	VECT_TEMP2_Pf_U1 RTD Temp. Agua de Ref. Salida 1 Radiador #1...
TE_1AGS002_IN	23.8		Float	REAL	VECT_TEMP4_Pf_U2 RTD Temp. Agua de Ref. Salida 1 Radiador#2 U1
TE_1AGS003_IN	23.7		Float	REAL	VECT_TEMP3_Pf_U1 RTD. Temp. Agua de Ref. Salida 2 Rad#3 U1
TE_1AGS004_IN	24.4		Float	REAL	VECT_TEMP5_Pf_U1 RTD Temp. Agua de Ref. Salida 2 Radiador#4 U1
TE_1ARE001_IN	60.1		Float	REAL	VECT_TEMP8_Pf_U1 RTD Temp. Aire de Ref. Entrada Radiador #1 U1
TE_1ARE002_IN	57.8		Float	REAL	VECT_TEMP6_Pf_U1 RTD. Temp. Aire de Ref. Entrada Radiador#2 U1
TE_1ARE003_IN	58.8		Float	REAL	VECT_TEMP7_Pf_U1 RTD Temp. Aire de Ref. Entrada Radiador#3 U1

Figura 32: Evidencia de funcionamiento 1

Fuente: Propia

Por otro lado, para la implementación de las pantallas en entorno de producción se tiene en cuenta el ciclo de vida del HMI especialmente a la etapa 4.

#### 4.2.1. ETAPA 4: FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN.

La puesta en marcha es realizada pantalla por pantalla en el sistema SCADA, al ser un servidor distribuido, solo es necesario dar mediante un botón, acceso a la nueva pantalla, esto permite tener un plan de contingencia en caso de que la nueva pantalla no cumpla los comandos de operación o monitoreo necesarios para la central, ya que se puede tener simultáneamente la pantalla antigua y la nueva hasta confirmar que la nueva pantalla cumple los requerimientos planteados.

Una vez finalizada la puesta en servicio y la verificación de todas las pantallas, se considera que la HMI está en servicio. Los cambios en la HMI se manejarán en un proceso de Gestión de cambios o mejora continua que plantea el ciclo de vida del HMI, En las siguientes figuras se evidencia la puesta en marcha de las pantallas de la unidad 1 en alto rendimiento para la central con su respectivo funcionamiento según la configuración y estado de los equipos y variables en el sistema, teniendo en cuenta que las unidades 2 y 3 también fueron puestas en funcionamiento, pero por exceso de información no se muestran evidencias gráficas, en este punto es importante aclarar que debido a la presencia de datos en cada una de los banners en las pantallas se concluye que están en operación.

Se evidencia el funcionamiento de la pantalla de bienvenida debido a la presencia de valores numéricos en los banners, teniendo en cuenta también la mejora implementada que consiste en el banner de alarmas en tiempo real, indicando así las alarmas que se pueden estar presentando en determinado tiempo a lo largo de todo el sistema de monitoreo en la central.

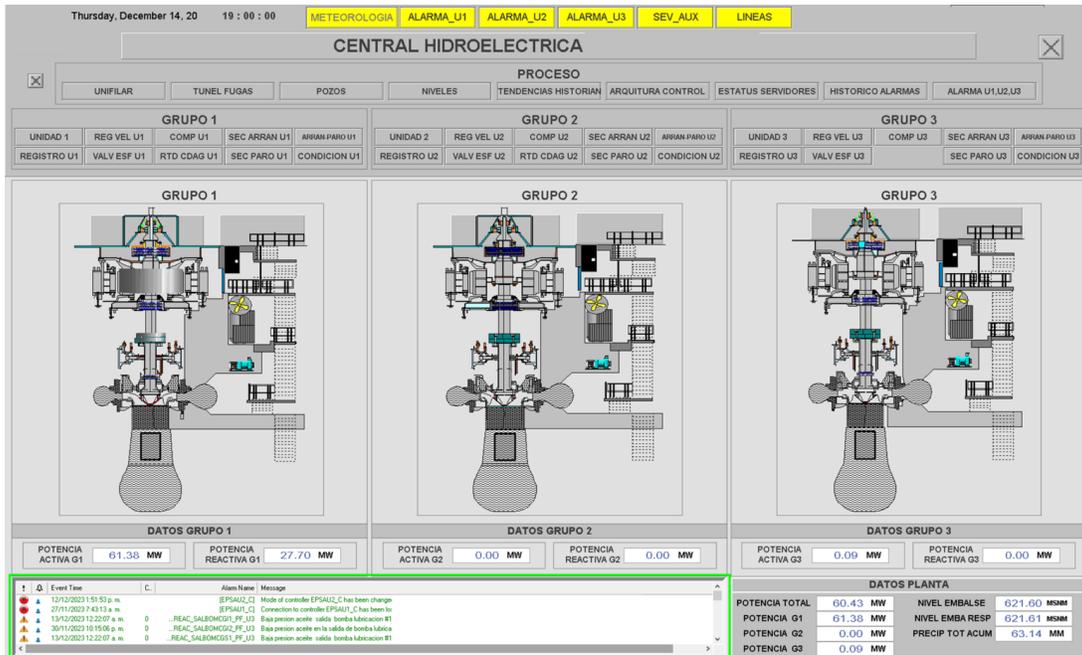


Figura 33: Evidencia de funcionamiento pantalla Bienvenida  
Fuente: Propia

En la siguiente imagen de alarmas análogas, se evidencia el funcionamiento del uso del color para la representación de situaciones anormales en determinada variable de proceso teniendo en cuenta que el color rojo es reservado para alarmas de prioridad 1 o alarmas críticas en el sistema, dando a entender que las variables de temperatura o presión que presentan una animación de color rojo en la imagen están operando de manera desfasada de su valor de operación normal, lo que indica al operador que en dicho punto se esta presentando una situación inadecuada con el fin de dar una respuesta mas efectiva al suceso.

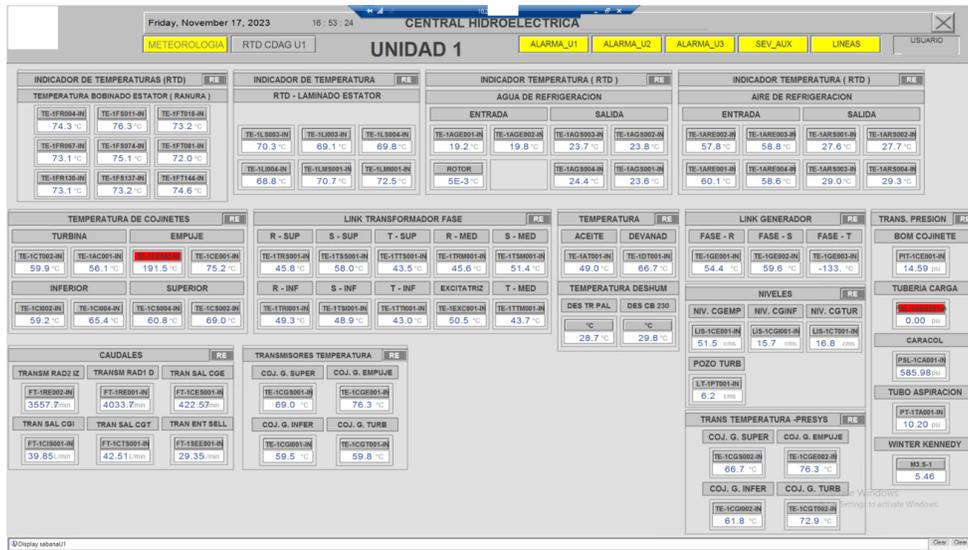


Figura 34: Evidencia de funcionamiento pantalla Registros  
Fuente: Propia

En la siguiente imagen de alarmas digitales, se evidencia el funcionamiento del uso del color para la representación de situaciones anormales en determinado punto de proceso teniendo en cuenta que el color amarillo es reservado para alarmas de prioridad 2 o alarmas de criticidad intermedia en el sistema, dando a entender que los puntos digitales asociados a relés de los equipos presentan una animación de color amarillo en la imagen, lo que indica al operador que en dicho punto se esta presentando una situación inadecuada con el fin de dar una respuesta mas efectiva al suceso.

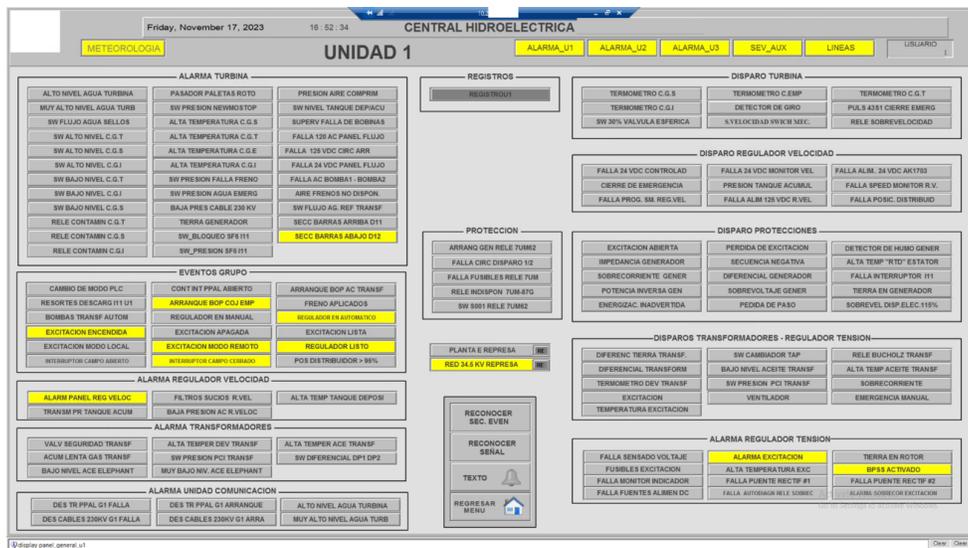


Figura 35: Evidencia de funcionamiento pantalla Alarmas  
Fuente: Propia

En la siguiente pantalla de regulador de velocidad se evidencia el uso de los gráficos en alto rendimiento generando la representación visual de las principales variables de operación por unidad con la ayuda de animaciones y el uso del color, ya que se puede identificar de manera ágil y rápida con los tacómetros el estado de operación normal o anormal de cada variable representada ahora en contexto de información y no como valores sin procesar dispersos por toda la pantalla.

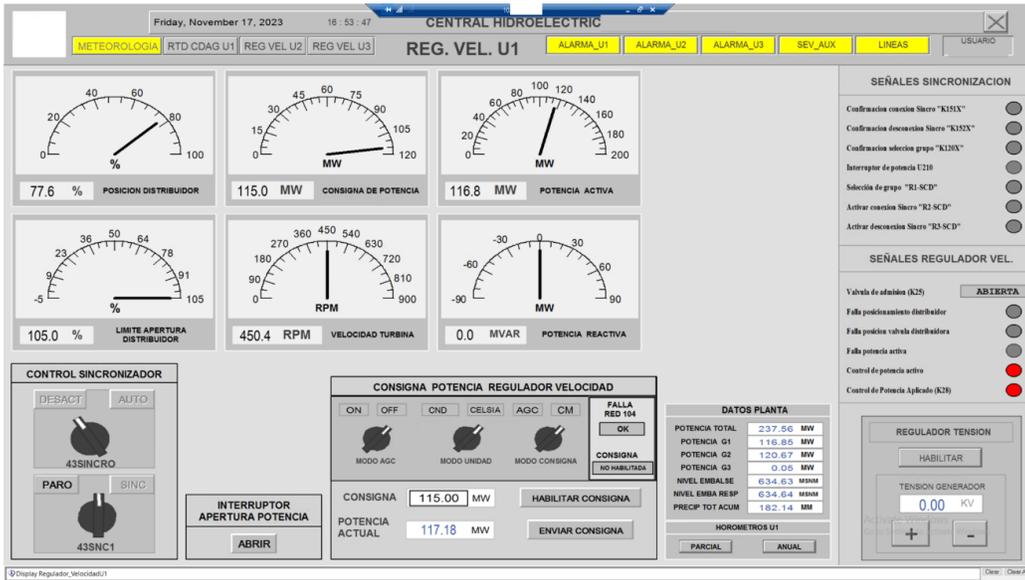


Figura 36: Evidencia de funcionamiento pantalla Regulador de Velocidad  
Fuente: Propia

En la siguiente pantalla de Niveles, se evidencia el uso de las gráficas de tendencia en tiempo real con el fin de conocer la variación que ha presentado cada variable en determinado tiempo, además de esto se evidencia el uso de animaciones para representar el nivel de los tanques y el uso de los colores para identificar alarmas según su prioridad en el sistema.

