



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES USANDO PLC, HMI Y PASARELA INTELIGENTE
IOT2040 DE SIEMENS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTORES: BETSIE ABIGAIL BERMEO MAITA
PABLO ARMANDO BANDERAS ALCÍVAR

TUTOR: ING. RAFAEL CHRISTIAN FRANCO REINA, MSc.

Guayaquil – Ecuador

2024-2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Betsie Abigail Bermeo Maita con documento de identificación N°1724220395 y Pablo Armando Banderas Alcívar con documento de identificación N°0958045189, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación

Guayaquil, 6 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Betsie Abigail Bermeo Maita

1724220395

Pablo Armando B. A.

Pablo Armando Banderas Alcívar

0958045189

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Betsie Abigail Bermeo Maita con documento de identificación N°1724220395 y Pablo Armando Banderas Alcívar con documento de identificación N°0958045189, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "Diseño y simulación del proceso de tratamiento de aguas residuales usando PLC, HMI y pasarela inteligente IOT2040 de SIEMENS.", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 6 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Betsie Abigail Bermeo Maita

1724220395

Pablo Armando B.A.
Pablo Armando Banderas Alcívar

0958045189

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rafael Christian Franco Reina con documento de identificación N°0923328629, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES USANDO PLC, HMI Y PASARELA INTELIGENTE IOT2040 DE SIEMENS, realizado por Betsie Abigail Bermeo Maita con documento de identificación N°1724220395 y Pablo Armando Banderas Alcívar con documento de identificación N°0958045189, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 6 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Ing. Rafael Christian Franco Reina, MSc.

0923328629

DEDICATORIA

Primeramente, agradezco a mi Padre Celestial, quien ha estado presente en los días buenos y malos a lo largo de mi camino hacia la ingeniería. Aquel que me otorgó el don que poseo, la fortaleza para seguir adelante y del cual me siento profundamente bendecida y amada. Mi Padre, el Ingeniero de todo el universo, ¿quién mejor que Tú para enseñarme y demostrarme que incluso en los más pequeños detalles de la naturaleza se refleja Tu maravillosa ingeniería?

Incluso a los científicos les permitiste acceder al conocimiento que marcó la historia. A mi querida madre, mi luz, quien fue un pilar fundamental en toda mi vida académica, la que sostuvo mis sueños y me guió por el camino correcto. Aquella que no me permitió rendirme en los días más difíciles. Madre mía, te debo mucho; que este logro no sea solo mío, sino también plenamente tuyo.

A mi hermana menor, quien me dio fuerzas en los momentos difíciles. Te debo mucho, pues siempre me enseñaste que, si se hacen las cosas para Dios, Él nos respaldará. A mi hermana mayor, por su apoyo incondicional y por brindarme siempre consejos sabios.

Finalmente, pero no menos importante, a mi enamorado, quien fue mi apoyo incondicional y mi fan número uno en todo este proceso. Solo él podía comprender la dificultad, pero también la gratificación, de este hermoso camino hacia la ingeniería...

Betsie Abigail Bermeo Maita.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, por su amor, paciencia y apoyo constante. A todos aquellos que me han inspirado y acompañado en este camino, brindándome la fuerza para seguir adelante. Sin su aliento, este logro no habría sido posible.

Pablo Armando Banderas Alcívar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, quien me ha permitido levantarme todos los días y seguir adelante, aquel que conoce los misterios del universo y también los de mi vida. Agradezco a mi madre, quien siempre me enseñó a luchar por mis sueños y darlo todo como una hija de Dios.

Agradezco a mi hermana menor, que estuvo para mí en muchos momentos. Agradezco a mi hermana mayor, a mi sobrino y a todo su hogar por apoyarme también. Agradezco a mi familia que, a pesar de ser pocos, nos sentimos unidos en el amor de Dios.

Agradezco a mi enamorado, quien supo entenderme y apoyarme en los días difíciles, y de quien he recibido un amor inexplicable que me ha completado y sanado. Agradezco a mi papá, quien también me impulsó a seguir el camino de la ingeniería; mi gratitud es inmensa, de todo corazón.

Agradezco a la dirección de la Carrera de Electrónica y Automatización, donde desde el principio me sentí acogida y como en casa. Agradezco a todos los profesores de la carrera, quienes no olvidaré porque me enseñaron que aprender cosas buenas puede ser desafiante, pero también muy gratificante.

Agradezco a mi tutor de tesis, el Ing. Rafael Franco, con quien estoy profundamente agradecida por ser mi tutor y de quien he aprendido mucho. También agradezco al Ing. Geovanny, quien supo enseñarme con paciencia y fue un excelente docente.

Finalmente, estoy muy agradecida por el recorrido de mi camino, que me ha llevado hasta donde estoy ahora y también a mi compañero Pablo Banderas.

Betsie Abigail Bermeo Maita

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi familia, por su amor y apoyo incondicional; a mis amigos, en especial a Betsie Bermeo y Angie Santos, por su constante apoyo y motivación; y a todos aquellos que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo. Sin su apoyo, este logro no hubiera sido posible.

Pablo Armando Banderas Alcívar

Resumen

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son relevantes para mejorar la calidad en la que son devueltos los recursos hídricos utilizados en el día a día por la sociedad. El aumento de la demanda de este servicio en los últimos años se ha incrementado y, al contar con tecnologías consideradas obsoletas y limitadas hoy en día, esto perjudica tanto a la calidad como a la optimización de recursos. En el nivel académico no se ha encontrado un entorno educativo en el cual se puedan observar los subprocesos, variables y salidas que intervienen en el control de la planta con tecnologías acordes a la Industria 4.0 de manera que se prepare a los estudiantes para un nicho en el cual se especialicen y contribuyan a la mejora continua con las habilidades de automatización e ingeniería.

Este proyecto tiene como objetivo simular el proceso de tratamiento de aguas residuales usando PLC, HMI y pasarela inteligente IOT2040 de SIEMENS a través del software TIA Portal y Node-RED, el cual aportará al estudiante un panorama más actualizado que cuente con tecnologías avanzadas en el monitoreo y control, contribuyendo así a la solución de una problemática.

La metodología con la cual se trabajó incluye la programación en el PLC, el diseño de la interfaz HMI y la implementación de un dashboard IoT para un monitoreo no local. El proyecto es relevante debido a que contribuirá al desarrollo de habilidades y competencias en la resolución de la problemática que hoy en día enfrentan las plantas de tratamiento de aguas residuales y de las cuales se puede mejorar el servicio con tecnologías IoT y una visión más innovadora hacia la Industria 4.0.

Palabras Clave: Diseño, Simulación, tratamiento de aguas residuales, automatización, Industria 4.0, TIA Portal, Node-RED, PLC, HMI, pasarela inteligente IOT2040.

Abstract

Wastewater treatment plants are essential for improving the quality of water resources returned to the environment after daily societal use. In recent years, the demand for this service has increased, and the reliance on technologies considered obsolete and limited today negatively impacts both quality and resource optimization. At the academic level, there is a lack of educational environments where sub-processes, variables, and outputs involved in plant control using Industry 4.0 technologies can be observed. This limits students' preparation for specialization in a niche where they could contribute to continuous improvement with automation and engineering skills.

This project aims to simulate the wastewater treatment process using SIEMENS PLC, HMI, and IOT2040 smart gateway through the TIA Portal and Node-RED software. The goal is to provide students with a more up-to-date framework featuring advanced monitoring and control technologies, thus addressing an existing issue.

The methodology involves PLC programming, HMI interface design, and the implementation of an IoT dashboard for remote monitoring. This project is relevant as it will contribute to the development of skills and competencies to address the challenges currently faced by wastewater treatment plants, improving service delivery through IoT technologies and an innovative approach aligned with Industry 4.0.

Keywords: Design, Simulation, wastewater treatment, automation, Industry 4.0, TIA Portal, Node-RED, PLC, HMI, IOT2040 smart gateway.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I	INTRODUCCIÓN	1
II	PROBLEMA.....	2
III	OBJETIVOS	4
3.1	Objetivo general.....	4
3.2	Objetivos específicos	4
IV	FUNDAMENTO TEÓRICO	5
4.1	Pretratamiento.....	5
4.1.1	Rejillas para solidos	5
4.1.2	Cárcamo de bombeo	6
4.2	Tratamiento primario	6
4.2.1	Filtro estático parabólico.....	6
4.2.2	Sedimentor primario.....	6
4.3	Sistema de Lodo Activado	7
4.3.1	Reactor biológico	8
4.3.2	Tanque Sedimentor secundario	8
4.3.3	Sistema de retorno del lodo.....	8
4.3.3	Descarga del afluente	8
4.4	Software	10
4.4.1	TIA Portal.....	10

4.4.2	Node-RED.....	10
4.4.3	Pasarela inteligente IOT 2040 de Siemens.....	11
4.4.4	Protocolo de comunicación Profinet	11
4.4.5	Librería Lsim de Siemens	13
4.4.6	Tipos de bloques en TIA Portal.....	14
4.4.6.1	Bloque de organización OB	14
4.4.6.2	Bloque de organización FB	15
4.4.7	Lenguaje Ladder.....	16
4.5	Hardware.....	17
4.5.1	PLC S7 - 1500 de Siemens	17
4.5.2	HMI (Interfaz Humano Maquina KTP700 BASIC)	18
V	MARCO METODOLÓGICO.....	20
5.1	Creación del proyecto en el software de TIA Portal.....	26
5.2	Creación de cada bloque de programación del PLC en TIA Portal	30
5.3	Programación KOP del subproceso de Bombeo	31
5.4	Programación KOP de subproceso de Clarificador	38
5.5	Programación KOP de subproceso de Cloración.....	44
5.6	Programación KOP de subprocesos del Digestor y Lecho de secado	50
5.7	Programación del PID del subproceso del Reactor.....	53
5.7.1	Configuración del PID	55

5.7.2	Configuración de LSIM	60
5.8	Programación KOP del MAIN.....	63
5.9	Diseño de la interfaz del HMI.....	71
5.9.1	Diseño de la pantalla de Portada.....	77
5.9.2	Diseño de la pantalla de Inicio.....	78
5.9.3	Diseño de la pantalla de Bombeo.....	83
5.9.4	Diseño del subproceso de Reactor	88
5.9.5	Diseño del subproceso de gráfica de PID	91
5.9.6	Diseño del subproceso de Digestor y Lecho de Secado	93
5.9.7	Diseño del subproceso de Cloración.....	96
5.10	Diseño del Dashboard en Node-Red.....	99
VI	RESULTADOS.....	110
6.1	Ejecución del proyecto en el TIA Portal.....	110
6.2	Ejecución del inicio de sesión en la pantalla HMI.....	112
6.3	Ejecución del subproceso de bombeo en la pantalla HMI.....	115
6.4	Ejecución del subproceso del reactor biológico en la pantalla HMI	116
6.5	Ejecución del subproceso de clarificación en la pantalla HMI.....	117
6.6	Ejecución del subproceso de cloración en la pantalla HMI.....	118
6.7	Ejecución del dashboard para la comunicación con la IOT.....	119
6.8	Puesta en marcha del sistema en el Laboratorio de Automatización 2.....	120

VII CRONOGRAMA.....	122
VIII PRESUPUESTO.....	123
IX CONCLUSIONES	124
X RECOMENDACIONES.....	125
XI REFERENCIAS.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de proceso de pretratamiento	5
Figura 2 Sedimentor Santa fe de la Laguna	7
Figura 3 Proceso de lodo activado	7
Figura 4 Diagrama de flujo del proceso de una planta de tratamiento de aguas residuales	9
Figura 5 Entorno de Node-RED	10
Figura 6 Especificaciones técnicas	11
Figura 7 Esquema de comunicación industrial implementado con Profinet.....	12
Figura 8 Simulación de un proceso usando LSim	13
Figura 9 Estructura de bloques en TIA Portal	14
Figura 10 Diagrama de funcionamiento	16
Figura 11 Simatic S7 1500.....	18
Figura 12 HMI KTP700 Basic	19
Figura 13 Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de aguas residuales	21
Figura 14 Diagrama de flujo primer subproceso de Bombeo	22
Figura 15 Diagrama de flujo de subproceso de Reactor Biológico	23
Figura 16 Diagrama de flujo de subproceso de Clarificación.....	24
Figura 17 Diagrama de flujo de subproceso de Cloración.....	25
Figura 18 Diagrama de flujo de subproceso de Digestor de Lodos y Lecho de Secado.....	26
Figura 19 Imagen con TIA Portal iniciando	27
Figura 20 Imagen que muestra cómo crear un nuevo proyecto en TIA Portal	27
Figura 21 Imagen donde se añade el PLC según las características del CPU como la versión y el modelo.....	28

Figura 22 Imagen donde se añade el HMI según la versión y el modelo requeridos	29
Figura 23 Características de los módulos de entradas y salidas digitales para PLC modular S71500	29
Figura 24 Ventana del TIA Portal donde se muestra los bloques en la sección de “Program blocks”	30
Figura 25 Variables de entradas y salidas del bloque FB del subproceso de Bombeo	31
Figura 26 Programación de marcha y paro del bombeo colocando un botón de paro general y uno individual para el proceso de bombeo	32
Figura 27 Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de “VALVULA DE LLENADO”- Parte 1	33
Figura 28 Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de “VALVULA DE LLENADO”- Parte 2	33
Figura 29 Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de “BOMBA 1- TANQUE 1”- Parte 1	34
Figura 30 Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de “BOMBA 1- TANQUE 1”- Parte 2	35
Figura 31 Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de “BOMBA 2- TANQUE 2”- Parte 1	36
Figura 32 Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de “BOMBA 2- TANQUE 2”- Parte 2	36
Figura 33 Programación en lenguaje KOP con contador CTUD de “TANQUE 1” para animación de nivel.....	37