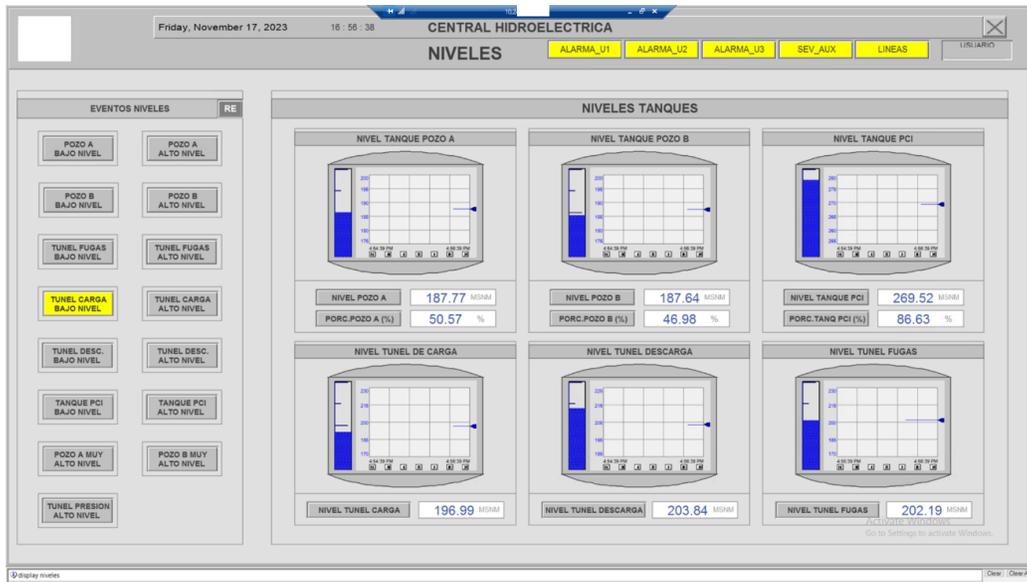


Figura 37: Evidencia de funcionamiento pantalla Niveles  
Fuente: Propia

En la siguiente imagen de pozos de drenaje, se evidencia el uso de gráficos planos o en 2D los cuales aumentan el rendimiento del sistema de supervisión volviéndolo mas ágil y rápido, además de esto se presenta una mejor distribución de los objetos generando un entendimiento mas dinámico de lo que quiere dar a entender dicho display y por ultimo, con ayuda de las animaciones de color que presenta cada objeto que representa un equipo físico, se puede entender el estado de operación de las bombas y válvulas donde color gris es apagado y color blanco es encendido.

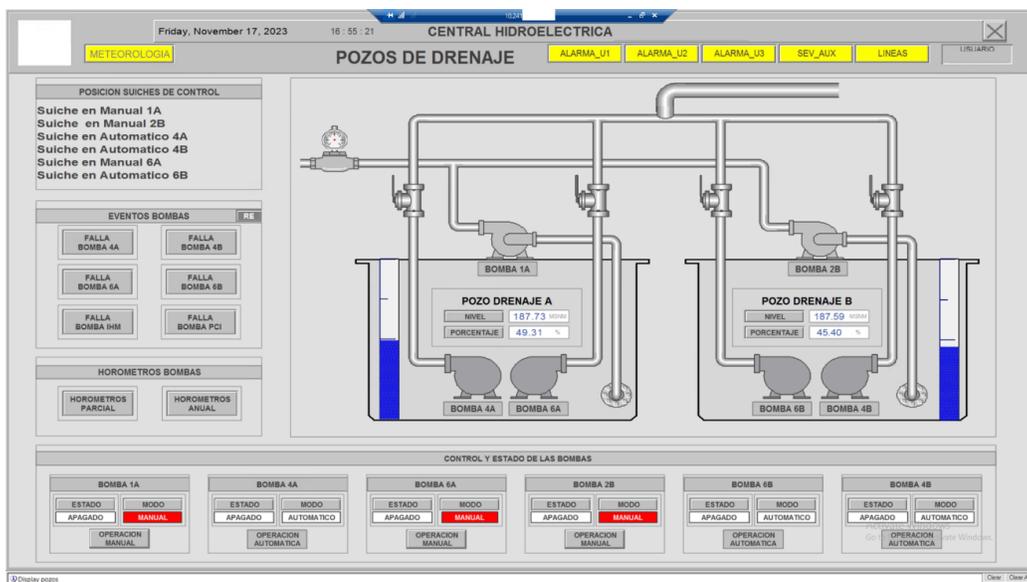


Figura 38: Evidencia de funcionamiento pantalla Pozos  
Fuente: Propia

En la siguiente imagen se evidencia la puesta en marcha y el funcionamiento de las pantallas en alto rendimiento del sistema SCADA en la consola del operador ubicada en sala de control de la central Hidroeléctrica.



Figura 39: Evidencia de funcionamiento Sala Control  
Fuente: Propia

Con la explicación realizada anteriormente donde se explica el funcionamiento y se resaltan las características de alto rendimiento en cada uno de los displays principales de operación, se da cumplimiento a las actividades de implementación en entorno de producción que tienen que ver con la estandarización de las etiquetas según la norma ISA 5.1 y la implementación de los displays diseñados en alto rendimiento según la norma ISA 101, dando lugar a la última actividad que consiste en la creación e implementación de los puntos de historial para el almacenamiento de datos.

Después de tener implementada la actividad de estandarización de etiquetas en controlador y HMI bajo ISA 5.1, se procede a realizar el cambio de direccionamiento y la creación para los nuevos puntos de almacenamiento de datos históricos en el software PI de OSIsoft el cual permite agregar variables para el almacenamiento de datos que están directamente enlazadas con la información que es recibida por cada uno de los controladores que estén en la red de comunicación y sea alcanzable por el servidor historiador.

Este software presenta un complemento con la herramienta de Microsoft Excel el cual permite realizar la creación e implementación de datos en cantidad como se realizara para este proyecto. Como se puede evidenciar en la **Figura 40**, para la creación de un nuevo punto de almacenamiento se ingresa el nombre de la variable estandarizada según la norma ISA 5.1 en la columna Nombre (1) acompañada de su descripción (2) con el fin de generar un mejor entendimiento de la variable en cuestión, por ultimo hay que realizar el enlace con la variable en controlador que esta asociado a cada uno de los sensores encargados de el monitoreo de los datos en planta, direccionamiento realizado según la nueva implementación de etiquetas estandarizadas ingresadas en la columna de tag del instrumento (3). Después de este procedimiento se publican los datos en el software, haciendo una actualización de la base con el fin de iniciar con el almacenamiento y el procesamiento de esta información según la necesidad del cliente.

Name	Object Type	Error	New	Description	Instrument Tag
sy.st.PV10018.FTLDInt1.S	PIPoint			Unlint Health Point [UL_SCSKIPPED] for FTLDInt1	0
sy.st.PV10018.FTLDInt1.S	PIPoint			Unlint Health Point [UL_SCSKIPPED] for FTLDInt1	0
sy.st.PV10018.FTLDInt1.1	PIPoint			Unlint Health Point [UL_TRIGGERBVRATE] for FTLDInt1	0
sy.st.PV10018.FTLDInt1.1	PIPoint			Unlint Health Point [UL_TRIGGERBVRATE] for FTLDInt1	0
System_Context Switches	PIPoint			Context Switches/sec	0
System_Processor Queue	PIPoint			Processor Queue Length	0
System_System Calls/sec	PIPoint			System Calls/sec	0
System_System Up Time	PIPoint			System Up Time	0
System_Threads	PIPoint			Threads	0
Temperatura_C	PIPoint			Temperatura_C Factor de IU	0
TE_1AC001_IN	PIPoint			RTD Temperatura. Aceite cojinete turbina #1U1	TE_1AC001_IN
TE_1AGE001_IN	PIPoint			RTD Temp. Agua de Ref. Entrada Radiador1 Derecho	TE_1AGE001_IN
TE_1AGE002_IN	PIPoint			RTD Temp. Agua de Ref. Entrada Rad2 Izquierdo U1	TE_1AGE002_IN
TE_1AGS001_IN	PIPoint			RTD Temp. Agua de Ref. Salida 1 Radiador #1U1	TE_1AGS001_IN
TE_1AGS002_IN	PIPoint			RTD Temp. Agua de Ref. Salida 2 Radiador #2 U1	TE_1AGS002_IN
TE_1AGS003_IN	PIPoint			RTD Temp. Agua de Ref. Salida 2 Rad#3 U1	TE_1AGS003_IN
TE_1AGS004_IN	PIPoint			RTD Temp. Agua de Ref. Salida 2 Radiador #4 U1	TE_1AGS004_IN
TE_1ARE001_IN	PIPoint			RTD Temp. Aire de Ref. Entrada Radiador #1U1	TE_1ARE001_IN
TE_1ARE002_IN	PIPoint			RTD Temp. Aire de Ref. Entrada Radiador #2 U1	TE_1ARE002_IN
TE_1ARE003_IN	PIPoint			RTD Temp. Aire de Ref. Entrada Radiador #3 U1	TE_1ARE003_IN
TE_1ARE004_IN	PIPoint			RTD Temp. Aire de Ref. Entrada Radiador #4 U1	TE_1ARE004_IN
TE_1ARS001_IN	PIPoint			RTD Temp. Aire de Ref. Salida 1 Radiador #1U1	TE_1ARS001_IN
TE_1ARS002_IN	PIPoint			RTD Temp. Aire de Ref. Salida Radiador #2 U1	TE_1ARS002_IN

Figura 40: Complemento Excel Historian  
Fuente: Propia

En la **Figura 40** se evidencia el uso del software donde se presenta la búsqueda de una variable según su etiqueta (1) para la cual se desean conocer los valores que ha almacenado el software 5 horas antes de la búsqueda (2). Como resultado de esto, el software entrega la lista de valores con la variación que ha presentado la variable (3) con su respectiva estampa de tiempo de almacenamiento (4), permitiendo así realizar un análisis del dato con ayuda de complementos como Excel o Power BI para generar estadísticas y reportes que son de vital importancia en el área de la gerencia o negocios para dar lugar a una toma de decisiones justificada.

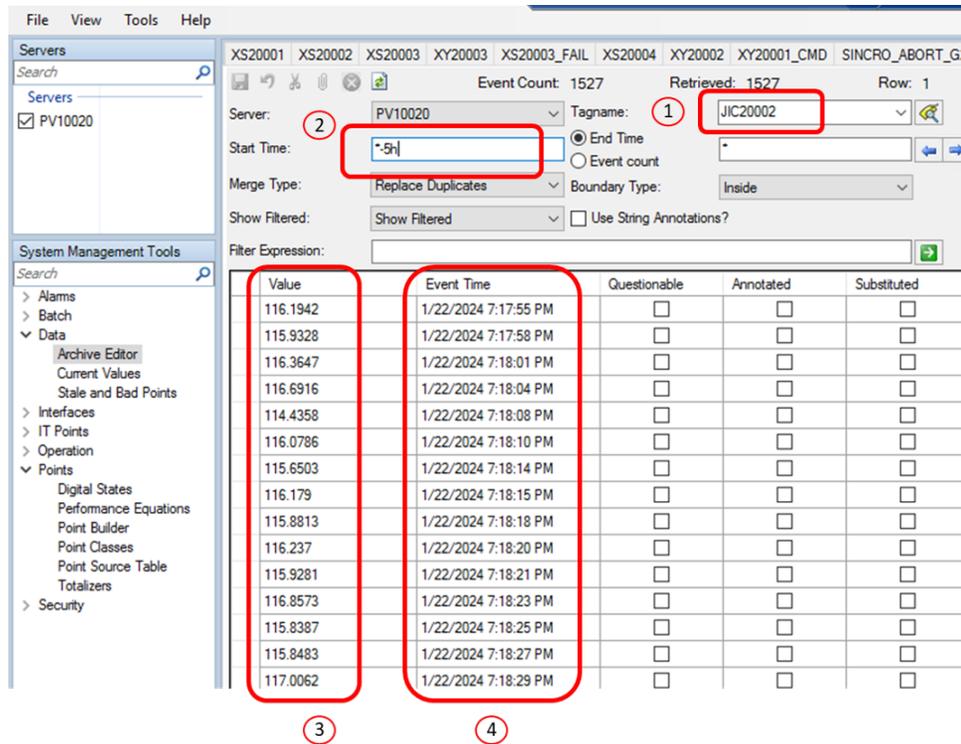


Figura 41: Funcionamiento del Historian  
Fuente: Propia

Después de finalizada la actividad de creación e implementación de puntos de historian y teniendo en cuenta la implementación en entorno de producción de las etiquetas estandarizadas y del HMI en alto rendimiento, se da cumplimiento al tercer objetivo específico planteado en el proyecto y a su vez se da cumplimiento al objetivo general que consiste en estandarizar el sistema de supervisión y adquisición de datos basados en ANSI/ISA-101 para el diseño de interfaces gráficas y ANSI/ISA-5.1 para el nombramiento de variables de las unidades de generación de energía 1, 2 y 3 de la central hidroeléctrica.

# CAPITULO V: PRUEBAS SAT Y CIERRE DEL PROYECTO.

## 5. PRUEBAS SAT

La realización de las pruebas de aceptación final en el sitio, conocidas como SAT (Site Acceptance Test), marca el último paso crucial en la implementación de este proyecto ya que así se garantiza que todas las funcionalidades del sistema, en particular la migración de interfaz HMI y la estandarización de etiquetas bajo las normas ISA 101 y 5.1, sean verificadas y validadas con éxito en el entorno real de la central hidroeléctrica. El primer paso crucial en el proceso fue la elaboración de los documentos de prueba (SAT), estos documentos sirvieron como guía detallada para evaluar cada aspecto del sistema teniendo en cuenta los criterios de aceptación como se ve en la **Tabla 20** mostrada a continuación. El diseño de estos documentos sentó las bases para un proceso de prueba riguroso y efectivo, asegurando la calidad y confiabilidad de la implementación.

Ítem	Descripción	Característica a Evaluar
1	Los símbolos utilizados son los indicados. ie: tanques, líneas de proceso, válvulas, transmisores, motores, etc.	Apariencia
2	Los colores para los objetos estáticos son correctos. Ejemplo: Válvulas manuales, líneas de proceso, etc.	Colores
3	La dirección y orientación del flujo del proceso es acorde al proceso definido. Ejemplo: Líneas de proceso.	Señalización
4	Descriptores de estado estáticos y dinámicos de los objetos.	Descripción de Objetos
5	Indicadores de Valores Análogos están correctos	Descripción de Valores Análogos
6	La jerarquía de las pantallas y enlace está acorde al proceso.	Navegación
7	Existe un correcto cambio de color en los objetos dinámicos y en los campos de ingreso.	Cambios Dinámicos de Color
8	Funcionalidad, texto, rangos, unidades, comandos	Faceplate
9	Verificar el enlace del tag corresponda al objeto y que hay cambios en los colores de forma dinámica	Enlace de tags y objetos
10	Confirmar que el color de las alarmas coincidan con la prioridad configurada.	Alarmas

Tabla 23: Formato Pruebas SAT HMI

Fuente: Propia

Durante las pruebas SAT realizadas en las instalaciones del cliente, en compañía del operador y el ingeniero líder en turno de la central, el equipo realizo exhaustivas simulaciones y evaluaciones para asegurar que la interfaz responda de manera óptima a las operaciones cotidianas y a situaciones de emergencia, garantizando así un rendimiento fiable y seguro.

La culminación exitosa de estas pruebas no solo evidencia la conformidad del sistema con los requisitos especificados, sino que también proporciona la confianza necesaria para la puesta en marcha completa, consolidando el éxito del proyecto y brindando al cliente la seguridad de contar con una infraestructura tecnológicamente avanzada y operativamente robusta (En el Anexo 6 se encuentran los formatos completos de las pruebas SAT realizadas teniendo en cuenta la confidencialidad entre Omnicon y el cliente).

## **5.1. CAPACITACIONES**

En cuanto a la actividad de capacitación a los operadores los requisitos se definen y logran en esta actividad del ciclo de vida. Teniendo en cuenta que el objetivo de las pantallas es poder ser más intuitivas y no modificar la forma de operación de la central, la capacitación se realizó de manera presencial mediante la aplicación funcionando en simulador en la cual se destacaron el color de las alarmas, nuevas distribuciones en pantalla, forma de navegación y las acciones gráficas que presentan los nuevos objetos como bombas, válvulas, etc. que fueron explicados en el capítulo 4.

La capacitación se impartió a los miembros del equipo operativo e ingeniería ya que el equipo de mantenimiento no tiene acciones en el SCADA. Por otro lado, la verificación establece la confirmación a través de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos de la HMI. La validación inicial en simulación garantiza que las pruebas de verificación se implementen adecuadamente. El plan de acción para la verificación se da directamente con el ingeniero a cargo de la central mediante la simulación, se muestra la nueva pantalla simulada con las funcionalidades operativas y de monitoreo y según su criterio se da por validada o se realizan los respectivos cambios.

## **5.2. MANTENIMIENTO Y GESTIÓN:**

Después de la puesta en servicio, la norma ISA 101 plantea que es indispensable dar soporte o mantenimiento en el HMI para proyectos de migración. Esto incluye modificaciones del sistema operativo, seguridad o software de la plataforma, correcciones de errores existentes, modificaciones para reflejar cambios en el proceso en sí o para admitir nuevas funciones que es el objetivo de la mejora continua.

Una vez que el sistema se encuentra en la etapa operativa del ciclo de vida, se deben realizar copias de seguridad en un intervalo programado regularmente. Las copias de seguridad deben incluir todos los archivos del sistema de control necesarios para minimizar el tiempo y el esfuerzo de recuperación en caso de pérdida de los archivos relacionados que se requieren para restaurar la HMI, actividades

internas que son planteadas al ejecutar un contrato de mantenimiento entre la empresa y el cliente.

### **5.3. CIERRE DEL PROYECTO.**

Se concluye exitosamente el proyecto de migración de interfaz HMI y estandarización de etiquetas conforme a las normas ISA 101 y 5.1, esto marca un paso crucial en la modernización de la central hidroeléctrica. Este esfuerzo ha mejorado significativamente las actividades operativas y la seguridad, al tiempo que ha proporcionado una interfaz más intuitiva para los operadores. La adopción de las normas ISA 101 ha permitido una presentación de información coherente y fácil de comprender en todas las pantallas HMI, optimizando así la toma de decisiones críticas. Asimismo, la estandarización de etiquetas conforme a la norma ISA 5.1 ha simplificado la comunicación y facilitado la integración de sistemas, fortaleciendo la robustez y la confiabilidad de la infraestructura. Esta implementación no solo consolida a la central en una posición a la vanguardia tecnológica, sino que también sienta las bases para una gestión más eficiente y segura de los recursos hídricos, reafirmando el compromiso con la excelencia en la generación de energía hidroeléctrica.

## 6. CONCLUSIONES

- La migración a una interfaz de alto rendimiento bajo la norma ISA 101 la cual proporciona una serie de lineamientos y una recopilación de buenas prácticas para el diseño de HMIs, ha redefinido la forma en que los operadores interactúan con el sistema en la central hidroeléctrica. Esta actualización ha permitido una visualización más intuitiva y centrada en el usuario, mejorando la forma en la que operan, reduciendo los errores humanos y aumentando la precisión en el procesamiento de datos al proporcionar información relevante de manera mas clara y precisa, respaldando una toma de decisiones mas informada por parte del personal operativo.
- La estandarización de etiquetas siguiendo los lineamientos que presenta la norma ISA 5.1, ha establecido un marco uniforme para la identificación y gestión de datos, simplificando la programación, el diagnóstico y el mantenimiento del sistema, reduciendo la probabilidad de errores del personal técnico en la central hidroeléctrica.
- Al estandarizar las etiquetas en la central, se facilita la búsqueda de datos en plataformas históricas y gráficas. Esto no solo simplifica la identificación y recopilación de datos, sino que también establece un vínculo coherente entre estas diferentes plataformas. Al estandarizar las etiquetas, se facilita la tarea de rastrear y correlacionar información a lo largo del tiempo, permitiendo una búsqueda eficiente para la extracción y análisis de datos históricos, lo que resulta crucial para tomar decisiones informadas y estratégicas en la gestión operativa.
- La estandarización de etiquetas en una central, especialmente cuando la generación requiere sustento, es un pilar fundamental para asegurar la consistencia, precisión y trazabilidad de los datos. Esta implementación genera la ventaja de establecer uniformidad en la identificación y catalogación de información, facilitando la generación de reportes confiables para respaldar la transparencia y la fiabilidad en el proceso de generación eléctrica en la central.
- La adopción de la metodología en la migración ha contribuido significativamente a fortalecer la seguridad y la fiabilidad de las operaciones. La reducción de tiempos de inactividad y el control preciso durante la transición han sido fundamentales para minimizar riesgos y garantizar la continuidad operativa, además, la metodología ha sentado las bases para una infraestructura adaptable y escalable, garantizando la facilidad de integración con futuras actualizaciones tecnológicas para adaptarse a cambios en el entorno industrial.
- La implementación de la metodología de ciclo de vida de HMI en un proyecto en línea, al seguir un enfoque secuencial y planificado desde la concepción hasta la ejecución, reduce la exposición a riesgos imprevistos al tiempo que se optimiza la capacidad de identificar y resolver problemas potenciales. La

metodología de ciclo de vida de HMI actúa como una guía en proyectos en línea, al integrar etapas bien definidas de planificación, desarrollo, implementación y pruebas exhaustivas, mitigando así la probabilidad de fallos o interrupciones críticas en la operatividad.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Central hidroeléctrica — Enel Green Power.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/central-hidroelectrica>
- [2] “Constitución de una central hidráulica — Fuentes de energía.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://fuentesdeenergiact.wordpress.com/fuentes-de-energia-renovables/hidraulica/constitucion-de-una-central-electrica/>
- [3] “¿Qué es y cómo funciona una central hidroeléctrica? — ¡Agua.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-y-como-funciona-central-hidroelectrica>
- [4] “TURBINA HIDRÁULICA — Tipos, partes, funcionamiento y usos.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://como-funciona.co/una-turbina-hidraulica/>
- [5] “Qué es un sistema SCADA, para qué sirve y cómo funciona.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>
- [6] “Learn all about SCADA systems: What is SCADA? — SCADApedia.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://scada-international.com/what-is-scada/>
- [7] “ISA101, Human-Machine Interfaces- ISA.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa101>
- [8] “ISA-101: Toward a More Effective HMI Strategy.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.automation.com/en-US/Articles/2015-1/isa-101-toward-a-more-effective-hmi-strategy>
- [9] “ANSI/ISA 5.1-2022: Instrumentation Symbols and Identification - ANSI Blog.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://blog.ansi.org/ansi-isa-5-1-2022-instrumentation-symbols/>
- [10] J. C. Sierra et al., “TUTORIAL NORMA ISA S5.1 Y DIAGRAMAS PID”.

- [11] “Simbología ANSI/ISA-5.1-2009 - Instrumcontrol.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://instrumcontrol.com/simbologia-ansiisa-51-2009/>
- [12] “Visualizar datos de PI System”.
- [13] “OSIsoft PI Historian: A Data Historian Overview.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://geo-viz.com/blog/osisoft-pi-historian-data-historian-overview/>
- [14] “PI System™ — AVEVA.” Accessed: Aug. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.aveva.com/en/products/aveva-pi-system/>
- [15] J. E. Rodríguez de Ávila, “Buenas prácticas para diseño de HMI de alto rendimiento,” <http://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0063148.pdf>, 2012, Accessed: Dec. 21, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.utb.edu.co/handle/20.500.12585/536>
- [16] “SOLUCIONES DE AUTOMATIZACIÓN PARA CENTRALES HIDROELECTRICAS” .<https://www.andritz.com/resource/blob/354034/dcf083a127e0af2f7eb0819d3b55b9a7/hy-automation-es-data.pdf>
- [17] “AVEVATM InTouch HMI — AVEVA.” Accessed: Dec. 21, 2023. Available: <https://www.aveva.com/en/products/intouch-hmi/>
- [18] “Software operativo Historian — FactoryTalk.” Accessed: Dec. 21, 2023. Available: <https://www.rockwellautomation.com/es-co/products/software/factorytalk/operationsuite/historian.html>
- [19] “Managing time-series data with data historians and advanced analytics software — Seeq.” Accessed: Dec. 21, 2023. Available: <https://www.seeq.com/resources/blog/managing-time-series-data-with-data-historians-and-advanced-analytics-software/>
- [20] “¿Qué es un HMI Siemens? Consideraciones para elegir el equipo correcto – Industrias GSL.” Accessed: Dec. 21, 2023. Available: <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-hmi-consideraciones-para-elegir-el-equipo-correcto>

## 8. ANEXOS

### 8.1. ANEXO 1

A continuación se presenta la tabla de la norma ISA 5.1 que clasifica las letras según la función de los equipos conocida como "Tabla de Identificación de instrumentos". Esta tabla asigna letras específicas a diversas funciones y tipos de equipos utilizados en sistemas de control industrial, la asignación de letras según la función permite una identificación rápida y estandarizada de los equipos en diagramas de instrumentación y otros documentos relacionados las cuales se combinan con números y otros símbolos para crear códigos de identificación únicos para cada tipo de equipo. Al utilizar la tabla de la norma ISA 5.1, el personal de operación puede entender rápidamente la función de un equipo específico basándose en la letra asignada en el código de identificación, facilitando la comunicación y comprensión entre ingenieros, operadores y personal de mantenimiento en el contexto de sistemas de control industrial

	First letters (1)		Succeeding letters (15)		
	Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5
	Measured/Initiating Variable	Variable Modifier (10)	Readout/Passive Function	Output/Active Function	Function Modifier
<b>A</b>	Analysis (2)(3)(4)		Alarm		
<b>B</b>	Burner, Combustion (2)		User's Choice (5)	User's Choice (5)	User's Choice (5)
<b>C</b>	User's Choice (3a)(5)			Control (23a)(23e)	Close (27b)
<b>D</b>	User's Choice (3a)(5)	Difference, Differential, (11a)(12a)			Deviation (28)
<b>E</b>	Voltage (2)		Sensor, Primary Element		
<b>F</b>	Flow, Flow Rate (2)	Ratio (12b)			
<b>G</b>	User's Choice		Glass, Gauge, Viewing Device (16)		
<b>H</b>	Hand (2)				High (27a)( 28a)(29)
<b>I</b>	Current (2)		Indicate (17)		
<b>J</b>	Power (2)		Scan (18)		
<b>K</b>	Time, Schedule (2)	Time Rate of Change (12c)(13)		Control Station (24)	
<b>L</b>	Level (2)		Light (19)		Low (27b)( 28)(29)
<b>M</b>	User's Choice (3a)(5)				Middle, Intermediate (27c)(28) (29)
<b>N</b>	User's Choice (5)		User's Choice (5)	User's Choice (5)	User's Choice (5)
<b>O</b>	User's Choice (5)		Orifice, Restriction		Open (27a)
<b>P</b>	Pressure (2)		Point (Test Connection)		
<b>Q</b>	Quantity (2)	Integrate, Totalize (11b)	Integrate, Totalize		
<b>R</b>	Radiation (2)		Record (20)		Run
<b>S</b>	Speed, Frequency (2)	Safety(14)		Switch (23b)	Stop
<b>T</b>	Temperature (2)			Transmit	
<b>U</b>	Multivariable (2)(6)		Multifunction (21)	Multifunction (21)	
<b>V</b>	Vibration, Mechanical Analysis (2)(4)(7)			Valve, Damper, Louver (23c)(23e)	
<b>W</b>	Weight, Force (2)		Well, Probe		
<b>X</b>	Unclassified (8)	X-axis (11c)	Accessory Devices (22), Unclassified (8)	Unclassified (8)	Unclassified (8)
<b>Y</b>	Event, State, Presence (2)(9)	Y-axis (11c)		Auxiliary Devices (23d)( 25)( 26)	
<b>Z</b>	Position, Dimension (2)	Z-axis (11c), Safety Instrumented System (30)		Driver, Actuator, Unclassified final control element	

Tabla 24: Identificación y nombramiento de instrumentos  
Fuente tomada de: ANSI/ISA-5.1-2009 [9]

Por otro lado, se presenta la tabla asociada a lo establecido por la central hidroeléctrica que permite realizar el diseño de la etiqueta en la sección del sufijo, con el fin de mejorar la identificación de cada uno de los equipos presentes en el proceso industrial.