Figura 34 Programación en lenguaje KOP con contador CTUD de “TANQUE 2” para animación de nivel.....	38
Figura 35 Variables de entrada y salidas analógicas y digitales del subproceso de Clarificación	39
Figura 36 Variables locales del bloque FB del subproceso del clarificador.....	39
Figura 37 Programación de los bloques SR para la activación del marcha y paro del subproceso de clarificación.....	40
Figura 38 Programación para la activación de la válvula de llenado con bloques SR	41
Figura 39 Programación para la activación de la válvula de llenado con bloques SR	42
Figura 40 Programación para la activación de la válvula de descarga con bloques SR	43
Figura 41 Programación en KOP para la activación de la válvula de lodo con bloque SR.....	43
Figura 42 Programación con bloque contador CTUD para la animación del nivel.....	44
Figura 43 Variables del proceso de cloración.....	45
Figura 44 Variables locales del bloque FB del subproceso de cloración	45
Figura 45 Programación en KOP de marcha y paro de bloque de cloración.....	46
Figura 46 Programación en KOP de la válvula de llenado del subproceso de cloración	47
Figura 47 Programación KOP de la bomba de diafragma que activa el hipoclorito de sodio.....	48
Figura 48 Programación en KOP de la válvula de descarga del subproceso de cloración	48
Figura 49 Programación con bloque CTD para animación de nivel de tanque de hipoclorito de sodio.....	49
Figura 50 Variables del subproceso de Digestor y Lecho de secado juntos	50
Figura 51 Variables locales del bloque FB del subproceso de Digestor y Lecho de secado juntos	50

Figura 52 Programación en KOP de marcha y paro del subproceso de digestor y Lecho de Secado	51
Figura 53 Programación en KOP de válvula de llenado de subproceso del Digestor	51
Figura 54 Programación en KOP de la válvula de descarga de subproceso de digestor de lodos	52
Figura 55 Programación en KOP para la animación del nivel del tanque digestor	53
Figura 56 Función de transferencia.....	54
Figura 57 Diagrama de control PID.....	55
Figura 58 OB Cyclic Interrupt	56
Figura 59 Visualización PID COMPACT	57
Figura 60 Configuración del Basic setting.....	58
Figura 61 Variables del subproceso de Reactor en el TIA Portal.....	59
Figura 62 Bloque PID con sus respectivas variables definida.....	59
Figura 63 Procedimiento para abrir Lsim desde TIA Portal.....	61
Figura 64 Selección del bloque Lsim_PT1	62
Figura 65 Bloque Lsim_PT1.....	62
Figura 66 Normalizado y escalado de la variable OUTPID	63
Figura 67 Variables generales del Clock, MARCHA y PARO generales	64
Figura 68 Orden de “Network” en el MAIN	64
Figura 69 Programación en KOP con bloque SR para marcha y paro.....	65
Figura 70 Bloque FB perteneciente al subproceso de BOMBEO.....	65
Figura 71 Bloque FB perteneciente al subproceso de CLARIFICADOR	66
Figura 72 Bloque FB perteneciente al subproceso de CLORACIÓN	67
Figura 73 Bloque FB perteneciente al subproceso de DIGESTOR.....	67

Figura 74 Programación para datos Bool que se enviaran a Node-RED.....	68
Figura 75 Programación para datos Word que se enviaran a Node-RED.....	69
Figura 76 Programación para datos Word que se enviaran a Node-RED Parte-2	70
Figura 77 Conversión de dato de PID de Real a Int que se enviaran a Node-RED.....	70
Figura 78 Variables del HMI conectadas al PLC programado uno	71
Figura 79 Variables del HMI conectadas al PLC programado dos	72
Figura 80 Lista de “Screens” que se utilizaron para el desarrollo de cada subproceso	72
Figura 81 Creación de dos usuarios para restricción en accesos de la pantalla.....	73
Figura 82 Templates utilizados para el uso en los HMI	74
Figura 83 Template "GENERAL"	74
Figura 84 Configuración de botón de ingreso de usuario.....	75
Figura 85 Librería de tuberías o pipes utilizada de la sección de Graphics.....	75
Figura 86 Sección de “Basic objects” de donde se agregó texto e imágenes	76
Figura 87 Sección de “Elements” de donde se agregó el botón	76
Figura 88 Configuración del botón en el apartado de propiedades	77
Figura 89 Pantalla del HMI configurada	78
Figura 90 Screen de INICIO	79
Figura 91 Sección de propiedades donde se coloca el "Template" a seleccionar.....	79
Figura 92 Configuración de "Events" para el botón de "PORTADA"	80
Figura 93 Acción "SetBit" para el botón MARCHA.....	80
Figura 94 Acción "ResetBit" para el botón MARCHA	80
Figura 95 Acción "SetBit" para el botón PARO.....	81
Figura 96 Acción "ResetBit" para el botón PARO.....	81

Figura 97 Animación que se debe realizar para cada luz piloto con su respectiva variable.....	82
Figura 98 Librería donde se encuentran las válvulas colocadas en el Screen de INICIO	82
Figura 99 Librería utilizada para visualizar las bombas	83
Figura 100 Screen de subproceso de BOMBEO.....	84
Figura 101 Configuración que se realiza para visualizar el nivel.....	84
Figura 102 Configuración que se realiza para acceder a la opción de visibilidad de la figura.....	85
Figura 103 Configuración de la variable bomba cuando sea uno para visibilidad del gráfico en verde de la bomba	85
Figura 104 Configuración de la variable bomba cuando sea cero para visibilidad del gráfico en plomo de la bomba.....	86
Figura 105 Configuración de set point de nivel alto de los tanques	86
Figura 106 Configuración de set point de nivel bajo de los tanques	87
Figura 107 Configuración de botón de PARO independiente del subproceso de bombeo.....	87
Figura 108 Screen de Reactor Biológico	88
Figura 109 Configuración en propiedades de la entrada por pantalla del PID	89
Figura 110 Configuración en propiedades de la salida por pantalla del PID.....	89
Figura 111 Configuración de Bar en nivel y la variable que lo controla.....	90
Figura 112 Configuración de botón de INICIO.....	90
Figura 113 Configuración de botón de PID.....	91
Figura 114 Sreen de la gráfica del PID.....	91
Figura 115 Librería para colocar grafica	92
Figura 116 Configuración de entradas para la gráfica del PID.....	92
Figura 117 Configuración de hipervínculo hacia el Screen del INICIO	92

Figura 118 Configuración de hipervínculo hacia el Screen del REACTOR	93
Figura 119 Screen del Digestor de Lodos y Lecho de Secado	93
Figura 120 Configuración con visibilidad válvula en cero colores plomo	94
Figura 121 Configuración con visibilidad válvula en uno colores verdes	94
Figura 122 Configuración de hipervínculo desde la pantalla del digestor hacia el Screen del INICIO	95
Figura 123 Configuración de botón de PARO independiente del subproceso de digestor.....	95
Figura 124 Configuración con visibilidad válvula en cero colores plomo subproceso del digestor	96
Figura 125 Configuración con visibilidad válvula en uno colores verde subproceso del digestor	96
Figura 126 Screen de Cloración.....	97
Figura 127 Configuración con visibilidad válvula en uno colores plomo subproceso de la cloración.....	97
Figura 128 Configuración con visibilidad válvula en un color verde subproceso de la cloración	98
Figura 129 Configuración de Bar en nivel con su respectiva variable de nivel de hipoclorito de sodio.....	98
Figura 130 Creación de variables en Bloque DB para correcto envío de data	99
Figura 131 Instalación de Node.js	100
Figura 132 Verificación de versión de Node-RED.....	100
Figura 133 Buscando en Google npm.....	101
Figura 134 Node-Red en npm.....	101
Figura 135 Sección Quick Start	102
Figura 136 Ejecución de Node-Red en CMD.....	102

Figura 137 Mensaje que muestra que la instalación fue exitosa.....	103
Figura 138 Ventana emergente de dar accesos a la aplicación.....	103
Figura 139 Ingreso de comando para abrir la página donde se instala Node-RED	104
Figura 140 Mensaje de confirmación de descarga de librería exitosa	105
Figura 141 PuTTY Configuration, configuración de IP	106
Figura 142 Configuración para que este dentro de la misma Red	106
Figura 143 Configuración de Connection.....	107
Figura 144 Configuración en la sección de Variables	107
Figura 145 Configuración de la variable del PLC hacia la nube	108
Figura 146 Sección de Layout	108
Figura 147 Dashboard final con todas las gráficas	109
Figura 148 Diagrama de conexiones de todo el proceso	109
Figura 149 Sección del bloque Main	110
Figura 150 Sección del HMI.....	111
Figura 151 Verificación de comunicación con IOT2040	111
Figura 152 Compilación y carga del programa al PLC	112
Figura 153 Ventana emergente pidiendo inicio de sección	113
Figura 154 Representación de la estructura	113
Figura 155 Screen INCIO funcional	114
Figura 156 Diagrama para seguir el subproceso de bombeo	115
Figura 157 Diagrama para seguir el subproceso de Reactor Biológico.....	116
Figura 158 Diagrama para seguir el subproceso del Clarificador.....	117
Figura 159 Diagrama para seguir el subproceso del Cloración	118

Figura 160 Dashboard de IOT2040 ya funcional	119
Figura 161 Puesta en marcha	120
Figura 162 Pasarela inteligente IOT2040 funcional	121
Figura 163 PLC en run copilado y cargada la información	121
Figura 164 Diagrama de Gannt de actividades para realizar el proyecto (parte 1).....	122
Figura 165 Diagrama de Gannt de actividades para realizar el proyecto (parte 2).....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de bloques OB.....	15
Tabla 2 Bloques de contactos del lenguaje Ladder.....	17
Tabla 3 Variables del PID COMPACT	58
Tabla 4 Presupuesto estimado para el desarrollo del Proyecto de Titulación.....	123

I INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento poblacional y aumento de las actividades a nivel industrial, las plantas de tratamiento de aguas residuales juegan un papel muy importante en la sociedad ya que se encargan de devolver los recursos hídricos de una manera más limpia y amigable con el medio ambiente. También estas plantas contribuyen a la salud pública al prevenir la propagación de enfermedades y la conservación de los recursos naturales mediante la reutilización del agua tratada.

Es por la demanda antes mencionada que las plantas deben contar con un sistema automatizado que tenga tecnología de control y monitoreo actualizados, como lo es la pasarela inteligente IoT2040 de Siemens, que permite la conexión con la nube, el monitoreo remoto en tiempo real y la integración eficiente con sistemas de automatización industrial.

En el ámbito académico, los proyectos relacionados con la automatización de plantas de tratamiento de aguas residuales se limitan a tecnologías antiguas que hoy en día se consideran obsoletas. Esto presenta una desventaja significativa para el estudiante debido a que no contará con una visión más actualizada a la Industria 4.0 y los beneficios que esta puede otorgar tanto en el monitoreo, optimización de recursos y control de procesos.

Por esta razón, este proyecto busca reforzar las competencias de los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana mediante la simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales con una pasarela inteligente IoT2040 de Siemens. Este sistema permitirá observar y controlar subprocesos, ofreciendo variables para prácticas experimentales. Además, fomenta el uso de tecnologías avanzadas en entornos académicos y prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos de la Industria 4.0, contribuyendo al desarrollo sostenible y la optimización de procesos.

II PROBLEMA

A nivel mundial, el proceso de las plantas de tratamiento de aguas residuales tiene un papel muy importante en la conservación de los recursos hídricos y en salvaguarda el medio ambiente. Debido al crecimiento poblacional y al incremento de actividades en el área industrial, este proceso ha tenido un aumento importante en su demanda. Sin embargo, la mayoría de estas plantas cuenta con un control básico y sistemas desactualizados, lo que ocasiona ineficiencia e incluso limita las capacidades de respuesta de la planta. En Ecuador, solo el 26,3% del agua distribuida ingresa a plantas de tratamiento en el país, a pesar de contar con 644 plantas distribuidas en 162 municipios (INEC, 2023).

En la ciudad de Guayaquil, a pesar de que se han hecho avances, la planta de Las Esclusas empezó a operar al 100% en el 2024, favoreciendo a más de un millón de personas ubicadas en el centro y sur de la ciudad de Guayaquil (El Universo, 2024).

También La planta Los Merinos, localizada en el norte de la ciudad, que aún se encuentra en construcción y se proyecta que entre en funcionamiento en 2026 (El Universo, 2024).

En el ámbito académico, existen investigaciones sobre la automatización de procesos en plantas de tratamiento de aguas residuales, y algunas tesis han implementado PLCs y HMI en estos sistemas. Entre las cuales se encuentra la realizada en Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) que se enfoca más que todo en la modernización del sistema de control de aireación y bombeo mediante la implementación de tableros (Palacios Moris & Morillo Gaínza , 2023).

También la realizada en Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) que emplea herramientas de control Codesys, controladores Fieldbus programables y SCADA para su automatización (DSPACE ESPOL, 2024).

Finalmente, la realizada en la Escuela Politécnica Nacional (EPN) que se centró en la implementación de un sistema automatizado con un hardware y software básicos para control y comprobación del proceso de la planta (BIBDIGITAL, 2024).

No obstante, pocas de estas investigaciones y proyectos de tesis han integrado módulos de comunicación IoT, como el IOT2040 de Siemens, que permitirían un acceso remoto y un monitoreo de datos en tiempo real, ampliando así las posibilidades de supervisión y control de los procesos a distancia.

En el repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana en los proyectos realizados en los años 2013 “Automatización del proceso de tratamiento de aguas residuales en TECNOVA S.A.” y 2015 “Reingeniería del sistema de control de la planta de tratamiento de aguas residuales en Cartopel S.A.I.”, no se han encontrado proyectos de tesis que aborden la automatización del proceso de tratamiento de aguas residuales con tecnologías actuales y el uso del módulo IOT2040 de Siemens (DSPACE UPS, 2024).

III OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Simular el proceso de tratamiento de aguas residuales usando PLC, HMI y pasarela inteligente IOT2040 de SIEMENS.

3.2 Objetivos específicos

- Programar el proceso del tratamiento de aguas residuales mediante PLC y HMI.
- Diseñar una interfaz para monitorear el proceso de tratamiento de aguas residuales mediante HMI.
- Diseñar un Dashboard para mostrar la información adquirida por la pasarela IOT2040 de Siemens en un módulo del Laboratorio de Automatización Industrial II.

IV FUNDAMENTO TEÓRICO

4.1 Pretratamiento

El pretratamiento es la primera fase de un Sistema de Depuración de Aguas Residuales Domesticas (SDARD) donde los sólidos no biodegradables son eliminados. Este proceso es de crucial importancia debido a que podría perjudicar a los equipos y su funcionamiento continuo. Este proceso prepara el agua para las siguientes etapas del tratamiento, tal como se ilustra en la Figura 1 (Jorge, 2020).

Figura 1

Diagrama de proceso de pretratamiento



Nota. Gráfico representa el proceso de pretratamiento de aguas residuales. Tomado de (Septar, 2022).

4.1.1 Rejillas para solidos

El propósito principal de las rejillas para solidos es impedir el ingreso de solidos grandes ingrese al sistema de alcantarillado o a la planta de tratamiento. Básicamente, todos los sólidos quedan retenidos en la cámara de rejillas de acero inoxidable. Comúnmente, el espacio entre las barras de la rejilla varía entre 15 a 45 mm según el tipo de limpieza (Tilley, TECNOLOGIA DEL PRETRATAMIENTO, 2018).

4.1.2 Cárcamo de bombeo

Se utilizan para bombear aguas residuales hasta el filtro estático parabólico el cual está ubicado al ingreso del sedimentor primario. Esta cámara posee una bomba eléctrica sumergible para el manejo de agua negra. Funciona automáticamente en un régimen de apagado y encendido de acuerdo con el nivel alto o bajo, respectivamente (Zarate, 2013).

4.2 Tratamiento primario

Esta etapa se caracteriza por remover todos los posibles sedimentos de los materiales, usando tratamiento físico y fisicoquímico. En algunos casos, para realizar la sedimentación más rápida y eficaz se deja por un tiempo las aguas residuales en grandes tanques con sustancias químicas “quelantes” (ACUATECNICA, 2020).

4.2.1 Filtro estático parabólico

Es un equipo de tratamiento de agua, diseñado para filtrar los sólidos antes de que ingresen al SDARD, protegiendo los equipos aguas abajo. Este equipo es fabricado en acero inoxidable o FRP, funciona como tamiz gravitacional (SPA, 2022).

4.2.2 Sedimentor primario

Facilita la sedimentación de partículas en aguas residuales, generando reducciones en las turbulencias y en la velocidad de la corriente. Aunque su funcionamiento es similar a un desarenador, está diseñado para remover partículas más finas. Su función principal es eliminar sólidos suspendidos y materia orgánica, reduciendo así entre un 50 – 70 % de sólidos y un 20 – 40 % de la demanda bioquímica del oxígeno (DBO) antes del tratamiento biológico como se puede observar en la figura 2.

Figura 2

Sedimentor Santa fe de la Laguna



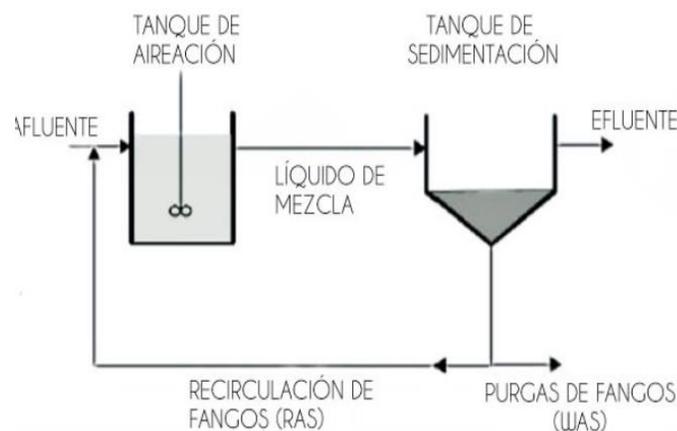
Nota. La figura representa el proceso de sedimentación (Tilley, SSWM - SEDIMENTOR, 2018).

4.3 Sistema de Lodo Activado

El sistema de lodo activado es un proceso aeróbico que se utiliza para depurar todos los microorganismos de origen natural que se encuentra en el afluente contaminado comúnmente utilizado en el tratamiento de aguas residuales, ver figura 3. En este proceso se utiliza microorganismo como bacterias, algas, hongos, protozoos y nematodo para que se reduzcan al mínimo el tamaño de los materiales orgánicos y convertirlos en forma inorgánica (Ingeniería, 2020).

Figura 3

Proceso de lodo activado



Nota. La gráfica representa el proceso de lodo activado que empieza con la aireación (Valdivielso, 2024).

4.3.1 Reactor biológico

Es el primer paso en el proceso biológico mediante el cual el agua residual entra en contacto con los lodos activados mediante agitación, generando que los microorganismos comiencen a descomponer la materia orgánica. Para lograr que las bacterias se activen se inyecta oxígeno por medio de equipos de aireación tales como sopladores con difusores, sistemas mecánicos o inyectoros de oxígeno puro (Ingeniería, 2020).

4.3.2 Tanque Sedimentor secundario

El sedimentador secundario es un tanque que se utiliza en el tratamiento de aguas residuales, especialmente en el proceso de lodos activados. Su función principal es separar los flóculos formados por microorganismos en la cámara de aireación del efluente tratado. En este tanque, el lodo se asienta en el fondo debido a su mayor densidad, mientras que el agua clarificada se encuentra en la parte superior. Es fundamental para obtener un efluente depurado y cumplir con las normativas ambientales. (Bioingepro, 2022).

4.3.3 Sistema de retorno del lodo

Se utiliza para recircular los sólidos biológicos desde el Sedimentor hasta el reactor biológico (Valdivielso, 2024).

4.3.3 Descarga del afluente

El agua tratada efluente de la planta se descarga con sus parámetros dentro de la normativa de regulaciones de parámetros y luego de ser desinfectada con Hipoclorito de Sodio directamente al sistema de aguas lluvias. El cloro residual no será mayor a 1 ppm y la dosificación se realiza por una bomba dosificadora de electrónica con la finalidad de garantizar una concentración de 2 ppm (Ministerio del Ambiente, 2017).

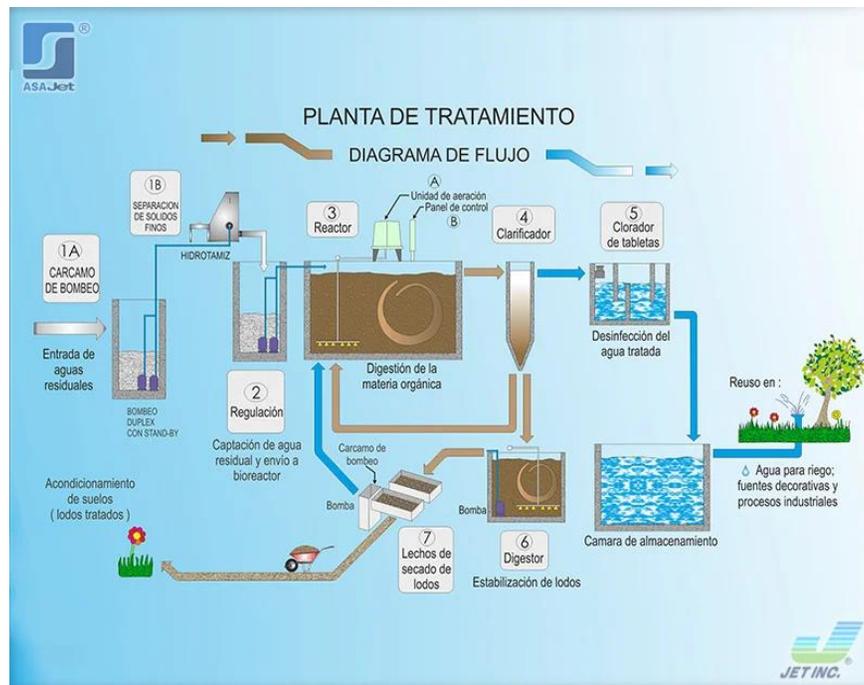
A continuación, se presenta el orden en el cual trabaja una planta de tratamiento de aguas residuales descritas en la figura 4:

Resumen del Proceso

- Entrada y pretratamiento: Separación de sólidos y regulación del flujo.
- Tratamiento biológico: Uso de aireación y microorganismos en el reactor.
- Clarificación y desinfección: Eliminación de sólidos suspendidos y desinfección con cloro.
- Manejo de lodos: Estabilización y secado para su reutilización.
- Reutilización del agua: El agua limpia se emplea en diversas aplicaciones sostenibles.

Figura 4

Diagrama de flujo del proceso de una planta de tratamiento de aguas residuales



Nota. La gráfica representa un diagrama general del proceso de tratamiento de aguas residuales (Instituto del Agua, 2024).

4.4 Software

4.4.1 TIA Portal

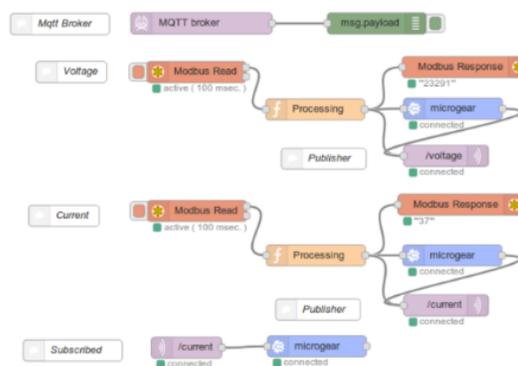
TIA Portal es la plataforma de automatización de Siemens que integra soluciones completas para optimizar la ingeniería y fabricación de maquinaria. Diseñada para facilitar la programación de autómatas (PLCs) y otros dispositivos como pantallas HMI, variadores de velocidad y servos, TIA Portal agrupa todas estas herramientas en un solo software, eliminando la necesidad de usar programas separados para cada dispositivo (InfoPLC, 2023).

4.4.2 Node-RED

Node-RED es una herramienta de desarrollo de código abierto basada en frameworks visuales clave para la gestión y transformación de datos en tiempo real en soluciones de IoT e Industria 4.0. Node-RED le permite vincular bloques predefinidos llamados nodos para realizar tareas específicas. Estos nodos se combinan en flujos, permitiendo la integración de protocolos estándar como MQTT, REST, Modbus y API de terceros como Microsoft Azure, Amazon Web Services, Twitter y Facebook, entre otros, figura 5 (PickData, 2020).

Figura 5

Entorno de Node-RED



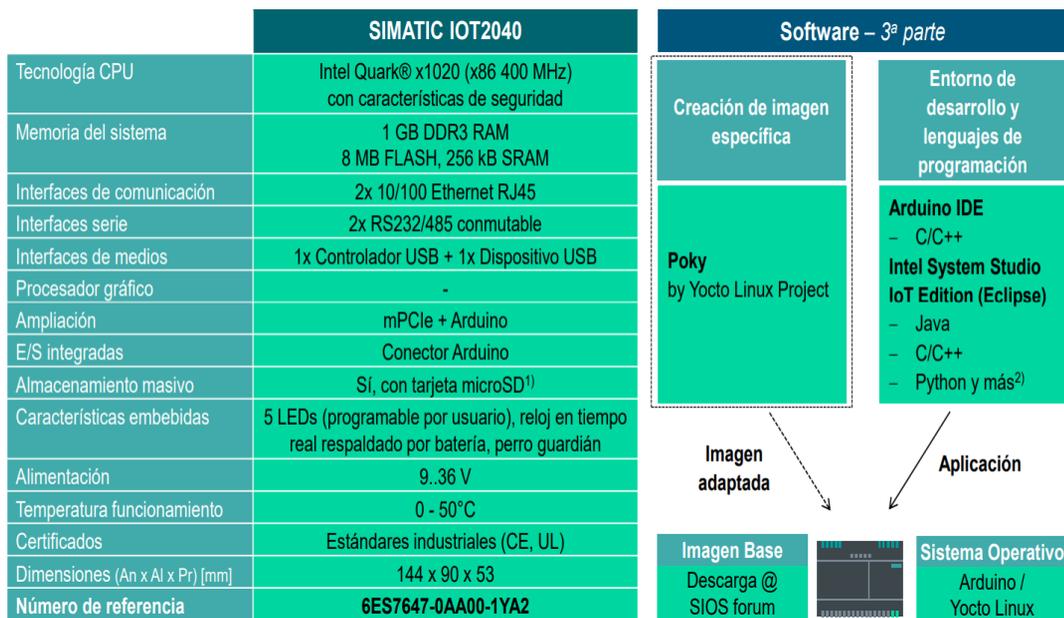
Nota. Entorno de programación previa para la comunicación con IOT2040 (PickData, 2020).

4.4.3 Pasarela inteligente IOT 2040 de Siemens

SIMATIC IOT2040 es un Gateway inteligente que facilita la comunicación entre fuentes de datos, asegurando la precisión y el análisis de la información antes de enviarla a los destinatarios correspondientes. Es una solución fácil de usar, ideal para conectar y administrar dispositivos en aplicaciones industriales, como se puede observar en la figura 6 (Siemens, Rendimiento, apertura, capacidad de expansión- SIMATIC IOT2040, 2024).

Figura 6

Especificaciones técnicas



Nota. La figura representa las especificaciones técnicas del módulo IOT2040 de Siemens (Siemens W., 2021).