Según la descripción del equipo en cuanto a ubicación y otras características, la etiqueta será representada por una letra haciendo uso de la **Tabla 25** la cual va acompañada de la **Tabla 24** presentada anteriormente para el desarrollo final de la estandarización de las etiquetas del sistema.

METODOLOGIA INTERNA DE LA CENTRAL PARA DISEÑO DEL SUFIO DE IDENTIFICACION DE EQUIPOS					
<b>A</b>	Agua	Aceite	Aire	Activa	Automatico
<b>B</b>	Bobinado				
<b>C</b>	Contacto	Cojinetes	Caracol	Cables	
<b>D</b>	Devanado	Diferencial	Deshumidificador	Disparo	
<b>E</b>	Estator	Exitacion	Empuje		
<b>F</b>	Fase	Flujo	Fusible		
<b>G</b>	Generador	Guia			
<b>H</b>					
<b>I</b>	Inferior	Interruptor			
<b>J</b>					
<b>K</b>					
<b>L</b>	Liberados	Local	Laminado		
<b>M</b>	Modulo	Modo			
<b>N</b>	Variable				
<b>O</b>	Operacion				
<b>P</b>	Paro	Principal	Posicion		
<b>Q</b>					
<b>R</b>	Rele	Regulador	Reactiva	Refrigeracion	Rotor
<b>S</b>	Salida	Sobrecarga	Superior	Sellos	
<b>T</b>	Transformador	Turbina	Transferencia		
<b>U</b>	Unidad				
<b>V</b>	Ventiladores	Variador			
<b>W</b>					
<b>X</b>					
<b>Y</b>					
<b>Z</b>					

Tabla 25: Identificación y nombramiento de instrumentos  
Fuente tomada de: Central Hidroeléctrica

## 8.2. ANEXO 2

La norma ISA 5.1, o ANSI/ISA-5.1-2009, Instrumentation Symbols and Identification, proporciona estándares para la identificación y simbolización de instrumentación en sistemas de control industrial. La tabla de símbolos gráficos según su función de equipo es parte integral de esta norma y sirve para estandarizar la representación gráfica de instrumentos y dispositivos en diagramas de procesos de instrumentación y otros documentos relacionados, con el objetivo de ser una ayuda para los ingenieros, técnicos y operadores a entender y comunicar de manera clara y consistente la función de los diferentes equipos en un sistema de control industrial, facilitando la interpretación de los diagramas como:

- Válvulas (válvulas de globo, válvulas de compuerta, válvulas de mariposa, etc.)

TIPO DE INSTRUMENTO	DESCRIPCION
	Válvula solenoide o con actuador
	Válvula de operación manual
	Válvula de control
	Válvula de globo
	Válvula esférica

Tabla 26: Representación gráfica Válvulas ISA 5.1  
Fuente tomada de: ANSI/ISA-5.1-2009 [9]

- Bombas (bombas centrífugas, bombas de desplazamiento positivo, etc.)

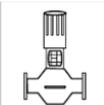
TIPO DE INSTRUMENTO	DESCRIPCION
	Motobomba o bomba centrífuga
	Motobomba vertical

Tabla 27: Representación gráfica Bombas ISA 5.1  
Fuente tomada de: ANSI/ISA-5.1-2009 [9]

- Instrumentos de Medición como transmisores de presión, transmisores de temperatura, medidores de nivel, caudal, etc.

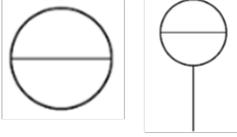
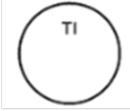
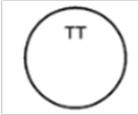
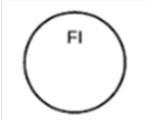
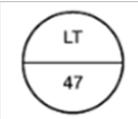
TIPO DE INSTRUMENTO	DESCRIPCION
	Indicador común para instrumentos y etiqueta según el lazo de control
	Indicador de temperatura
	Transmisor de temperature
	Indicador de flujo
	Transmisor de nivel en el lazo de control #47

Tabla 28: Representación gráfica Indicadores ISA 5.1  
Fuente tomada de: ANSI/ISA-5.1-2009 [9]

- Motores eléctricos, motores de combustión interna, etc.

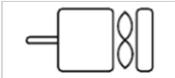
TIPO DE INSTRUMENTO	DESCRIPCION
	Motor eléctrico
	Motor diesel

Tabla 29: Representación gráfica Motores ISA 5.1  
Fuente tomada de: ANSI/ISA-5.1-2009 [9]

- Controladores: controladores lógicos programables (PLC) y otros dispositivos de control.

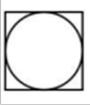
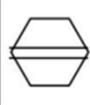
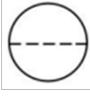
TIPO DE INSTRUMENTO	DESCRIPCION
	Escenario Sistema de control distribuido ubicado en campo y no montado en panel
	Escenario basado en controlador lógico programable instalado en sala de control y es accesible al operador
	Escenario basado en computador industrial instalado en un armario localmente en campo
	Escenario basado en Stand alone ubicado en la parte trasera del armario de control y no visible al operador

Tabla 30: Representación gráfica Controladores ISA 5.1  
Fuente tomada de: ANSI/ISA-5.1-2009 [9]

- Equipos de Proceso como tanques, intercambiadores de calor, reactores, entre otros.

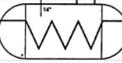
TIPO DE INSTRUMENTO	DESCRIPCION
	Tanque abierto
	Tanque cerrado
	Tanque con chaqueta
	Condensador
	Tanque con mixer
	Intercambiador de calor

Tabla 31: Representación gráfica Tanques ISA 5.1  
Fuente tomada de: ANSI/ISA-5.1-2009 [9]

- La norma ISA 5.1 proporciona una serie de símbolos gráficos que se utilizan para representar señales eléctricas y electrónicas en sistemas de control e instrumentación industrial. Estos símbolos son fundamentales para garantizar una comunicación efectiva y la correcta interpretación de las señales en entornos industriales; Dentro de las más relevantes y usadas en la central hidroeléctrica están los de señales 4-20Ma o eléctricas, señales de voltaje, señales neumáticas, entre otras, cuya simbología es mostrada en la siguiente tabla.

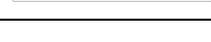
TIPO DE INSTRUMENTO	DESCRIPCION
	Señal de proceso o alimentación de un dispositivo
	Señal no definida
	Señal neumática
	Señal eléctrica
	Señal hidráulica

Tabla 32: Representación gráfica Señales ISA 5.1  
Fuente tomada de: ANSI/ISA-5.1-2009 [9]

### 8.3. ANEXO 3

A continuación se presentan detalles sobre como esta diseñado y cual es la función que presenta el sistema de supervisión actual, se tiene en cuenta la idea de realizar una migración ya que es importante analizar las pantallas para definir el por que es necesario implementar una mejora basado en la norma ISA 101.

#### PANTALLAS POR UNIDAD: OPERACIÓN.

##### ■ VÁLVULA ESFÉRICA U1:

Como se explicó en el capítulo 1, la central tiene por unidad una válvula de paso que permite o restringe el flujo de agua que ingresa al generador, este display mostrado en la **Figura 42** permite operar la apertura y cierre y monitorea las condiciones de los sellos del equipo.

Este display presenta un exceso de color en el fondo que no permite identificar ágilmente las situaciones anormales o los estados de los equipos con sus colores de animación. Por otro lado se identifica el uso de colores reservados para alarmas en los gráficos además de presentar una mala distribución de los gráficos.

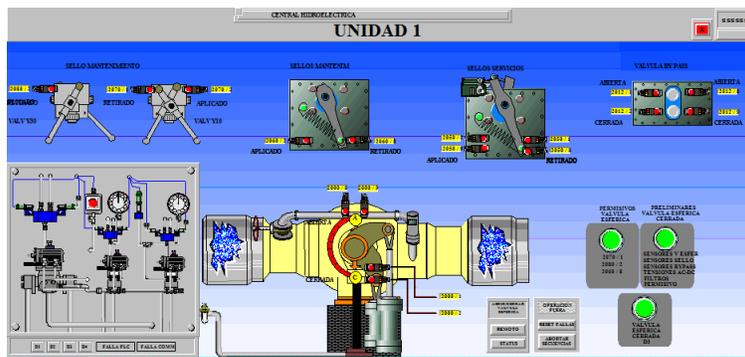


Figura 42: Pantalla Válvula Esférica unidad 1 central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

##### ■ GENERADOR ARRANQUE – PARO U1

El display de generador mostrado en la **Figura 43** permite monitorear variables críticas como las potencias o velocidades, además de permitirme habilitar los relés para proceder con el arranque o paro de la unidad.

Esta pantalla presenta gráficos en 3D con gran cantidad de animaciones, generando deficiencias en el rendimiento del sistema de supervisión, además de presentar un mal uso del color en los gráficos, letras, tipos de fuente y no presenta un banner de navegación general.

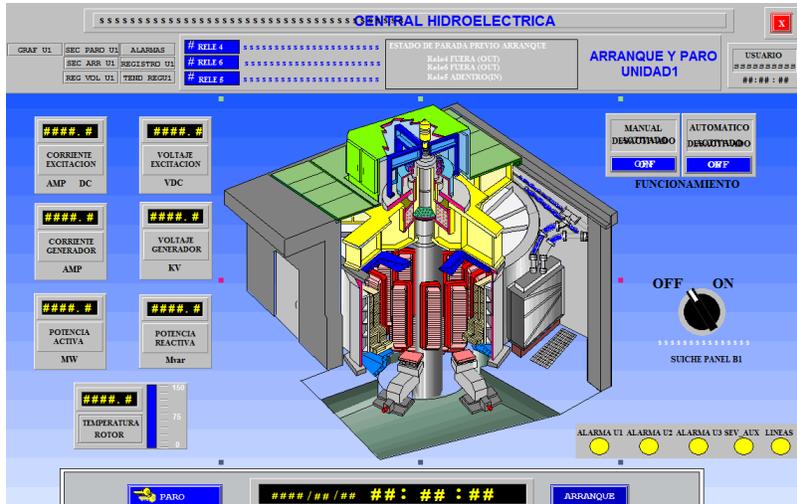


Figura 43: Pantalla Generador arranque – paro unidad 1 central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

■ SECUENCIA DE ARRANQUE:

El display de secuencia de arranque mostrado en la **Figura 44** permite habilitar secuencialmente los relés de protección que cumplen la función de condiciones de arranque para la unidad.

El display presenta un fondo y color de las letras que no cumple con la paleta de colores establecida por la norma ISA 101, además de presentar animaciones con colores inadecuados y no presentar un banner de navegación general.

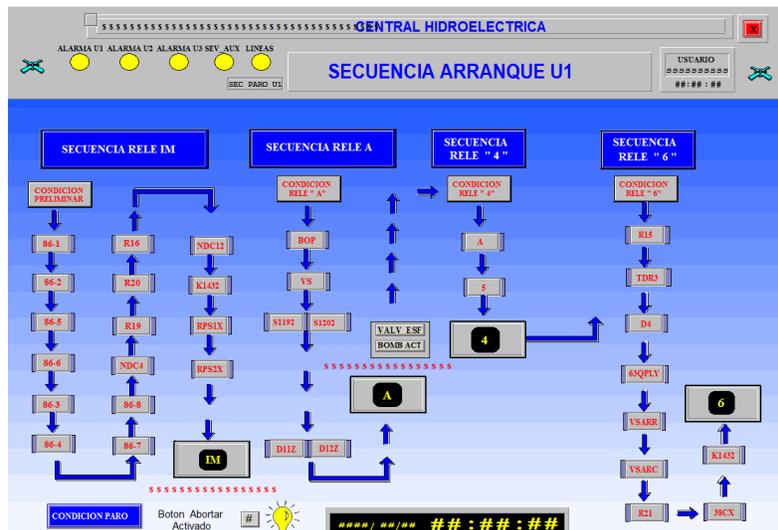


Figura 44: Pantalla Secuencia arranque unidad 1 central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

## PANTALLAS POR UNIDAD: MONITOREO.

### ■ SECUENCIA PARO U1:

Este display mostrado en la **Figura 45** cumple la función de monitorear que las condiciones de paro estén dadas para poder detener la generación de la unidad. Esta pantalla presenta un fondo inadecuado lo que dificulta el entendimiento del gráfico eléctrico de relés para la secuencia de paro, además de esto no cuenta con un banner de navegación general y las letras no corresponden a lo establecido por la norma en cuanto al tipo de fuente y color de letra, dificultando la lectura de la pantalla.