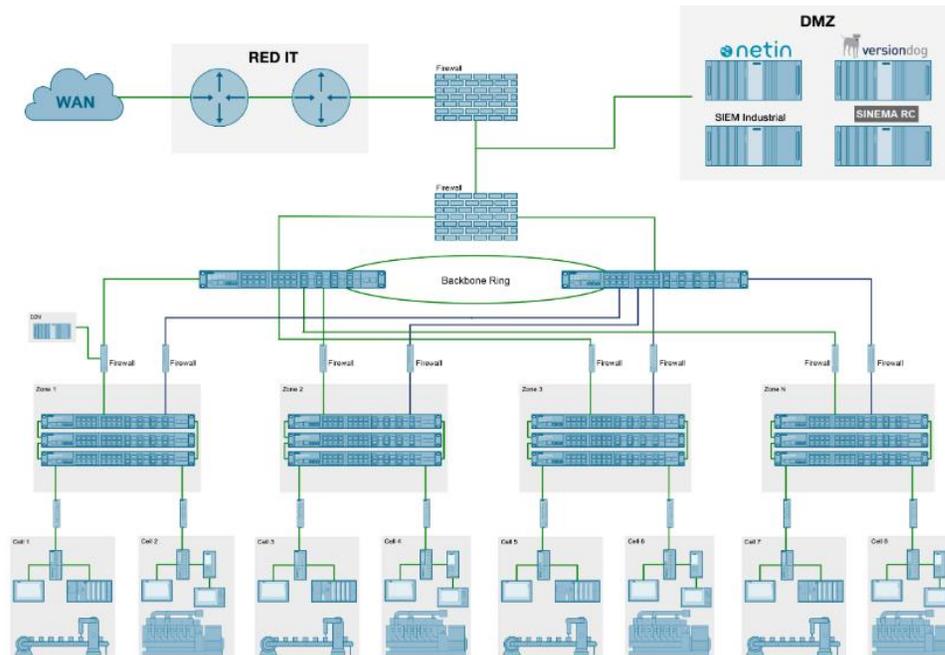
4.4.4 Protocolo de comunicación Profinet

PROFINET es un estándar abierto de Ethernet Industrial utilizado en redes de automatización, basado en TCP/IP y diseñado para proporcionar comunicación en tiempo real en entornos industriales. Este protocolo permite la conexión eficiente de dispositivos y sistemas, mejorando la escalabilidad y el acceso a dispositivos de campo, además de

facilitar tareas de mantenimiento remoto. PROFINET incluye varios servicios de comunicación, como Standard TCP/IP, Real Time (RT) y Isochronous Real Time (IRT), que se adaptan a diferentes necesidades de rendimiento, desde funciones no deterministas hasta aplicaciones de control de movimiento de alta precisión. Gracias a su estructura, PROFINET también soporta perfiles como ProfiSafe y ProfiEnergy, que permiten aplicaciones de seguridad y eficiencia energética en la red industrial (INCIBE, 2017). A continuación, se presenta en la figura 8 un esquema de comunicación industrial implementado con Profinet, figura 7.

Figura 7

Esquema de comunicación industrial implementado con Profinet



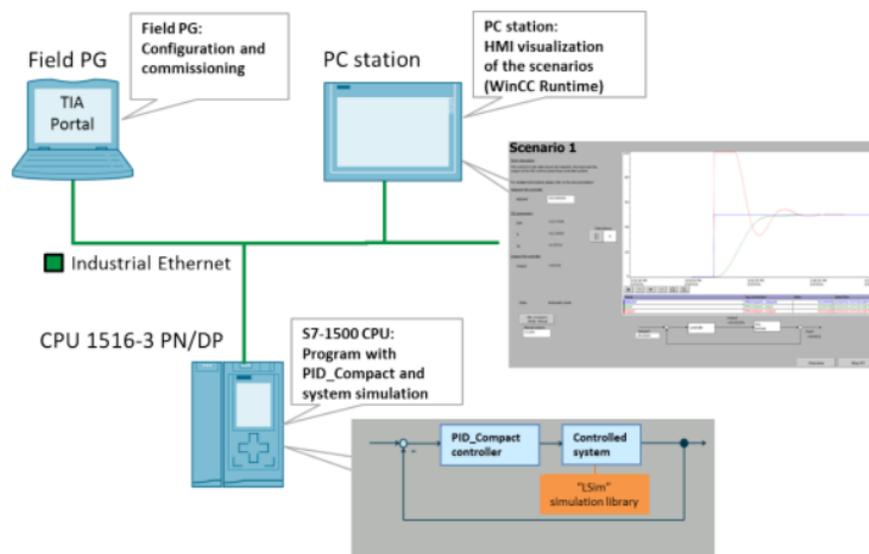
Nota. La figura representa el funcionamiento de la conexión de comunicación industrial mediante el protocolo Profinet (Lorenzo, 2023).

4.4.5 Librería Lsim de Siemens

La librería LSim es una herramienta de simulación utilizada en los controladores SIMATIC S7-1200 y S7-1500 para simular sistemas controlados dentro de procesos tecnológicos. Esta librería permite la creación de procesos simulados que sirven como sistemas controlados, permitiendo probar y ajustar los lazos de control sin necesidad de contar con un sistema físico. LSim se utiliza en conjunto con el bloque "PID_Compact" que funciona como el regulador principal para controlar las variables de los procesos simulados. En una configuración típica, se emplea una estación PC para visualizar el comportamiento del lazo de control y una PG para la configuración y ajuste del sistema. Gracias a LSim, es posible simular la influencia de variables técnicas en los sistemas controlados, facilitando la puesta en servicio de sistemas de control de manera eficiente antes de su implementación real, figura 8 (Simenes, 2017).

Figura 8

Simulación de un proceso usando LSim



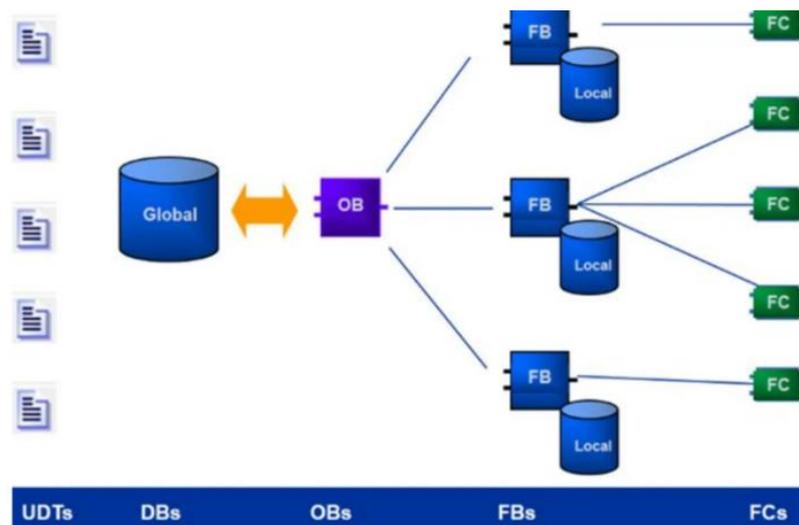
Nota. La gráfica representa el uso de la librería LSim para la simulación de procesos (Simenes, 2017).

4.4.6 Tipos de bloques en TIA Portal

En TIA Portal, al programar, se disponen de diferentes tipos de bloques que facilitan la organización del programa. Estos bloques pueden contar con datos locales específicos o utilizar variables globales, lo que permite una mayor flexibilidad y eficiencia en el desarrollo y gestión del programa, a continuación, se presenta en la figura 9 diagrama de boques de TIA Portal, figura 9.

Figura 9

Estructura de bloques en TIA Portal



Nota. La gráfica representa los diferentes bloques y su comunicación, los cuales ayudan a organizar el proceso programado (Sarcos, 2024).

4.4.6.1 Bloque de organización OB

Los bloques de organización (OB) en TIA Portal son esenciales para la interacción entre el sistema operativo y el programa de usuario. Son invocados por el sistema operativo y gestionan diversos procesos, como el comportamiento al arrancar el sistema de automatización, la ejecución cíclica del programa, el control del programa mediante alarmas y el manejo de errores (Siemens, 2020), a continuación, se presenta en la tabla 1 los tipos de bloques y características de cada uno.

Tabla 1

Tipos de bloques OB

Bloques de Organización (OB)
Tipos de OB



Tipo de OB	S7-1200	S7-1500	Ventaja
Cíclicos y de startup	100	100	Modularización del programa de usuario
Hardware interrupt	50	50	Posibilidad de separar cada OB por evento.
Time delay interrupt	4	20	Creación de interrupciones con tiempo de espera.
Cyclic interrupt		20	Permite usar herramientas que dependen de intervalos de tiempo exactos, p.ej. PID.
Time of day	x	20	Creación de instrucciones dependientes a una hora específica del día.

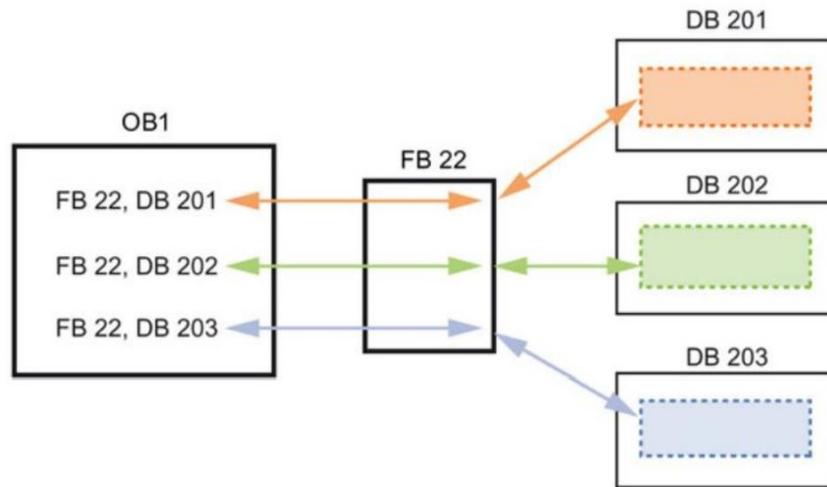
Nota. La tabla representa los tipos de bloques OB y sus ventajas más relevantes (Siemens, 2020).

4.4.6.2 Bloque de organización FB

El bloque FB (Function Block) en TIA Portal es una subrutina que permite ejecutar una secuencia de operaciones y almacenar sus datos en un bloque DB de instancia asociado. A diferencia del bloque FC, que no almacena datos, el FB guarda los resultados de sus operaciones de forma estática, lo que permite que los datos se mantengan disponibles en futuras ejecuciones del bloque, incluso después de que termine su ciclo. Esto lo hace ideal para procesos que requieren conservar información entre ejecuciones, como estados de una máquina o un proceso industrial (DAKROX, 2020), a continuación, se presenta en la figura 10 el diagrama de funcionamiento del bloque FB.

Figura 10

Diagrama de funcionamiento



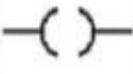
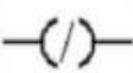
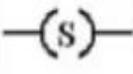
Nota. La figura representa el diagrama de funcionamiento del bloque FB en el software TIA Portal (TecnoPLC).

4.4.7 Lenguaje Ladder

El lenguaje Ladder, también conocido como diagrama de contactos, es una herramienta gráfica de programación que simula el diseño de circuitos eléctricos mediante símbolos visuales, formando sentencias lógicas a través de contactos eléctricos conectados en distintos segmentos. Este lenguaje surgió en las décadas de los 60 y 70 debido a que los técnicos de la época estaban familiarizados con la lógica de contactos. Con el tiempo, Ladder se ha vuelto el lenguaje más utilizado en la programación de PLCs, ya que resulta intuitivo y fácil de entender para quienes trabajan en automatización industrial. Es ampliamente recomendado aprender este lenguaje si planeas trabajar con PLCs, ya que es fundamental en la mayoría de los entornos industriales de programación (SATOSHI, 2020), a continuación, se detalla en la tabla 2 los principales diagramas de contactos del lenguaje Ladder.

Tabla 2

Bloques de contactos del lenguaje Ladder

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema.
	Contacto NC	Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización.
	Bobina NA	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna.
	Bobina NC	Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA.
	Bobina SET	Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación.

Nota. La tabla representa los diferentes tipos de contactos que se utilizan en el lenguaje Ladder para llevar a cabo la programación (Steven, 2019).

4.5 Hardware

4.5.1 PLC S7 - 1500 de Siemens

El controlador programable Siemens S7-1500 es una solución avanzada y versátil en automatización industrial, diseñada para ofrecer alto rendimiento, seguridad integrada y flexibilidad. Equipado con procesadores de alta velocidad como el S7-1500 CPU 1513-1 PN a 1,2 GHz, este controlador puede manejar aplicaciones complejas y exigentes. Además, las capacidades de diagnóstico y mantenimiento predictivo mejoran la confiabilidad y reducen el tiempo de inactividad. El S7-1500 cuenta con una excelente conectividad, es compatible con protocolos como PROFINET y PROFIBUS y ofrece

integración con la nube, lo que le permite aprovechar la Industria 4.0. La programación eficiente a través del software TIA Portal facilita la puesta en marcha del proyecto, mientras que la expansión del módulo y la extensión de la vida útil garantizan una solución escalable y duradera para una amplia gama de aplicaciones industriales, figura 11 (RelePro, 2024).

Figura 11

Simatic S7 1500



Nota. La figura representa el modelo de PLC Siemens S7-1500 y sus módulos (QBProfe, 2023).

4.5.2 HMI (Interfaz Humano Máquina KTP700 BASIC)

La HMI (Interfaz Humano-Máquina) es una herramienta que facilita la interacción entre los operarios y los sistemas de control en entornos industriales. Estas interfaces combinan hardware y software para que los usuarios puedan monitorear y controlar maquinaria y procesos automatizados. Las pantallas HMI pueden variar desde paneles simples hasta dispositivos avanzados como pantallas táctiles, paneles de control multitáctiles o dispositivos móviles. Su función principal es optimizar la productividad, aumentar el tiempo de funcionamiento y asegurar una calidad constante en la producción. Así, las HMIs desempeñan un papel fundamental en la automatización y eficiencia de las líneas de producción industrial, figura 12 (Sicma21, 2021).

Figura 12

HMI KTP700 Basic



Nota. La figura representa el HMI de Siemens, específicamente el modelo KTP700 Basic (Siemens, 2022).

V MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de este proyecto se utilizarán las siguientes metodologías: documental, descriptiva experimental, y exploratoria. Las metodologías escogidas ayudarán a tener una visión más completa que permitirá dar una óptima solución a la problemática planteado. La metodología documental se utilizará para la recolección de la información necesaria acerca del funcionamiento del proceso que tienen las plantas de tratamiento de aguas residuales, sus etapas, características más importantes e incluso el uso de IoT.

El código del PLC, el diseño del HMI y el diseño del dashboard se basarán en una metodología descriptiva, con el propósito de proporcionar a cada actividad un enfoque que abarque todo de una manera más detallada y entendible, esto permitirá identificar las variables, etapas y parámetros que afecten la productividad del proceso.

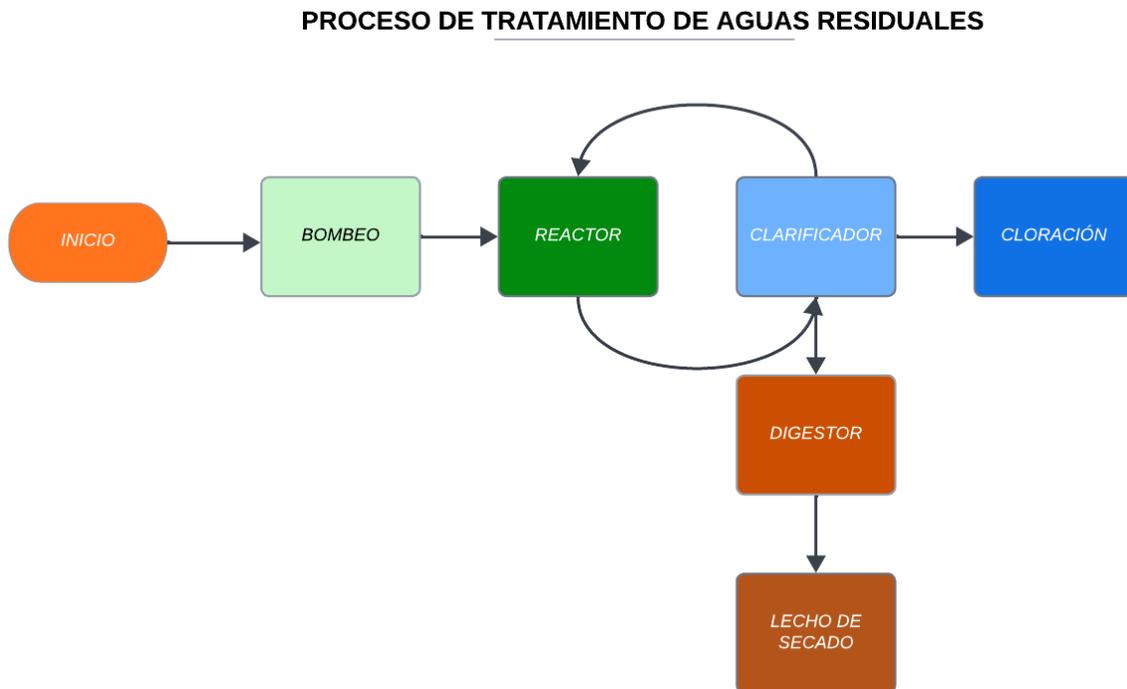
Las pruebas del funcionamiento del proceso serán experimentales, facilitando la mejora de la programación, el diseño y la interconexión, esto garantiza que todo funcione correctamente; es decir, permitirá comprobar y mejorar continuamente hasta obtener un proyecto funcional que cumpla con lo propuesto.

Finalmente, la identificación y comprensión del funcionamiento de la pasarela IOT2040 de Siemens, será de carácter exploratorio, en la aplicación de monitoreo para el proceso de tratamiento de aguas residuales, la figura 14 presenta el diagrama de flujo del proceso del proceso de la PTAR.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo que ilustra el orden seguido en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Este inicia con el bombeo, seguido por el reactor, luego el clarificador, del cual se derivan dos subprocesos: el digestor y el lecho de secado. Finalmente, el proceso concluye con la etapa de cloración, figura 13.

Figura 13

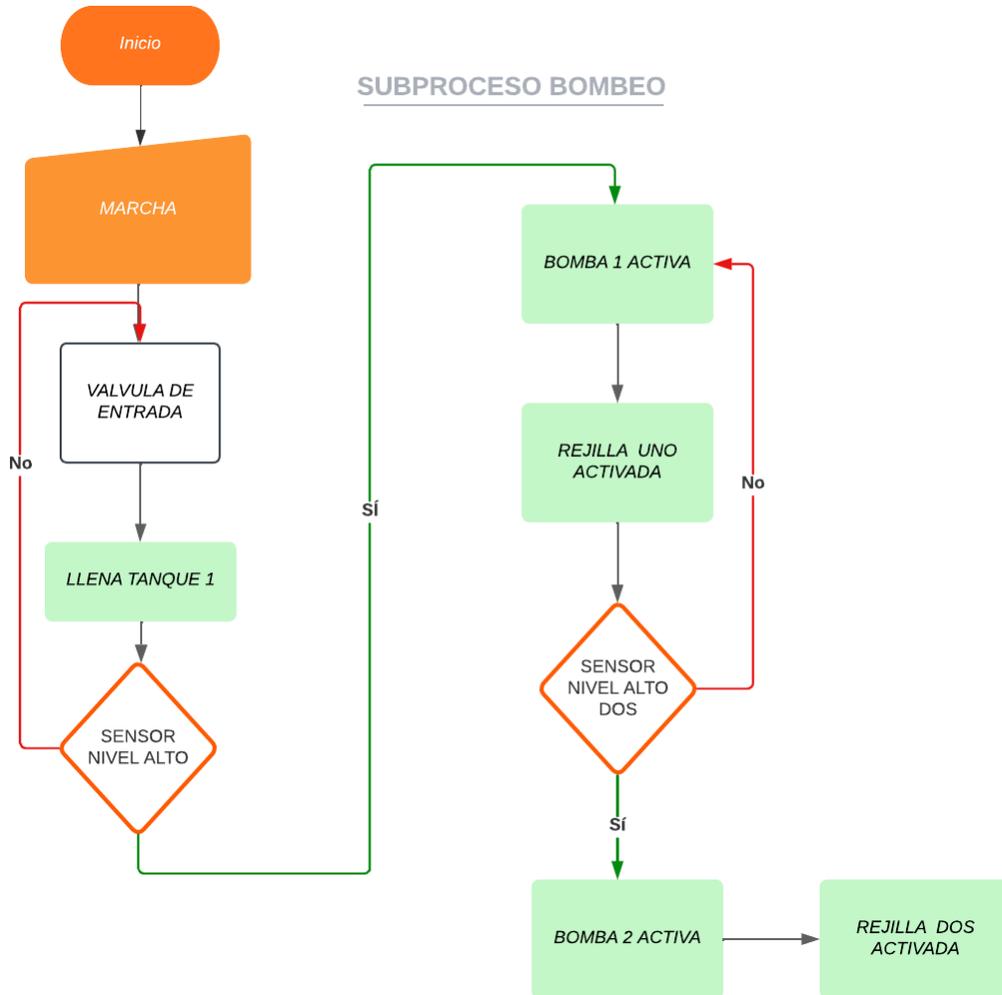
Diagrama de flujo del proceso de tratamiento de aguas residuales



El subproceso de bombeo es la primera etapa en el tratamiento de agua, donde se utilizan bombas para mover el agua a través del sistema. Sensores monitorean el flujo y las condiciones operativas, mientras que las válvulas controlan la distribución del agua. Las rejillas se encargan de filtrar residuos grandes, protegiendo los equipos y asegurando un flujo adecuado hacia las siguientes etapas del proceso. A continuación, se presenta el diagrama de los subprocesos de la PTAR por medio del proceso de lodos activados, figura 14.

Figura 14

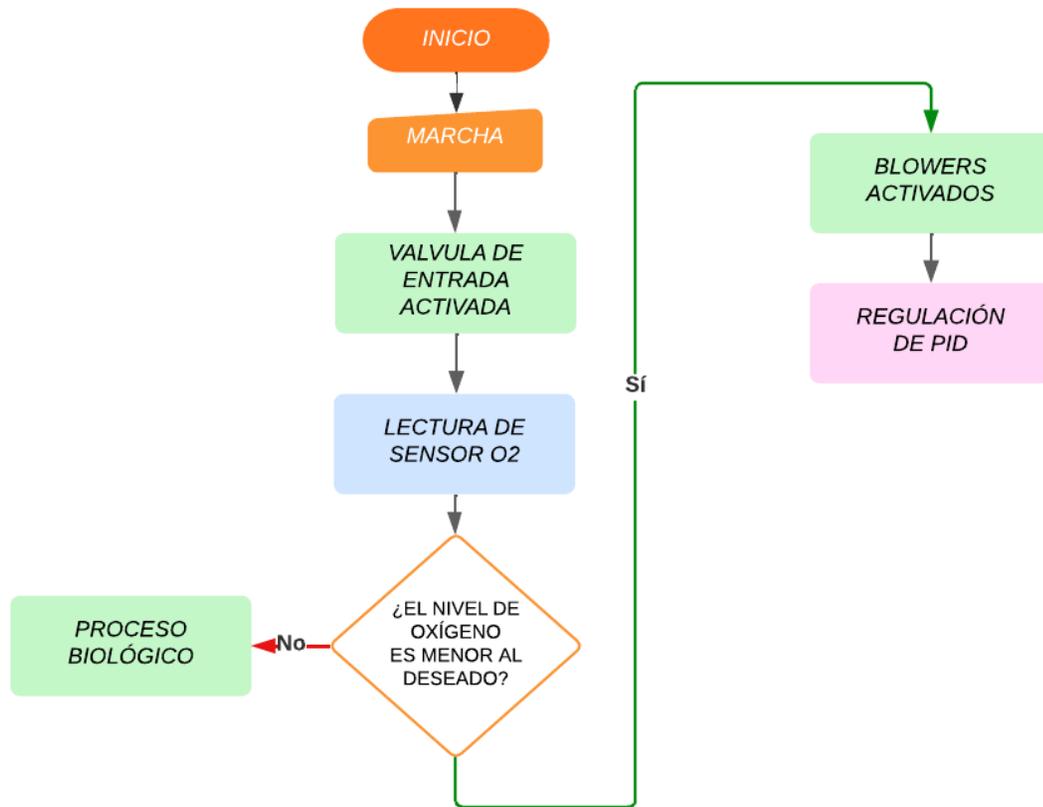
Diagrama de flujo primer subproceso de Bombeo



El siguiente diagrama de flujo del proceso de reactor biológico. En este proceso se encuentra una válvula de entrada que permite el ingreso del agua a tratar, llenando el tanque. A partir de esto, se utiliza un PID que debe ser ajustado según la demanda existente de oxígeno. Además, hay una entrada proveniente del sensor de oxígeno simulada por la librería LSim, la cual, junto con el ajuste del PID, permite alcanzar el nivel de oxígeno requerido para controlar los blowers, figura 15.

Figura 15

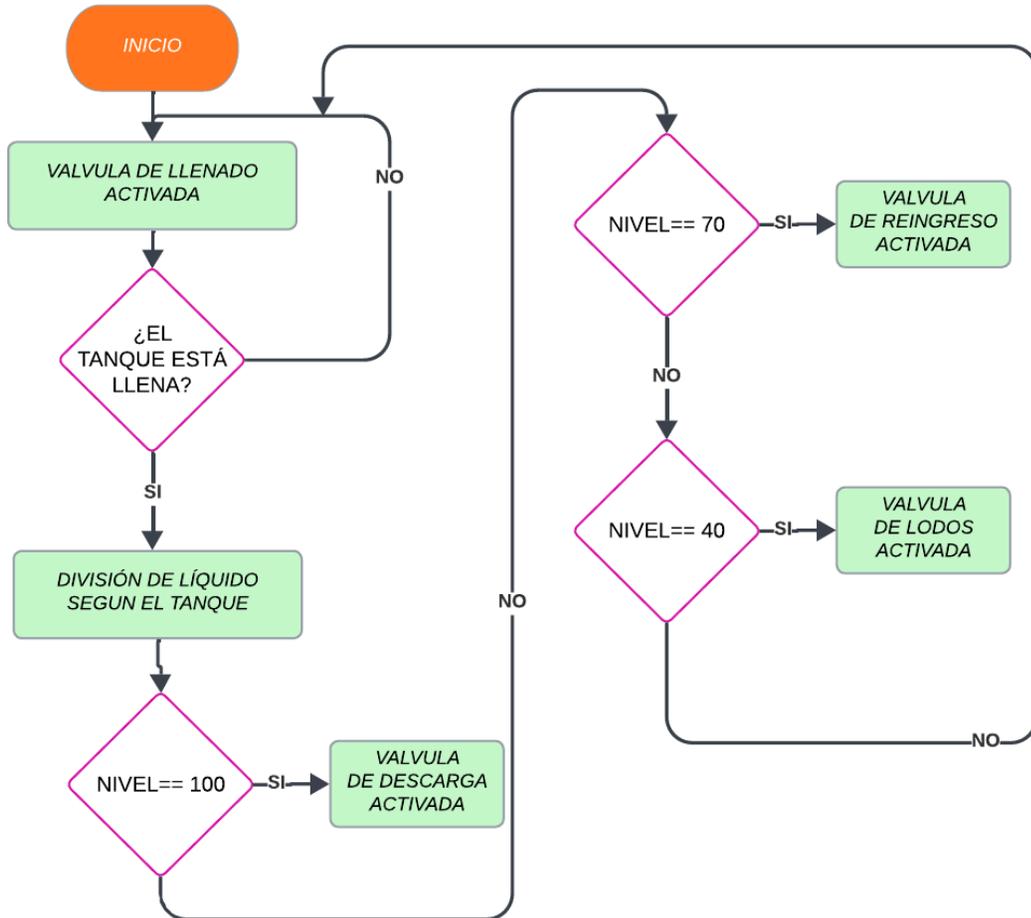
Diagrama de flujo de subproceso de Reactor Biológico



En el siguiente diagrama de flujo se muestra cómo se desarrollará el subproceso de clarificación, el cual tiene la función de dividir el líquido general en tres diferentes válvulas que ingresan a distintas etapas de procesamiento. Esto dependerá del nivel en el que se encuentre el líquido, figura 16.