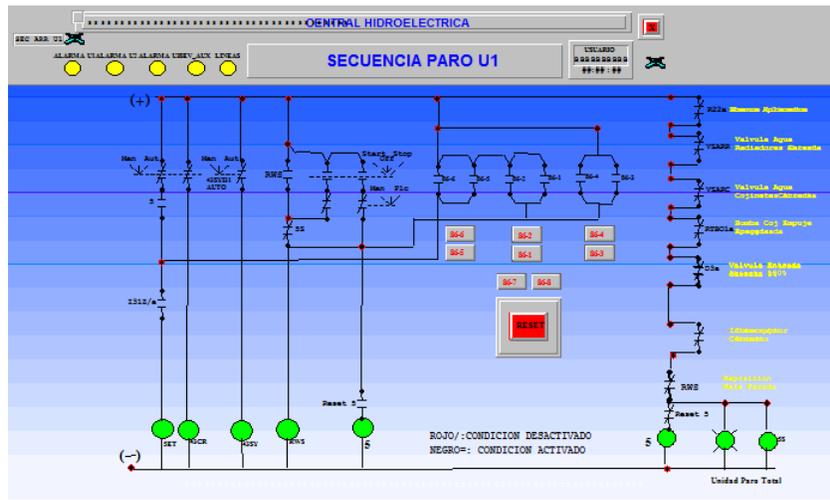


Figura 45: Pantalla Secuencia de paro unidad 1 central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

### ■ CONDICIÓN ARRANQUE U1

Junto con la pantalla de registros, la pantalla de condición mostrado en la **Figura 46** es muy importante ya que en este punto se monitorea que las condiciones de arranque estén dadas para poder arrancar la generación en la unidad, si se arranca la unidad y no está activa alguna condición puede generar daño en equipos. Este display no presenta un banner de navegación general y no cuenta con una alta definición en cuanto a la resolución, lo que genera dificultad en la lectura y entendimiento del texto presentado en la pantalla.

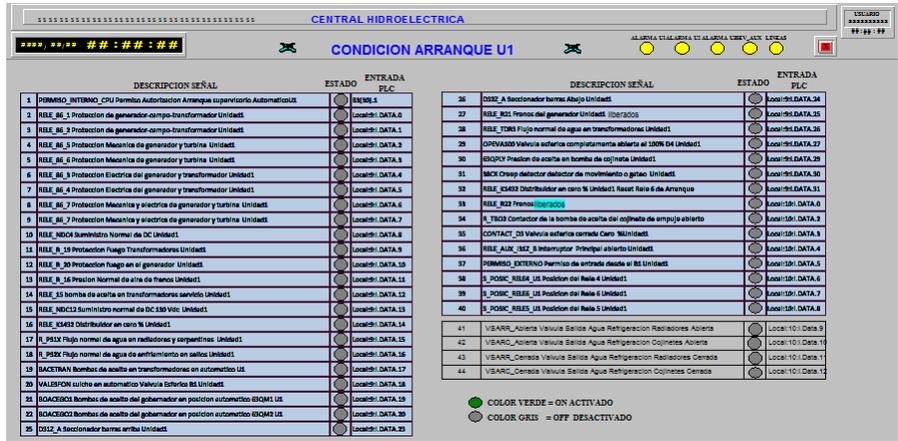


Figura 46: Pantalla Condición de arranque unidad 1 central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

## PANTALLAS POR UNIDAD: POPUPS

Las siguientes pantallas son auxiliares pero importantes ya que permiten la confirmación final de ejecución de cualquier actividad en el arranque o paro de las unidades, compuertas y válvulas.

Las **figuras 47, 48 y 49** presentan un bajo rendimiento por el uso de los colores, el tamaño y tipo de fuente, evitando la estandarización de todo el sistema de supervisión afectando el diseño del mismo.

- APERTURA TOTAL COMPUERTA U1



Figura 47: Pop Up Apertura Compuertas unidad 1 central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

- ARRANQUE U1:



Figura 48: Pop Up Arranque unidad 1 central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

- CIERRE COMPUERTA 1

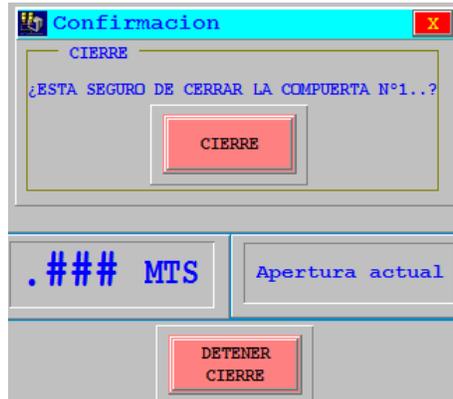


Figura 49: Pop Up Cierre Compuerta unidad 1 central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

## PANTALLAS AUXILIARES: MONITOREO.

- NIVELES

El display de niveles mostrado en la **Figura 50** monitorea los niveles de los pozos y de los tanques ubicados en el cuarto de control, presenta alarmas para alertar al operador y evitar inundaciones en casa de máquinas de la central.

Este display presenta un mal uso del color en general, los tanques no cumplen con el objeto establecido por la norma debido a la ausencia de las tendencias en tiempo real con el fin de conocer cual ha sido la variación de cada variable, además de esto no cuenta con un banner de navegación general y no cumple con una correcta distribución,

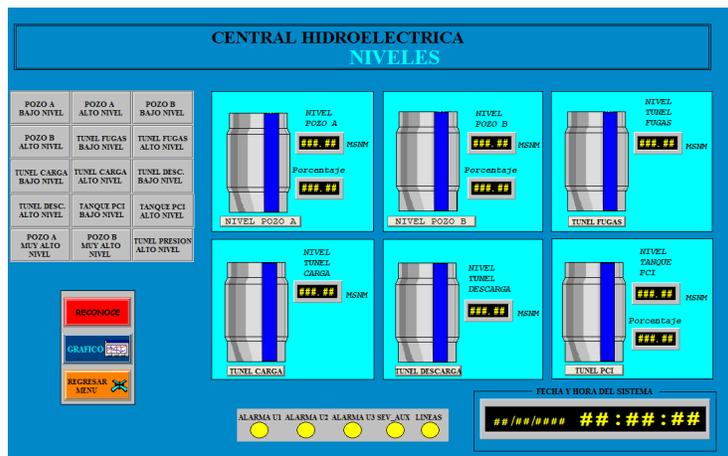


Figura 50: Pantalla Niveles central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

## PANTALLAS AUXILIARES: POPUPS.

- DESCRIPCIONES:

Cada alarma desplegada en las pantallas está asociadas a un parámetro y a un display con el fin de que el operador pueda acceder a más información sobre el suceso y poder entender en que consiste la alarma.

Según la norma, el uso de los colores es inadecuado en los fondos y el color de la letra, además de la distribución de la pantalla teniendo en cuenta la cantidad de texto e información que se muestra por display.



Figura 51: Pop Up Descripciones central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

## PANTALLAS AUXILIARES: ALARMAS.

- LÍNEAS

Este display mostrado en la **Figura 52** muestra las alarmas o disparos de las otras líneas de generación que tiene la empresa.

Este display no presenta el banner de navegación general, no presenta un correcto uso del color ya que los colores reservados para alarmas están siendo usados con otra finalidad y las animaciones no cumplen con lo establecido por el estándar diseñado a lo largo de este proyecto según el requerimiento planteado.

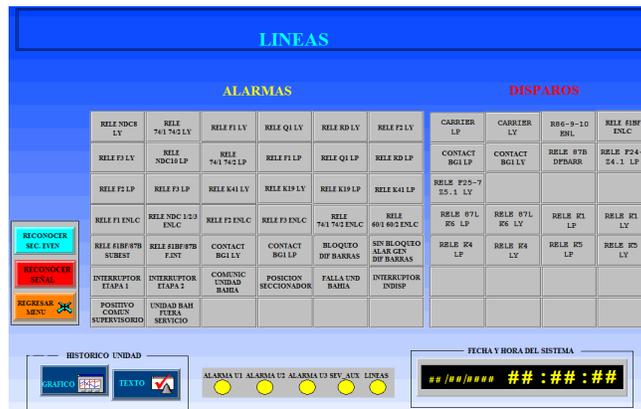


Figura 52: Pantalla Alarmas Líneas central hidroeléctrica  
Fuente: Propia

## 8.4. ANEXO 4

A continuación se presentan las pantallas en alto rendimiento diseñadas bajo la norma ISA 101 con el fin de comparar las mejoras implementadas según las pantallas mostradas a lo largo del documento y en el Anexo 3.

### PANTALLAS POR UNIDAD: OPERACIÓN.

#### ■ VÁLVULA ESFÉRICA U1:

La pantalla hace un uso adecuado de los colores para los objetos estáticos y dinámicos, además de presentar una mejor distribución que permite un entendimiento más ágil de la información que la pantalla desea transmitir.

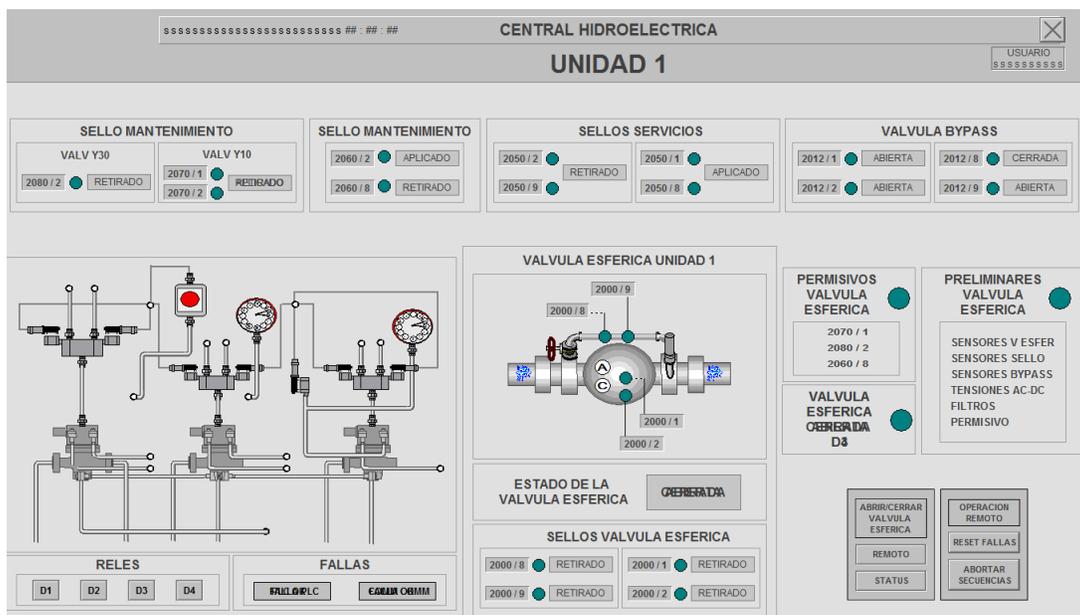


Figura 53: Pantalla Válvula esférica unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

#### ■ GENERADOR ARRANQUE – PARO U1

En el display de alto rendimiento diseñado desaparecen todos los objetos en 3D con las animaciones, generando así un mayor rendimiento del sistema de supervisión, además de esto presenta un uso adecuado del color y una mejor distribución para la operación de cada unidad.



## PANTALLAS POR UNIDAD: MONITOREO.

### ■ SECUENCIA PARO U1:

El uso del color adecuado permite resaltar la información como el diagrama eléctrico asociado a la secuencia de paro, con el fin de identificar el flujo de información y el estado de cada uno de los contactos que permiten o condicionan el paro de cada unidad.

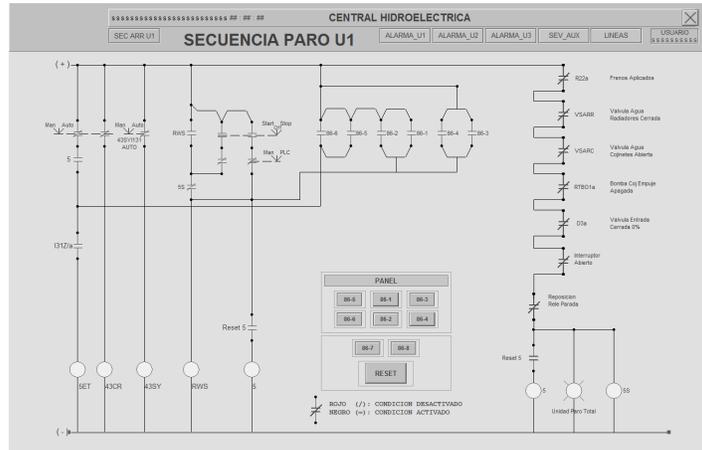


Figura 56: Pantalla Secuencia paro unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

### ■ CONDICIÓN ARRANQUE U1:

Se mejora la resolución de la pantalla mejorando también la distribución de la misma, asociando las animaciones de los indicadores con los colores adecuados con el fin de identificar el cumplimiento de cada animación de manera gráfica y animada.