Figura 16

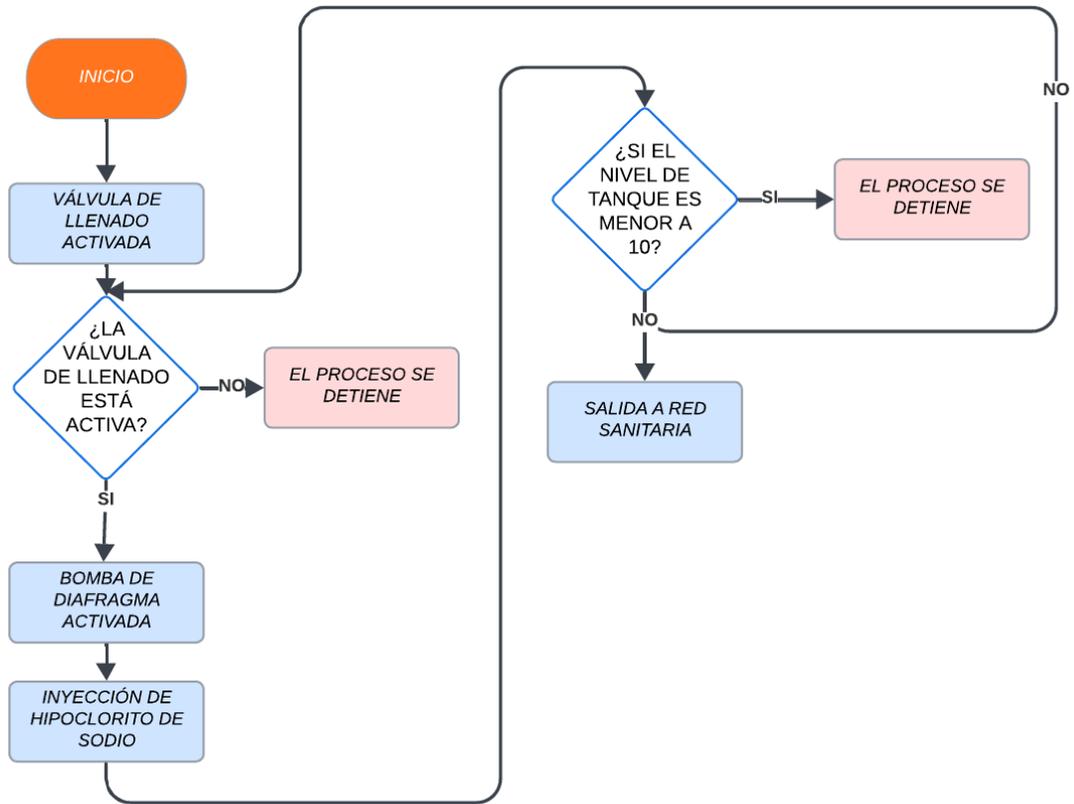
Diagrama de flujo de subproceso de Clarificación



En el siguiente diagrama de flujo se muestra la secuencia de pasos que debe seguir el subproceso de cloración. Primero, se activa la válvula de ingreso del caudal. Con el agua ya tratada, se inyecta hipoclorito de sodio mediante una bomba de diafragma, la cual añade cloro al agua. Posteriormente, esta mezcla ocurre en la piscina, donde el hipoclorito de sodio realiza su efecto, y finalmente el agua es enviada a la red sanitaria, figura 17.

Figura 17

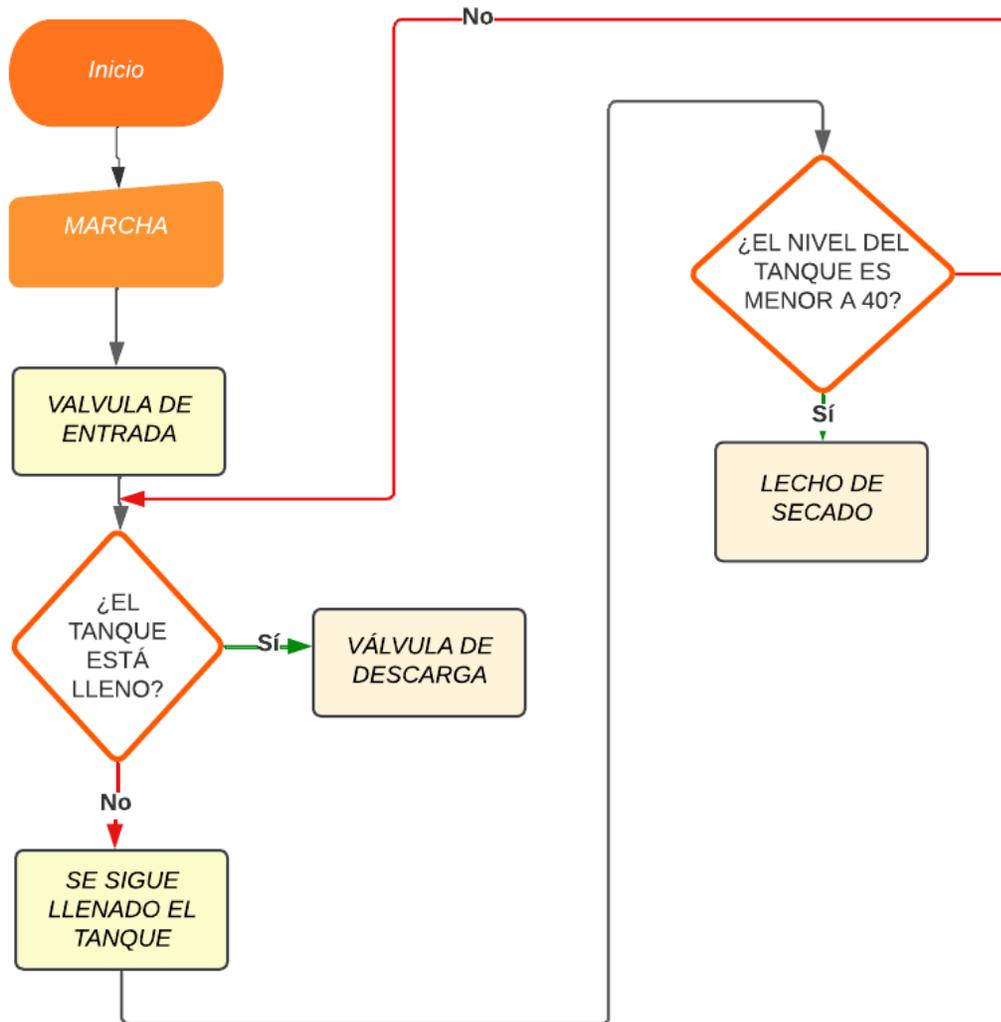
Diagrama de flujo de subproceso de Cloración



El siguiente diagrama de flujo representa el subproceso del digestor de lodos y el lecho de secado, el cual opera mediante una válvula de entrada que recibe el agua proveniente del clarificador. Este proceso se encarga de filtrar el líquido más espeso, es decir, separa el exceso de lodo, que posteriormente es enviado al lecho de secado, figura 18.

Figura 18

Diagrama de flujo de subproceso de Digestor de Lodos y Lecho de Secado



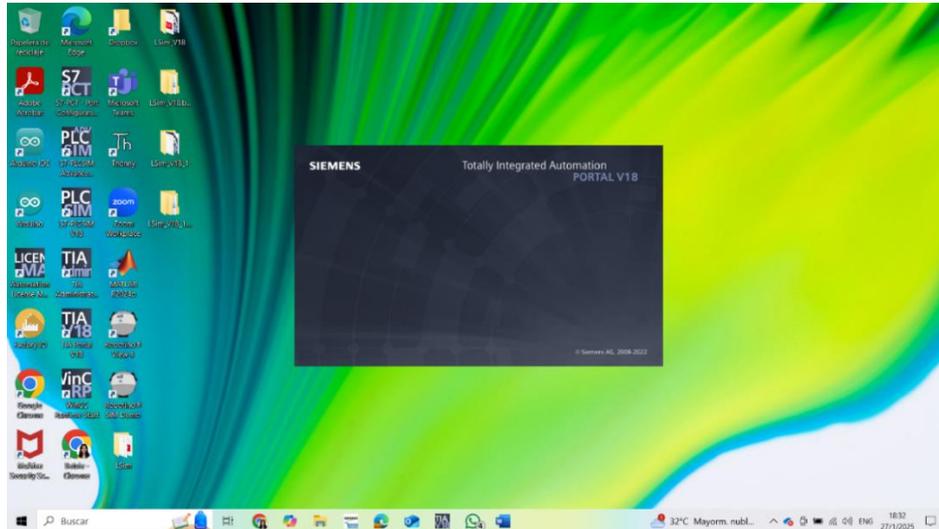
5.1 Creación del proyecto en el software de TIA Portal

El desarrollo de un programa en TIA Portal para un PLC S7-1500 implica seguir una serie de pasos. A continuación, se detalla el procedimiento:

1. Iniciar TIA Portal: Se procede a abrir el software en la computadora, así como se puede apreciar en la figura 19.

Figura 19

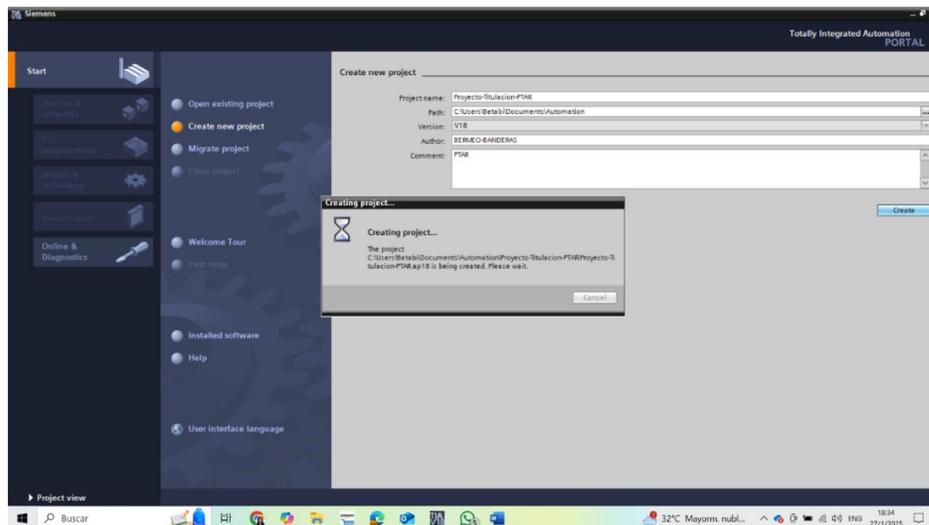
Imagen con TIA Portal iniciando



2. Creación de un Nuevo Proyecto: En la pantalla principal, se encontrará un botón que dice "Crear nuevo proyecto". Al hacer clic en este botón para iniciar la creación de un nuevo proyecto, se abrirá una ventana donde se deberá ingresar el nombre del proyecto, tal como se muestra en la figura 20.

Figura 20

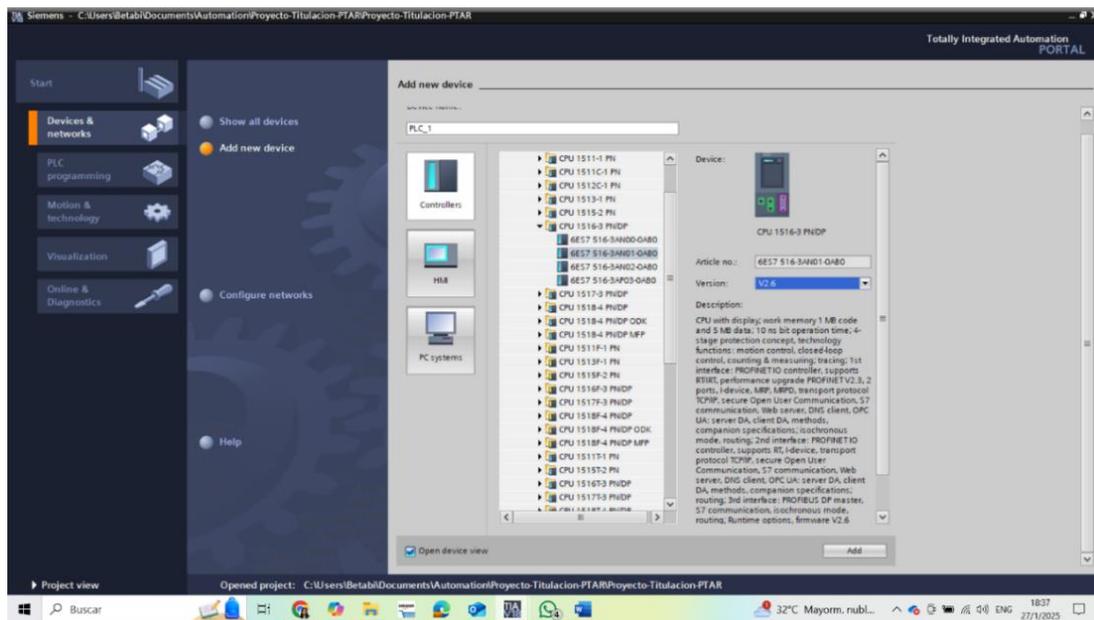
Imagen que muestra cómo crear un nuevo proyecto en TIA Portal



3. Seleccionar el Dispositivo: Una vez creado el proyecto, el siguiente paso es elegir el tipo de controlador que se utilizará en este caso se utilizó, para control, el PLC S7-1500 y para la visualización del proceso el HMI KTP700 Basic, junto con el modelo y la versión correspondientes, según se muestran en la figura 21.

Figura 21

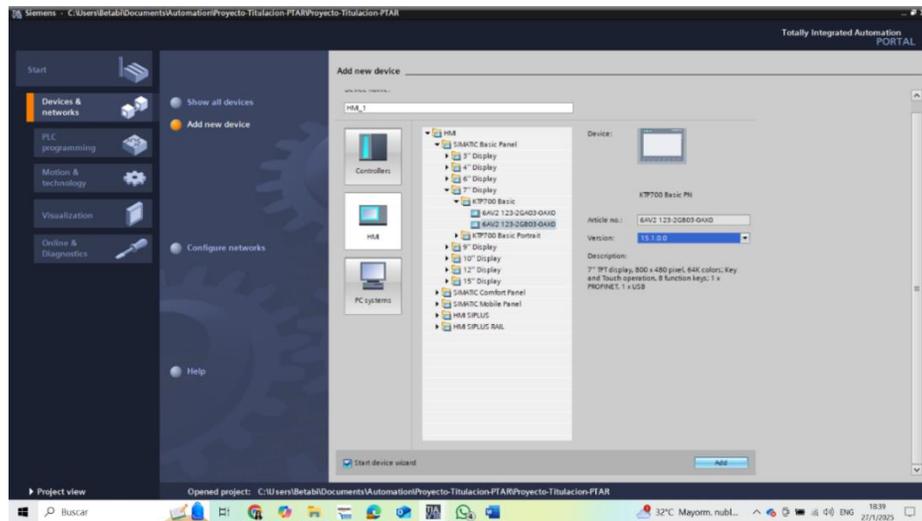
Imagen donde se añade el PLC según las características del CPU como la versión y el modelo



A continuación, se procede a seleccionar el HMI KTP700 Basic y versión 15.1.0.0 para realizar la visualización del proceso, figura 22.

Figura 22

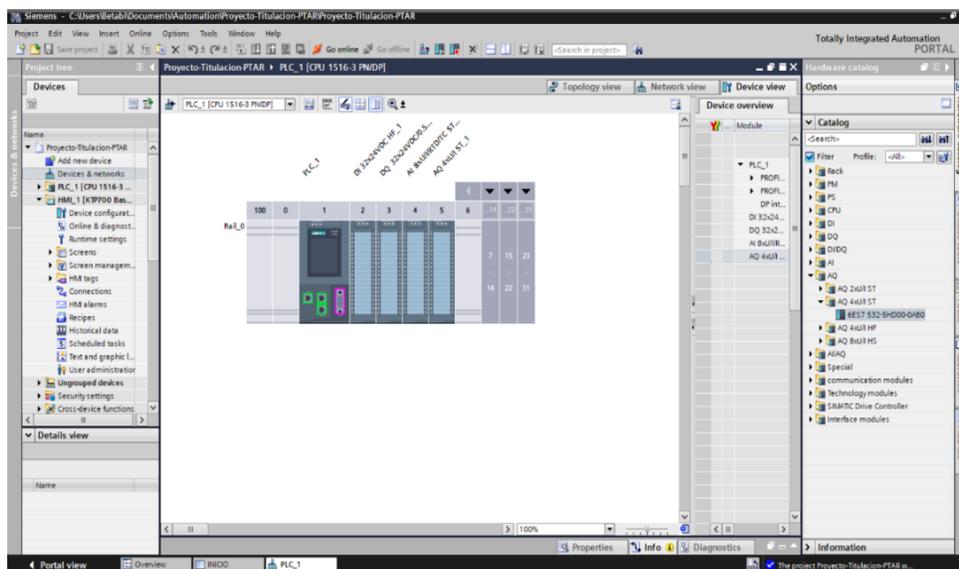
Imagen donde se añade el HMI según la versión y el modelo requeridos



Después de haber escogido el modelo del CPU del PLC, se procede a escoger los módulos de entrada y salidas debido a que el PLC-S71500 es un modelo de PLC modular. A continuación, se presenta una imagen con los módulos de entradas y salidas tanto digitales como analógicas que se agregó como se puede observar en la figura 23.

Figura 23

Características de los módulos de entradas y salidas digitales para PLC modular S71500

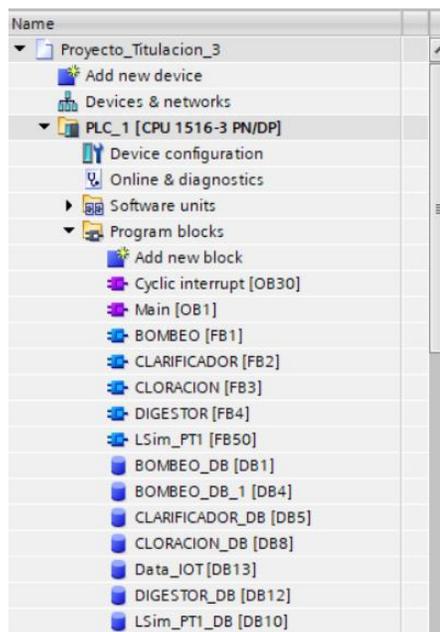


5.2 Creación de cada bloque de programación del PLC en TIA Portal

A continuación, se desarrolló la programación en lenguaje de programación KOP, utilizada específicamente para este proyecto de titulación. Esta sección incluye todos los bloques del programa como: Bloques FB, Cyclic interrupt, Main y LSim, así como los Bloques DB donde se encuentran los datos. Cada uno de estos bloques se encarga de controlar un subproceso específico de manera independiente tal como se muestra en la siguiente figura 24.

Figura 24

Ventana del TIA Portal donde se muestra los bloques en la sección de “Program blocks”



Main [OB1]: Encargado de reunir todos los bloques y controlar todos los subprocesos.

Bloques FB [FB]: Encargados del funcionamiento independiente de cada subproceso.

Cyclic interrupt [OB30]: Encargado del PID.

LSim [FB]: Encargado de la librería que se conecta con el PID para un correcto funcionamiento.

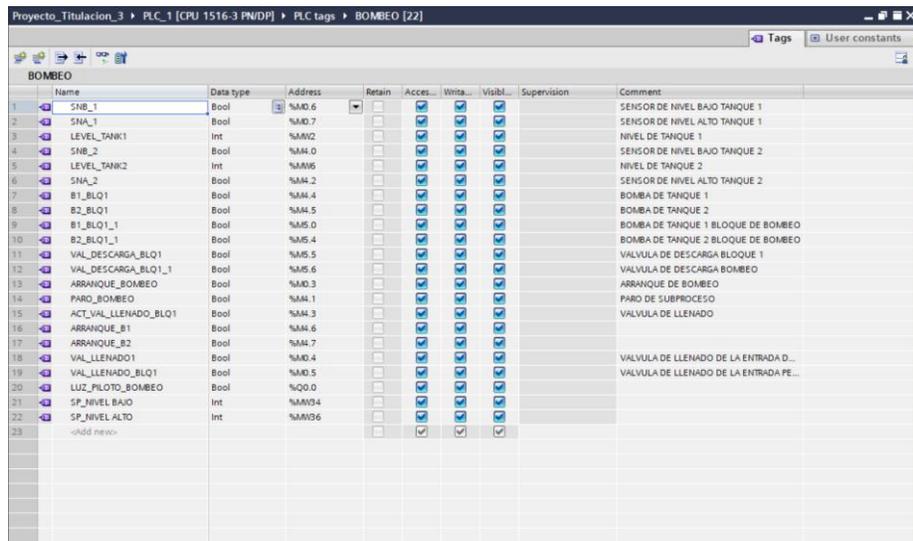
Bloques [DB]: Encargados de contener los datos de cada bloque de programación y los datos del IoT.

5.3 Programación KOP del subproceso de Bombeo

En esta sección se presenta la programación en lenguaje KOP que se desarrolló para control del subproceso de bombeo de dos tanques que contenían cada uno una bomba sumergible. Estas bombas operan según el nivel alto y bajo seteado por el usuario, llenando o vaciando los tanques. Como primer paso, se definieron las variables que intervienen en el proceso, figura 25, donde se presenta las respectivas variables.

Figura 25

Variables de entradas y salidas del bloque FB del subproceso de Bombeo

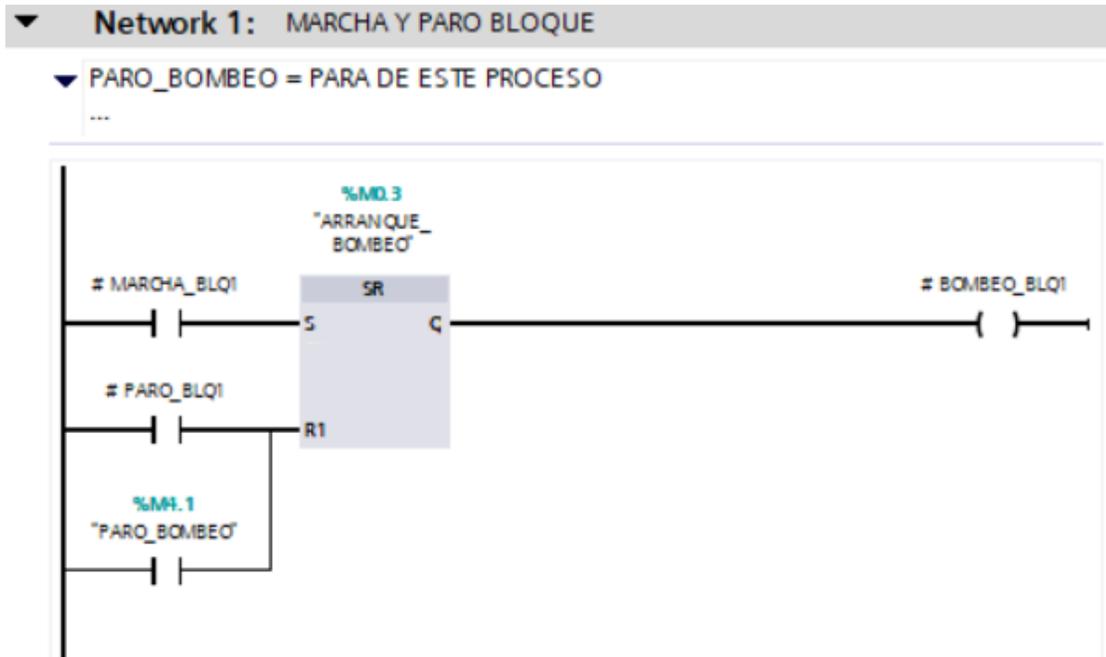


Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervision	Comment
1	SNB_1	Bool	%M0.6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		SENSOR DE NIVEL BAJO TANQUE 1
2	SNA_1	Bool	%M0.7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		SENSOR DE NIVEL ALTO TANQUE 1
3	LEVEL_TANQ1	Int	%MW2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		NIVEL DE TANQUE 1
4	SNB_2	Bool	%M4.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		SENSOR DE NIVEL BAJO TANQUE 2
5	LEVEL_TANQ2	Int	%MW6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		NIVEL DE TANQUE 2
6	SNA_2	Bool	%M4.2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		SENSOR DE NIVEL ALTO TANQUE 2
7	B1_BLO1	Bool	%M4.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		BOMBA DE TANQUE 1
8	B2_BLO1	Bool	%M4.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		BOMBA DE TANQUE 2
9	B1_BLO1_1	Bool	%M5.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		BOMBA DE TANQUE 1 BLOQUE DE BOMBEO
10	B2_BLO1_1	Bool	%M5.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		BOMBA DE TANQUE 2 BLOQUE DE BOMBEO
11	VAL_DESCARGA_BLO1	Bool	%M5.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		VALVULA DE DESCARGA BLOQUE 1
12	VAL_DESCARGA_BLO1_1	Bool	%M5.6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		VALVULA DE DESCARGA BOMBEO
13	ARRANQUE_BOMBEO	Bool	%M0.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		ARRANQUE DE BOMBEO
14	PARO_BOMBEO	Bool	%M4.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		PARO DE SUBPROCESO
15	ACT_VAL_LLENADO_BLO1	Bool	%M4.3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		VALVULA DE LLENADO
16	ARRANQUE_B1	Bool	%M4.6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
17	ARRANQUE_B2	Bool	%M4.7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
18	VAL_LLENADO1	Bool	%M0.4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		VALVULA DE LLENADO DE LA ENTRADA D...
19	VAL_LLENADO_BLO1	Bool	%M0.5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		VALVULA DE LLENADO DE LA ENTRADA PE...
20	LUZ_PILOTO_BOMBEO	Bool	%Q0.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
21	SP_NIVEL BAJO	Int	%MW4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
22	SP_NIVEL ALTO	Int	%MW6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
23	->ADD nuevo	Int	%MW6	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

Después de declarar las variables, se procedió a desarrollar la lógica de control utilizando el contador “CTUD” y comparadores. Estos componentes permiten gestionar el control en función de los niveles establecidos para los puntos alto y bajo del tanque. Para ello, se emplearon bloques “SR” junto con la lógica de contactos, logrando implementar el control del proceso de bombeo. A continuación, se presentan la figura 26 que ilustra el desarrollo del proceso.