CENTRAL HIDROELECTRICA		CONDICION ARRANQUE U1	
ENTRADA		ENTRADA	
1	PERIUS_INTERRUP_CDU Permitir Autostart manual Sostener Autostart U1	22	20ACR202 Bomba de aceite regenerador en posición automática EDD10 U1
2	RELE_RL1 Protección de generador-campo-transformador Unidad1	23	D121_A Selección entre barras Unidad1
3	RELE_RL2 Protección de generador-campo-transformador Unidad1	24	D121_A Selección entre barras Abajo Unidad1
4	RELE_RL3 Protección Mecánica de generador y subina Unidad1	25	D121_A Selección entre barras Arriba Unidad1
5	RELE_RL4 Protección Mecánica de generador y subina Unidad1	26	D121_A Selección entre barras Abajo Unidad1
6	RELE_RL5 Protección Eléctrica de generador y transformador Unidad1	27	RELE_R21 Freno del generador Unidad1 liberado
7	RELE_RL6 Protección Eléctrica de generador y transformador Unidad1	28	RELE_T0R0 Flujo normal de agua en transformadores Unidad1
8	RELE_RL7 Protección Mecánica y Eléctrica de generador y subina Unidad1	29	OPEVA100 Válvula esférica completamente abierta al 100% D4 Unidad1
9	RELE_RL8 Suministro Normal de DC Unidad1	30	ES2PL7 Presión de aceite en bomba de cojinete Unidad1
10	RELE_RL9 Protección Fuego Transformadores Unidad1	31	SECV Cero detector detector de movimiento o gaso Unidad1
11	RELE_RL10 Protección Fuego en el Generador Unidad1	32	RELE_K1432 Distribuidor en cero % Unidad1 Reset Rote 0 de Arranque
12	RELE_RL11 Presión Normal de Aire de Frenos Unidad1	33	RELE_R22 Frenos liberados
13	RELE_RL12 Bomba de Aceite en Transformadores Servicio Unidad1	34	ALTB02 Contactor de la bomba de aceite del cojinete de empuje abierto
14	RELE_RL13 Suministro Normal de DC 130 VDC Unidad1	35	CONTACT_03 Válvula esférica cerrada Cero % Unidad1
15	RELE_RL14 Distribuidor en cero % Unidad1	36	RELE_AUX_D121_B Interruptor Principal abierto Unidad1
16	ALP11X Presión normal de agua en radiadores y serpentines Unidad1	37	PERIUS_EXTERNO Permiso de entrada desde el B1 Unidad1
17	ALP12X Presión normal de agua de enfriamiento en salidas Unidad1	38	IL_POSIC_RELE_U1 Posición del Rote 4 Unidad1
18	BADETRAN Bombas de agua de enfriamiento en automático U1	39	IL_POSIC_RELE_U1 Posición del Rote 5 Unidad1
19	VALESFON switch en automático Válvula Esférica B1 Unidad1	40	IL_POSIC_RELE_U1 Posición del Rote 5 Unidad1
20	20ACR201 Bomba de aceite regenerador en posición automática EDD10 U1	41	VSARR_Abierta Válvula Salida Agua Refrigeración Radiadores Abierta
		42	VSARR_Cerrada Válvula Salida Agua Refrigeración Radiadores Cerrada
		43	VSARR_Cerrada Válvula Salida Agua Refrigeración Cojinetes Cerrada
		44	VSARR_Cerrada Válvula Salida Agua Refrigeración Cojinetes Cerrada

Figura 57: Pantalla Condición de arranque unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- CONFIRMACIÓN COMPUERTA U1:

Se hace un uso adecuado del color y se estandarizan las características de la pantalla asociadas con la fuente.



Figura 58: Pantalla Confirmaciones compuerta unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

### PANTALLAS POR UNIDAD: POPUPS.

En las pantallas emergentes de operación se estandariza el uso del color para el fondo, tipo y tamaño de letra unificando todos los displays del sistema de supervisión.

- APERTURA TOTAL COMPUERTA U1:

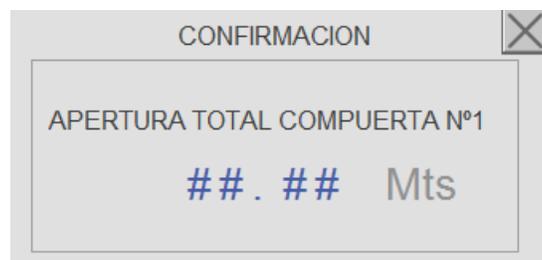


Figura 59: Pop Up Apertura total Compuerta unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- APERTURA VÁLVULA ESFÉRICA U1:

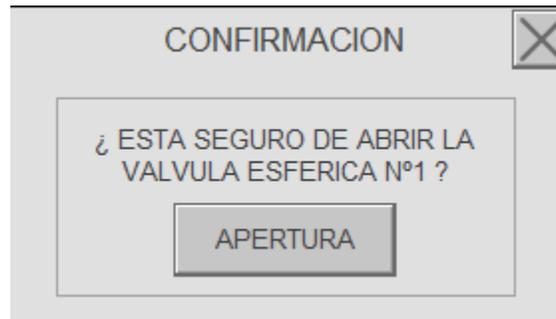


Figura 60: Pop Up Apertura Válvula Esférica unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- ARRANQUE U1:

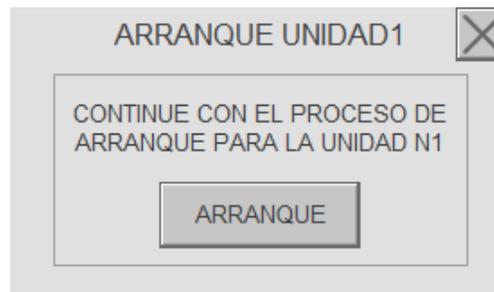


Figura 61: Pop Up Arranque unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- CIERRE COMPUERTA 1:

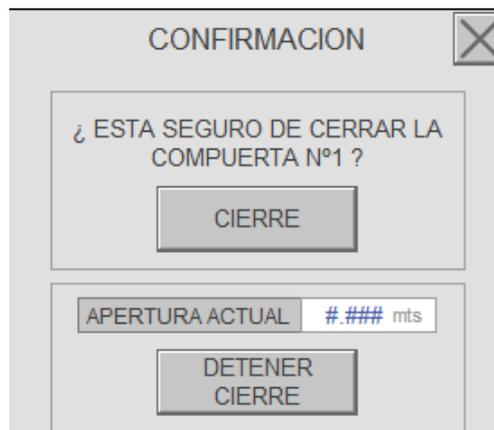


Figura 62: Pop Up Cierre Compuerta unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- CIERRE VÁLVULA ESFÉRICA U1:

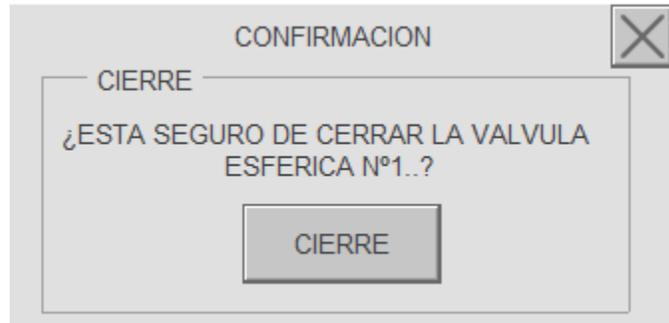


Figura 63: Pop Up Cierre Válvula Esférica unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- CONFIRMACIÓN ARRANQUE U1:

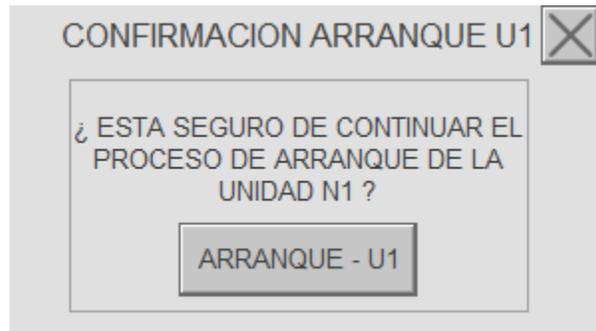


Figura 64: Pop Up Confirmación arranque unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- CONFIRMACIÓN PARO U1

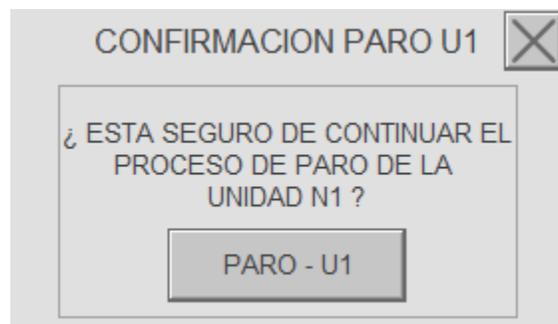


Figura 65: Pop Up Confirmación paro unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- DESCRIPCIÓN U1:

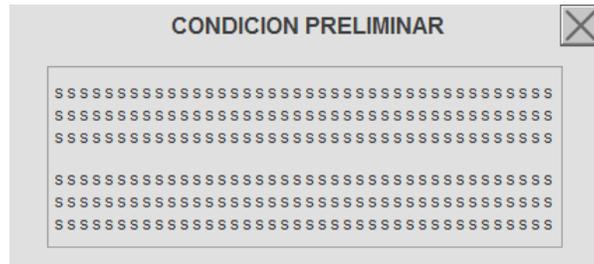


Figura 66: Pop Up Descripciones unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- PARO U1:

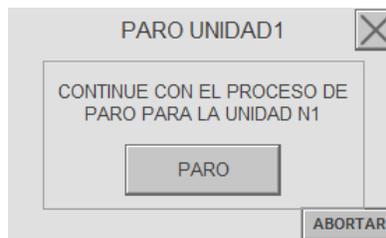


Figura 67: Pop Up Paro unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- VALOR COMPUERTA U1:



Figura 68: Pop Up Valor Compuerta unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

- VÁLVULA ESFÉRICA REMOTO U1:

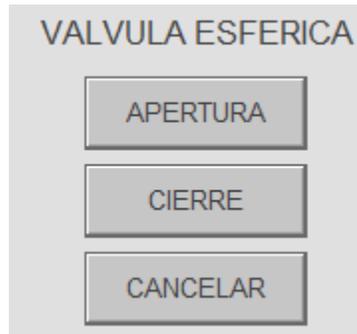


Figura 69: Pop Up Válvula esférica remoto unidad 1 alto rendimiento  
Fuente: Propia

## PANTALLAS POR UNIDAD: OPERACIÓN.

- NIVELES:

Se implementa el objeto gráfico para los tanques asociados a lo establecido por la norma, teniendo presencia las gráficas de tendencias en tiempo real para la identificación del estado que ha tomado la variable en determinado tiempo.

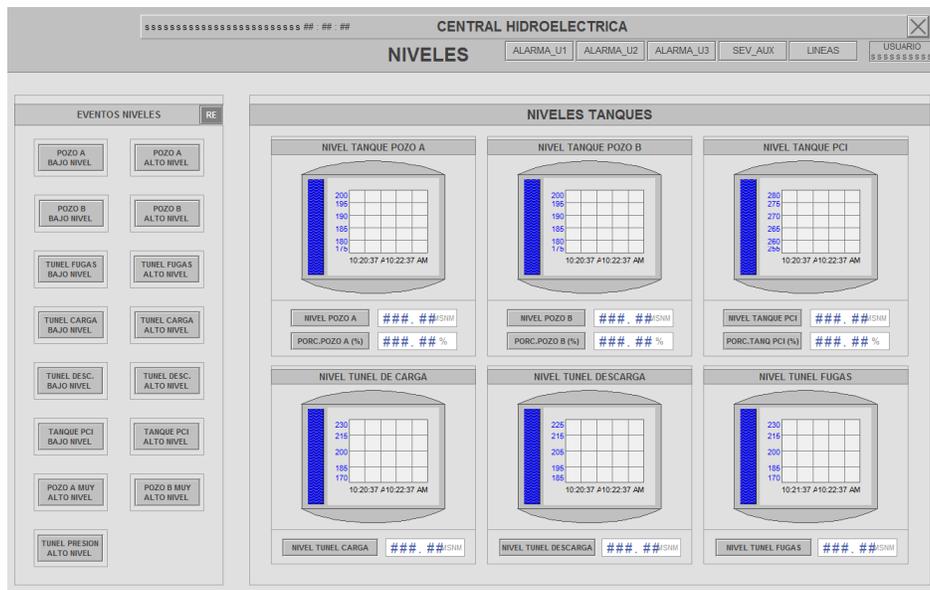


Figura 70: Pantalla Niveles alto rendimiento  
Fuente: Propia

- TÚNEL DE FUGAS:

Se hace uso adecuado del color según los estados de operación de los equipos, dando paso a una mejor distribución de la pantalla.

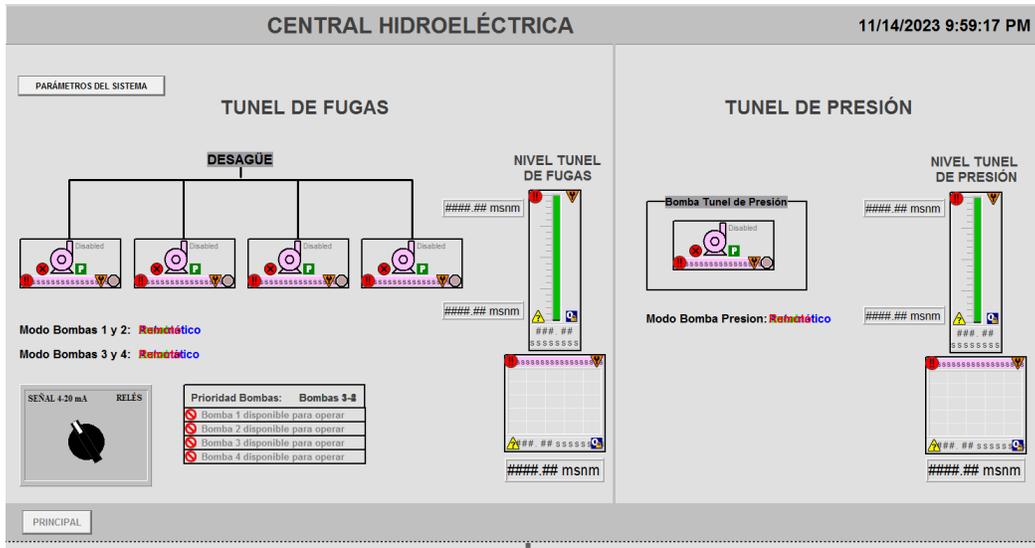


Figura 71: Pantalla Túnel fugas alto rendimiento  
Fuente: Propia

## PANTALLAS AUXILIARES: MONITOREO:

- UNIFILAR:

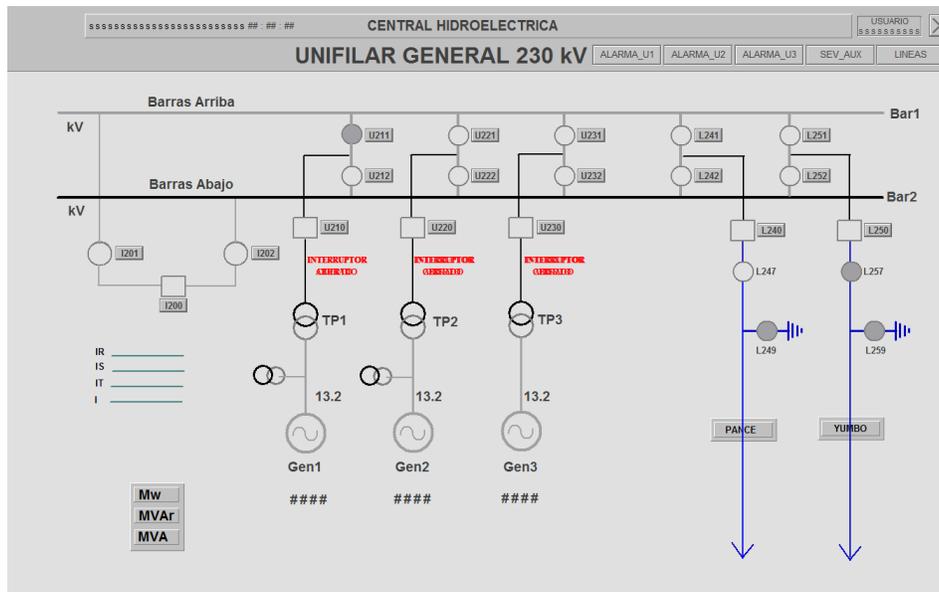


Figura 72: Pantalla Unifilar alto rendimiento  
Fuente: Propia

## PANTALLAS AUXILIARES: ALARMAS

Para las pantallas de alarmas, se ha mejorado la distribución, tamaño, color y tipo de letra y se implemento para cada banner el estándar que se definió como requerimiento para las alarmas, donde el amarillo es para una alarma de prioridad 2 y el rojo para una alarma de prioridad 1 o critica en el sistema permitiendo por parte del operador, identificar de manera ágil cada suceso.

### ■ LÍNEAS

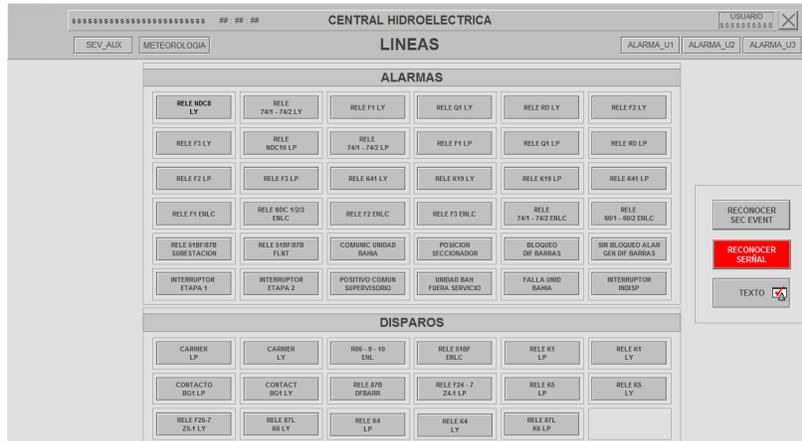


Figura 73: Pantalla Alarmas Líneas alto rendimiento  
Fuente: Propia

### ■ SERVICIOS AUXILIARES:



Figura 74: Pantalla Alarmas Servicios generales alto rendimiento  
Fuente: Propia

## 8.5. ANEXO 5

La transición que abarca la estandarización de Tags bajo ISA 5.1 y el diseño de pantallas HMI bajo ISA 101 ha sido meticuloso y fundamentado en la optimización de la operación en la central hidroeléctrica donde cada fase, desde la concepción de estándares hasta el diseño práctico, ha sido guiada por el propósito de mejorar la eficiencia, minimizar errores y fortalecer la seguridad en un entorno operativo crítico. Sin embargo, el diseño teórico, necesita ser validado y refinado en un entorno simulado antes de introducirse en la realidad de la producción como se presenta a lo largo del capítulo 4.

En este caso se procede a realizar la explicación del procedimiento realizado que consiste en intervenir cada uno de los controladores de las unidades con el fin de crear las 464 etiquetas por unidad, teniendo en cuenta cada uno de los canales que presentan los módulos los cuales están asociados al tipo de dato en controlador, también se tiene en cuenta la descripción de cada etiqueta y el nombre diseñado según el estándar ISA 5.1.

Para esto se crean todas las etiquetas en controlador con ayuda de la herramienta de texto que permite crear las variables en cantidad teniendo en cuenta el formato adecuado en el sistema presentado en la **Figura 75**



```
EPSAU3-Tags.TXT - Notepad
File Edit Format View Help
TAG HOROMETRO_GENERANDO_TOTAL_U3 "Horometro de generacion TOTAL en la Unidad 3 - Se reinicia manualmente con CONTRASEÑA y detiene el conteo si el comando se apaga, cont
activarse" "HOROMETRO" "" "(Constant := false, ExternalAccess := Read/Write)"
TAG HOROMETRO_GENERANDO_TOTAL_U3_OK "Horometro de generacion TOTAL en la Unidad 3 - Se reinicia manualmente con CONTRASEÑA y detiene el conteo si el comando se apaga, contan
activarse" "HOROMETRO_FINAL" "" "(Constant := false, ExternalAccess := Read/Write)"
TAG HOROMETRO_GENERANDO_U3 "Horometro de generacion en la Unidad 3 - Se reinicia manualmente y detiene el conteo si el comando se apaga" "HOROMETRO" "" "(Constan
HOROMETRO_GENERANDO_U3_OK "Horometro de generacion en la Unidad 3 - Se reinicia manualmente y detiene el conteo si el comando se apaga" "HOROMETRO_FINAL" ""
Read/Write)"
TAG HT_OIL_U3 "alta temperatura aceite regulador U3" "BOOL" "" "(RADIX := Decimal, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write)"
TAG ISNET_INT_U3 "Red aislada interna U3" "BOOL" "" "(RADIX := Decimal, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write)"
TAG J1C30001 "U3 Consigna de potencia [MW]" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write)"
TAG TE_3NEI003_IN "RTD Temperatura nucleo estator entre ranuras #154-155 rad #3 inferior G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Re
TAG TE_3NES003_IN "RTD Temperatura nucleo estator entre ranuras #154-155 rad #3 superior G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Re
TAG TE_3NEI004_IN "RTD Temperatura nucleo estator entre ranuras #98-99 rad #4 inferior G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Re
TAG TE_3NES004_IN "RTD Temperatura nucleo estator entre ranuras #98-99 rad #4 superior G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Re
TAG TE_3NEI001_IN "RTD Temperatura nucleo estator entre ranuras #42-43 entre rad #1 y 2 inferior G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAcce
TAG TE_3NES001_IN "RTD Temperatura nucleo estator entre ranuras #42-43 entre rad #1 y 2 superior G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAcce
TAG TE_3F1C004_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 1 ranura #4 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F2S011_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 2 ranura #11 arriba G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F3C018_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 3 ranura #18 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F1I025_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 1 ranura #25 abajo G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F2C032_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 2 ranura #32 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F3S123_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 3 ranura #123 arriba G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F1C130_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 1 ranura #130 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F2I137_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 2 ranura #137 abajo G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F3C144_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 3 ranura #144 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F1S151_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 1 ranura #151 arriba G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F2C158_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 2 ranura #158 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F3I165_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 3 ranura #165 abajo G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F1C039_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 1 ranura #39 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F2S046_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 2 ranura #46 arriba G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F3C053_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 3 ranura #53 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F1I060_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 1 ranura #60 abajo G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F2C067_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 2 ranura #67 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F3S074_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 3 ranura #74 arriba G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F1C081_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 1 ranura #81 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F2I088_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 2 ranura #88 abajo G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
TAG TE_3F3C095_IN "RTD Temperatura devanado del estator fase 3 ranura #95 centro G3" "REAL" "" "(RADIX := Float, Constant := false, ExternalAccess := Read/Write
```

Figura 75: Creación de Tags .txt en PLC

Fuente: Propia

Teniendo el archivo .txt con las nuevas etiquetas y su respectiva descripción, se procede a importar el archivo al PLC, así se crearan automáticamente las variables con su nombre y tipo de dato, en este punto es importante tener en cuenta la configuración o las opciones de importación, ya que debe elegirse la opción “crear nuevas tags y preservar las existentes” en caso de no seleccionar esta opción, sobrescribe las ya existentes y es una acción que puede afectar otras variables que no son de nuestro interés en este momento generando consecuencias negativas a futuro.

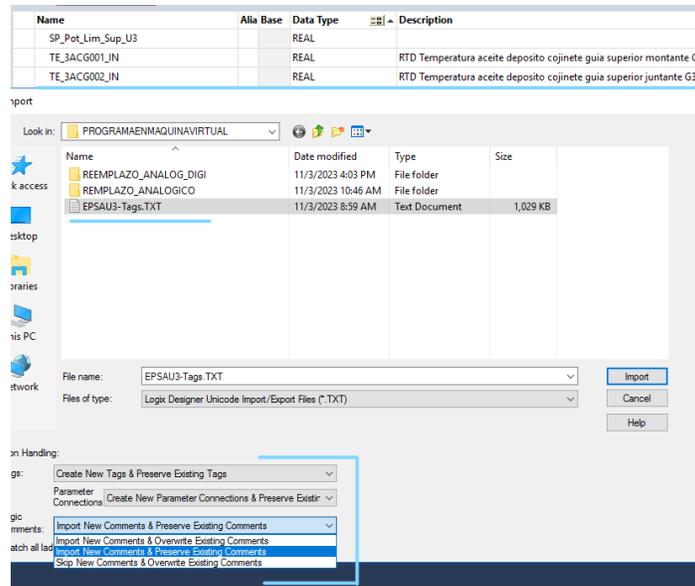


Figura 76: Importación de Archivo en PLC para estandarización de Tags  
Fuente: Propia

Después de crear las nuevas etiquetas, con la opción de buscar/reemplazar, se elige tag por tag antigua y se ingresa el nuevo tag, con el botón “replace all” buscara en todas las tareas y rutinas del programa actual donde exista la etiqueta antigua y la reemplazara automáticamente por la nueva, este procedimiento se debe realizar para todas las etiquetas una por una que se necesiten reemplazar

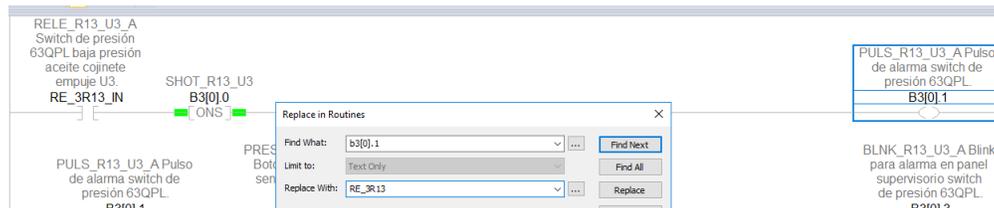


Figura 77: Find/Replace de Tags en PLC  
Fuente: Propia

Posterior a la finalización las etiquetas, se procede a realizar la descarga del PLC y posteriormente se realizará la intervención en el direccionamiento en SCADA y Panel-Views. En este punto es importante tener en cuenta que se debe exportar las etiquetas en un archivo .CSV y con una herramienta externa, en este caso “Notepad++” abrir los archivos simultáneamente y con la opción “find/replace” se seleccionan todos los documentos abiertos y automáticamente buscara en todos los archivos la etiqueta y la reemplazara con un solo clic, esto con el fin de optimizar el proceso teniendo en cuenta que se debe realizar el mismo procedimiento para todas las etiquetas una por una.

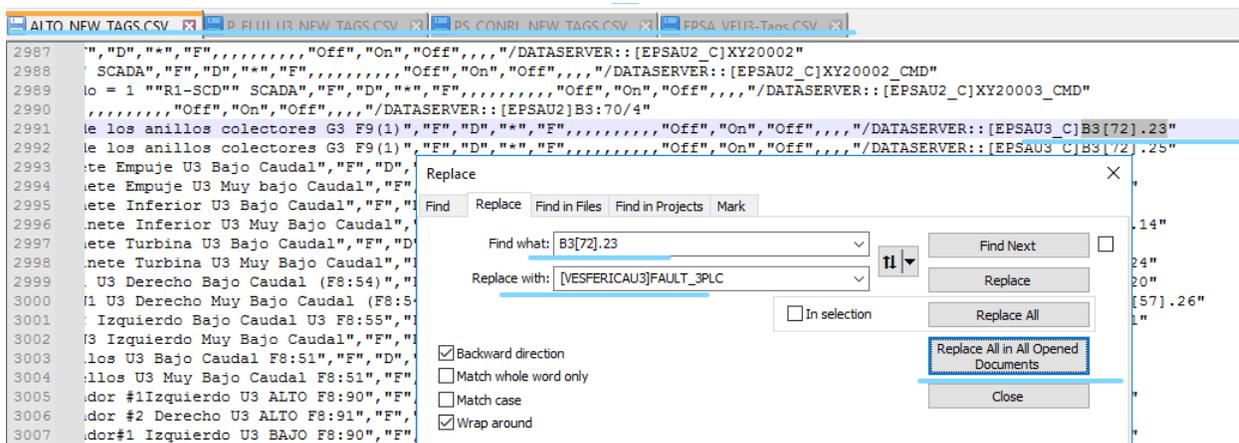


Figura 78: Find/Replace de tags para SCADA y PANEL VIEWS .CSV  
Fuente: Propia

Después de haber realizado el procedimiento de reemplazar las direcciones antiguas por las nuevas en los archivos para el SCADA y las PanelViews, se procede a realizar la importación de los .CSV según corresponda para comprobar que los procedimientos y el enlace entre el PLC y las nuevas Tags en SCADA y PanelViews en entorno de simulación funcionan correctamente

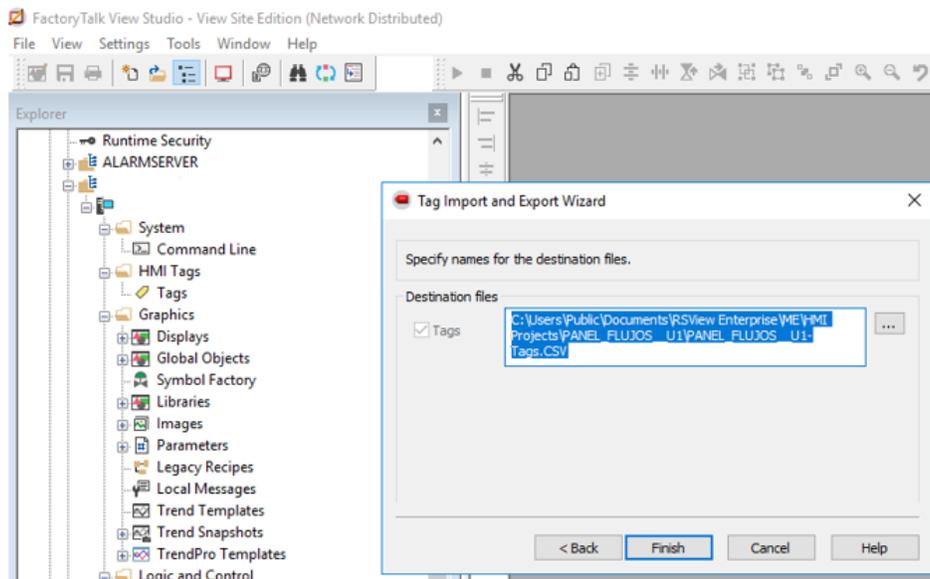


Figura 79: Importación de tags en Factory Talk View .CSV  
Fuente: Propia

Con el PLC descargado y los Shorcuts enlazados en el Factory Talk View, se procede a hacer una prueba con algunas variables evidenciando que se han actualizado correctamente. Se tiene en cuenta la tabla de actualización que se explicó en el Capítulo 3 para el controlador de la Unidad 3, como se ve en la imagen se selecciona la etiqueta analógica ubicada en el canal 5

ESTANDARIZACIÓN DE TAGS ISA 5 - ALTO ANCHICAYA CONTROLADOR UNIDAD 3			
ENTRADA / CANAL	DESCRIPCIÓN	NUEVOS TAGS	TAGS ANTIGUOS
CH3	RTD Temperatura devanado del estator fase 1 ranura #102 arriba G3	TE_3F1S102_IN	F8[68]
CH4	RTD Temperatura devanado del estator fase 2 ranura #119 centro G3	TE_3F2C119_IN	F8[69]
CH5	RTD Temperatura devanado del estator fase 3 ranura #116 abajo G3	TE_3F3I116_IN	F8[81]
CH6	RTD Temperatura del aire caliente radiador #1 G3	TE_3AC001_IN	F8[10]
CH7	RTD Temperatura del aire caliente radiador #2 G3	TE_3AC002_IN	F8[13]
CH0	RTD Temperatura del aire caliente radiador #3 G3	TE_3AC003_IN	F8[11]
CH1	RTD Temperatura del aire caliente radiador #4 G3	TE_3AC004_IN	F8[12]
CH2	RTD Temperatura del aire frío radiador #1 G3	TE_3FC001_IN	F8[8]
CH3	RTD Temperatura del aire frío radiador #2 G3	TE_3FC002_IN	F8[6]
CH4	RTD Temperatura del aire frío radiador #3 G3	TE_3FC003_IN	F8[7]

Figura 80: Estandarización de TAGS  
Fuente: Propia

En las Tags HMI de Factory Talk View vemos que se ha actualizado correctamente el direccionamiento en PLC y también la descripción de esta.

**Tag**

Name:

Type:  Security:

Description:

Minimum:  Scale:  Units:

Maximum:  Offset:  Data Type:

Data Source

Type:  Device  Memory

Address:

---

**Search For:**

Alm
1
2

Figura 81: Direccionamiento en TAG HMI  
Fuente: Propia

Como se tiene el sistema en un entorno de simulación y el PLC está en Run, se procede a hacer una prueba en línea del enlace para comprobar que al cambiar el valor de la Tag de prueba que reemplaza la función de un sensor en PLC, también se ve reflejado en el HMI con el nuevo direccionamiento como se evidencia a continuación.

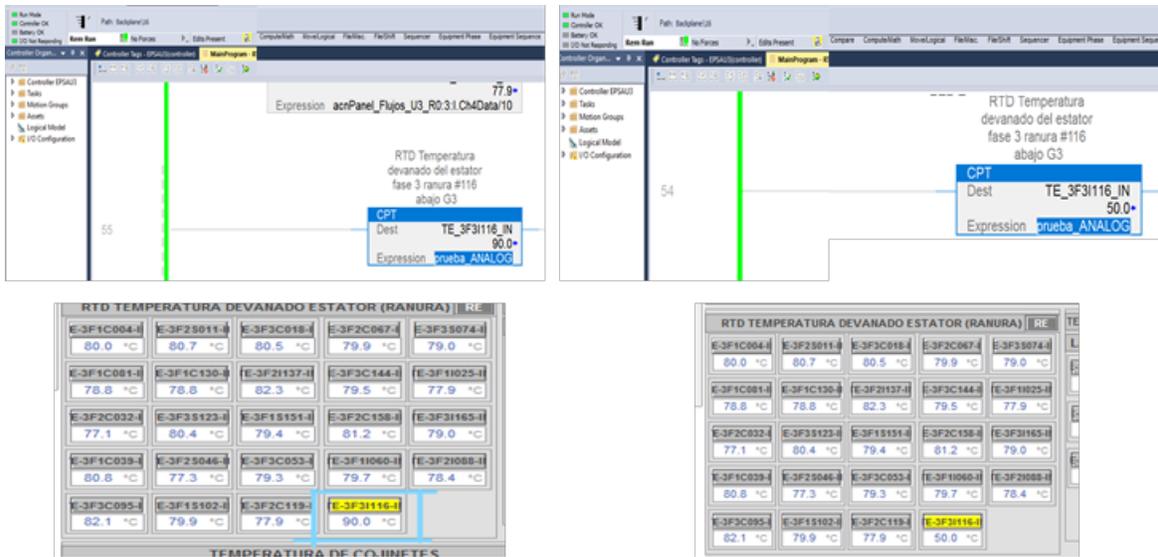


Figura 82: Evidencia de funcionamiento  
Fuente: Propia

Después de validar todas las variables de concluye así el proceso de estandarización de etiquetas bajo ISA 5.1 el cual afecta los controladores y los equipos de visualización como SCADA y PanelViews en el sistema de control de la central para posteriormente replicar el procedimiento en entorno de producción.

## 8.6. ANEXO 6

		<b>PRUEBAS DE ACEPTACION</b>			Código: IN-D100.F13	
					Versión: 1	
					Fecha: 06/06/2022	
<b>IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS</b>						
<b>Nombre del Proyecto:</b>		IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y MONITOREO DEL PANEL DE FLUJOS DE LAS UNIDADES U1-U2-U3 EN LA CENTRAL HIDROELÉCTrica Y LA INTEGRACIÓN MEDIANTE EL PROTOCOLO IEC 60870-5-104 O ETHERNET IP CON EL SISTEMA DE SUPERVISIÓN ACTUALMENTE INSTALADO EN LA CENTRAL				
<b>Centro de Operación:</b>		30401003400				
<b>Cliente:</b>		MBIA S.A. E.S.P.		<b>Ciudad:</b>		
<b>Responsable por Omnicón:</b>		E. ...ITA		<b>Responsable por el cliente:</b>		A. ...JERA
<b>REVISIÓN</b>						
<b>REVISIÓN</b>	<b>FECHA</b>	<b>EMITIDO PARA</b>	<b>ELABORO</b>	<b>REVISO</b>	<b>APROBO</b>	<b>CLIENTE</b>
1	3/3/2023	REVISIÓN	JACC	EOS		
2	28/08/2023	ACTUALIZACIÓN	JACC	EOS		
<b>Número de Documento:</b>						

		<b>PRUEBAS DE ACEPTACION</b>			Código: IN-D100.F13			
					Versión: 1			
					Fecha: 06/06/2022			
<b>INSTRUCCIONES</b>								
<p>En el encabezado de la prueba escriba el nombre de la pantalla. En los campos de "Descripción" escribe el detalle de la característica a evaluar.</p> <p>En el campo de "Característica a Evaluar" se pueden eliminar o adicionar características según el HMI a evaluar.</p> <p>En el campo de "Cumple" diligencie "SI" cumple, "No" cumple, o "No Aplica" la característica a evaluar. Todo Item que "No" cumple se debe hacer una revalidación. Cuando se realice la revalidación se debe validar que cumple y la fecha en que se realizó el cumplimiento de la misma.</p> <p>En el campo de "Observaciones" escriba cualquier comentario relevante que amerite atención y/o posterior verificación, en cuyo caso debe establecer la fecha convenida en este espacio.</p> <p>En el campo "Notas" escriba un comentario del estado en que se aprueban las pantallas. Por ejemplo: "Aprobado a satisfacción" / "Aprobado pero Sujeto a tal Restricción o Compromiso".</p> <p>En los campos "Aprobación Firma Cliente", "Aprobación Firma Omnicón" y "Fecha" debe contener la firma del cliente, del ingeniero y la fecha que se aprueba la validación de la prueba.</p> <p>Realice la cantidad de formatos tantas pantallas contenga la aplicación HMI.</p>								
<b>HMI - Registros</b>								
Ítem	Descripción	Característica a Evaluar	Cumple			Revalidación Cumplimiento	Fecha Revalidación	Observaciones
			SÍ	No	N/A			
1	Los símbolos utilizados son los indicados, ie: tanques, líneas de proceso, válvulas, transmisores, motores, etc.	Apariencia	x					
2	Los colores para los objetos estáticos son correctos. Ejemplo: Válvulas manuales, líneas de proceso, etc.	Colores	x					
3	La dirección y orientación del flujo del proceso es acorde al proceso de flujo. Ejemplo: Líneas de proceso.	Señalización	x					
4	Descriptores de estado estáticos y dinámicos de los objetos.	Descripción de Objetos	x					
5	Indicadores de Valores Análogos están correctos	Descripción de Valores Análogos	x					
6	La jerarquía de las pantallas y enlace está acorde al proceso.	Navegación	x					
7	Existe un correcto cambio de color en los objetos dinámicos y en los campos de ingreso.	Cambios Dinámicos de Color	x					
8	Funcionalidad, texto, rangos, unidades, comandos	Faceplate	x					
9	Verificar el enlace de tag corresponda al objeto y que hay cambios en los colores de forma dinámica	Enlace de tags y objetos	x					
10	Confirmar que el color de las alarmas coincidan con la prioridad configurada.	Alarmas	x					
11	Los datos configurados para llevar un histórico cumple con lo configurado.	Tendencias	x					
12	Validar los niveles de seguridad de usuarios permitidos en la aplicación.	Seguridad	x					
13	Verificar si la comunicación se reestablece, si llegara a ocurrir una desconexión momentánea.	Reestablece la Comunicación	x					
14	Verificar si la redundancia funciona correctamente, para los sistemas que aplique.	Redundancia	x					
15	La información está organizada según lo pactado con el cliente.	Organización	x					
16	La información desplegada en el HMI es clara	Claridad	x					

HMI - Tendencias								
Ítem	Descripción	Característica a Evaluar	Cumple			Revalidación Cumplimiento	Fecha Revalidación	Observaciones
			Si	No	N/A			
1	Los símbolos utilizados son los indicados. ie: tanques, líneas de proceso, válvulas, transmisores, motores, etc.	Apariencia	x					
2	Los colores para los objetos estáticos son correctos. Ejemplo: Válvulas manuales, líneas de proceso, etc.	Colores	x					
3	La dirección y orientación del flujo del proceso es acorde al proceso definido. Ejemplo: Líneas de proceso.	Señalización	x					
4	Descriptor de estado estáticos y dinámicos de los objetos.	Descripción de Objetos	x					
5	Indicadores de Valores Análogos están correctos	Descripción de Valores Análogos	x					
6	La jerarquía de las pantallas y enlace está acorde al proceso.	Navegación	x					
7	Existe un correcto cambio de color en los objetos dinámicos y en los campos de ingreso.	Cambios Dinámicos de Color	x					
8	Funcionalidad, texto, rangos, unidades, comandos	Faceplate	x					
9	Verificar el enlace del tag corresponda al objeto y que hay cambios en los colores de forma dinámica	Enlace de tags y objetos	x					
10	Confirmar que el color de las alarmas coincidan con la prioridad configurada.	Alarmas			x			En tendencias no se evidencian las alarmas, unicamente en la pantalla de registros mediante objeto PlantPAx.
11	Los datos configurados para llevar un histórico cumple con lo configurado	Tendencias			x			Los datos almacenados no estan enlazados a un historico, por ende la tendencia solo muestra la grafica pero no historiza los valores
12	Validar los niveles de seguridad de usuarios permitidos en la aplicación.	Seguridad	x					
13	Verificar si la comunicación se reestablece, si llegara a ocurrir una desconexión momentánea	Reestablece la Comunicación	x					
14	Verificar si la redundancia funciona correctamente, para los sistemas que aplique.	Redundancia			x			
15	La información está organizada según lo pactado con el cliente.	Organización	x					
16	La información desplegada en el HMI es clara	Claridad	x					