Figura 26

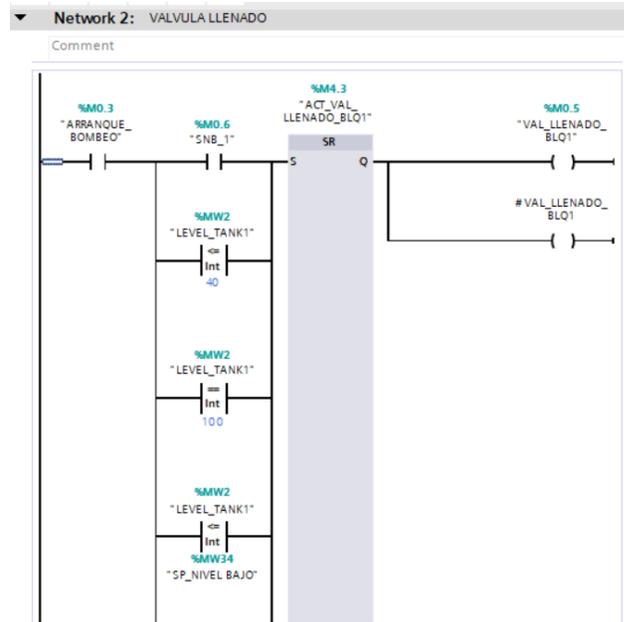
Programación de marcha y paro del bombeo colocando un botón de paro general y uno individual para el proceso de bombeo



Se realiza la programación en lenguaje KOP (diagrama de contactos) utilizando los bloques SR para el control de la 'Válvula de Llenado'. Los bloques SR, que corresponden a un tipo de flip-flop, permiten gestionar de manera eficiente el encendido y apagado de la válvula, activándola cuando se cumplen las condiciones de llenado y desactivándola cuando se alcanza el nivel deseado. Esta programación asegura un control preciso del proceso de llenado, optimizando el funcionamiento de la válvula y garantizando su operación en función de los requisitos del sistema. A continuación, se presenta la figura 27 en el que se implementó la válvula de llenado con un bloque SR.

Figura 27

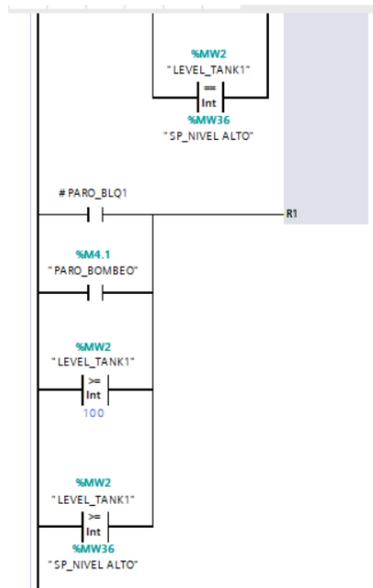
Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de "VALVULA DE LLENADO"- Parte 1



En la figura 28 se observa que, al activarse el reset del bloque SR, sus entradas corresponden a los botones de paro y a los niveles del tanque iguales a 100 o al valor configurado para apagar la válvula de llenado.

Figura 28

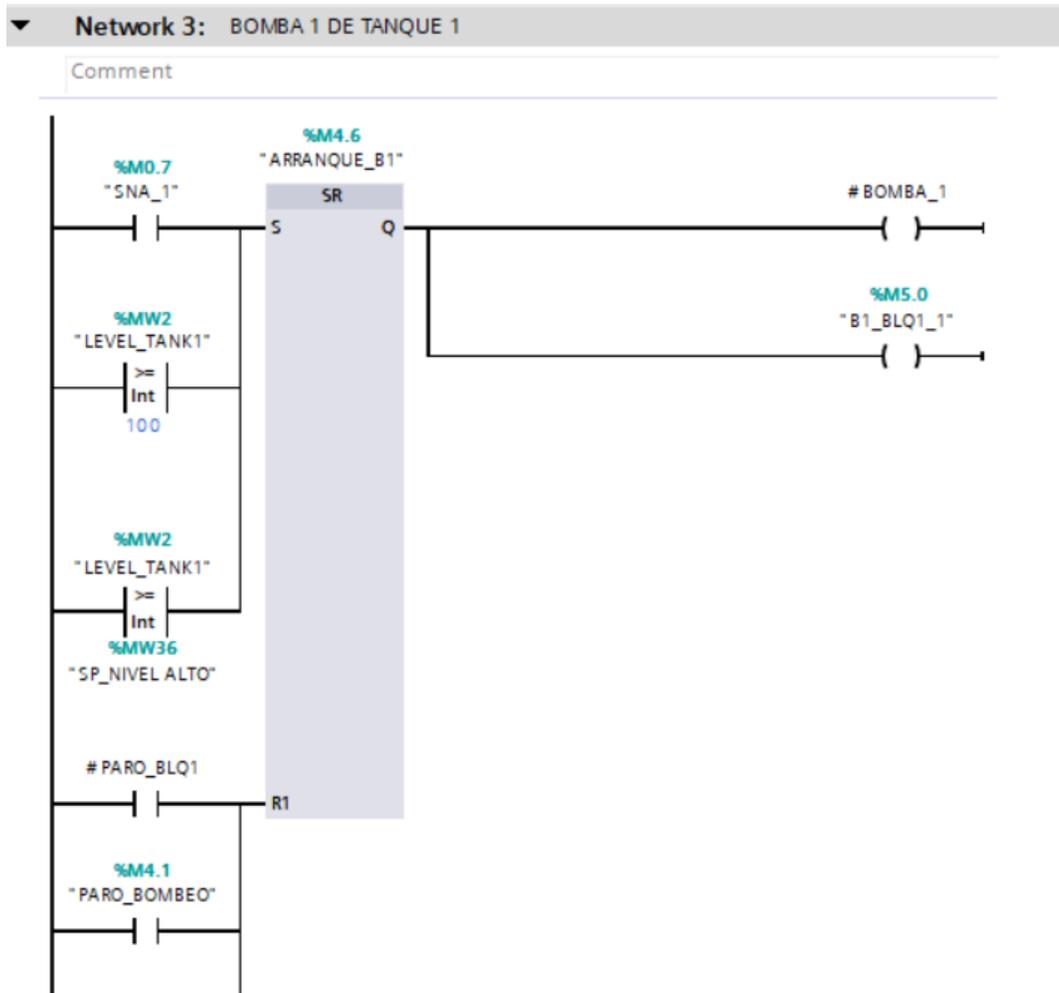
Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de "VALVULA DE LLENADO"-Parte 2



Se utilizan los bloques SR para controlar la operación de la 'Bomba 1' en el proceso de llenado del 'Tanque 1'. Los bloques SR permiten gestionar el encendido y apagado de la bomba de manera automática, asegurando que la bomba se active cuando las condiciones de operación lo requieran, como cuando el nivel del tanque es bajo, y se apague cuando el nivel alcanza el umbral deseado. Esta lógica de control garantiza un funcionamiento eficiente y seguro de la bomba, evitando el sobrellenado y optimizando el proceso de bombeo hacia el tanque. A continuación, se presenta la figura 29 de la programación implementada."

Figura 29

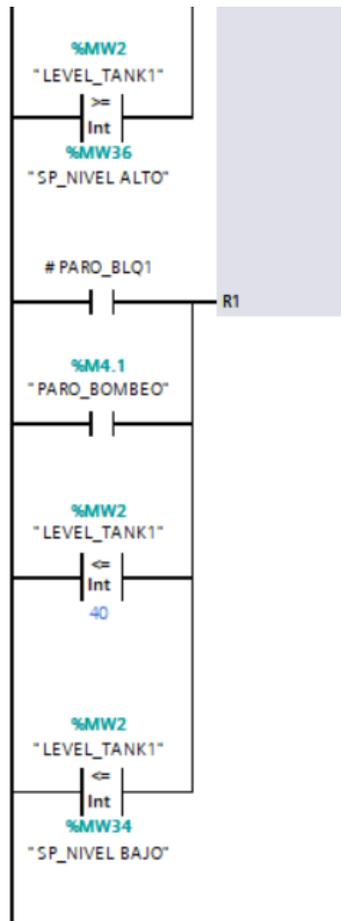
Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de "BOMBA 1- TANQUE 1"- Parte 1



A continuación, se presenta la programación para realizar el reset de la activación de la bomba 1 del tanque 1. Se utilizó un comparador configurado con la condición de que el nivel sea menor o igual a 40, o al nivel bajo configurado previamente, como se muestra en la figura 30.

Figura 30

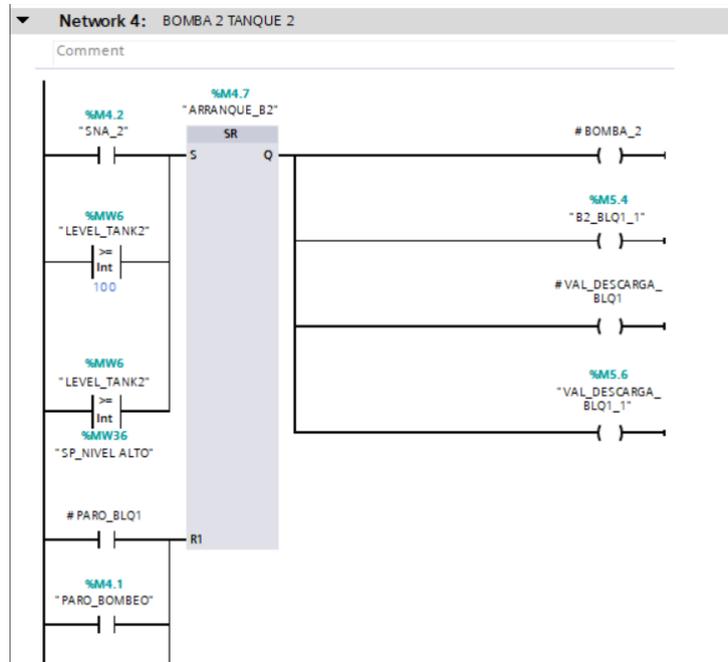
Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de "BOMBA 1- TANQUE 1"- Parte 2



Se utilizan los bloques SR para controlar la operación de la 'Bomba 2' en el proceso de llenado del 'Tanque 2'. Los bloques SR gestionan el encendido y apagado de la bomba de manera automática, activándose cuando el nivel del tanque es bajo y desactivándose al alcanzar el nivel deseado. Este control asegura que la bomba funcione de manera eficiente, garantizando un llenado adecuado del tanque sin riesgo de sobrellenado o vaciado excesivo, figura 31.

Figura 31

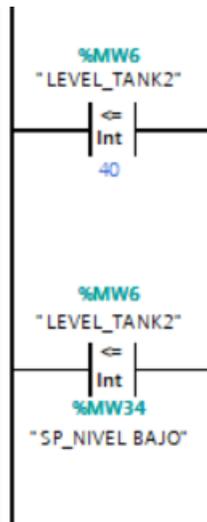
Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de "BOMBA 2- TANQUE 2"- Parte 1



A continuación, en la figura 32, se detalla la configuración implementada para el reset del bloque SR. En este caso, incluye la variable límite ingresada desde el tanque y la configurada por el usuario administrador.

Figura 32

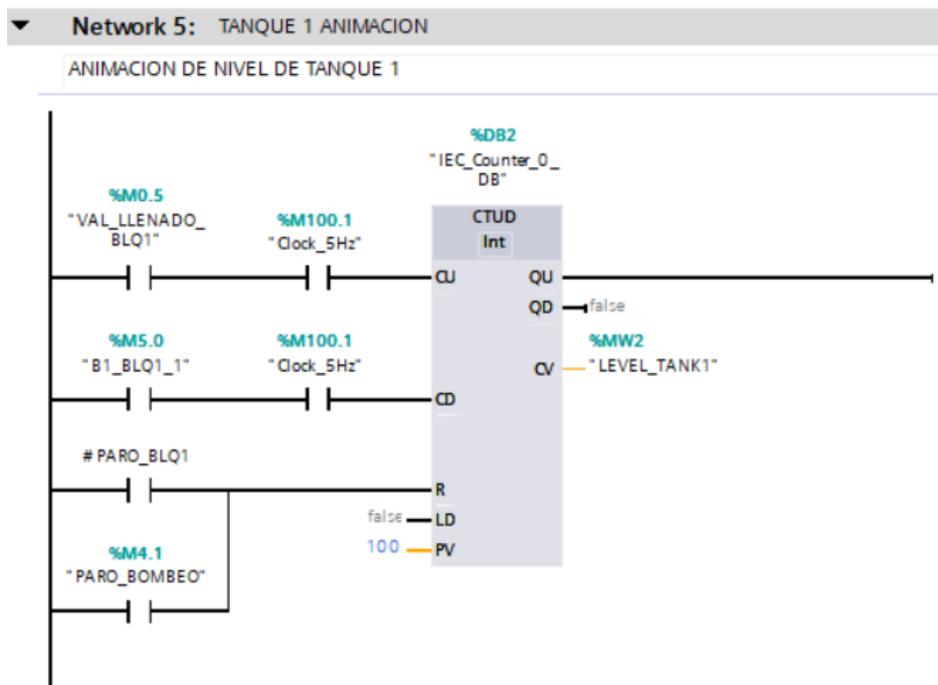
Programación en lenguaje KOP con los bloques SR de "BOMBA 2- TANQUE 2"- Parte 2



Se utiliza un contador CTUD para controlar la animación del nivel del 'Tanque 1'. Este contador permite contar los impulsos generados por el proceso de llenado o vaciado del tanque. La programación con el CTUD asegura que el nivel del tanque se incremente o disminuya según el flujo de agua, activando la animación del nivel en función de los valores del contador. Este sistema proporciona una representación visual precisa del nivel del tanque, lo que facilita el monitoreo y control del proceso, tal como lo muestra la figura 33.

Figura 33

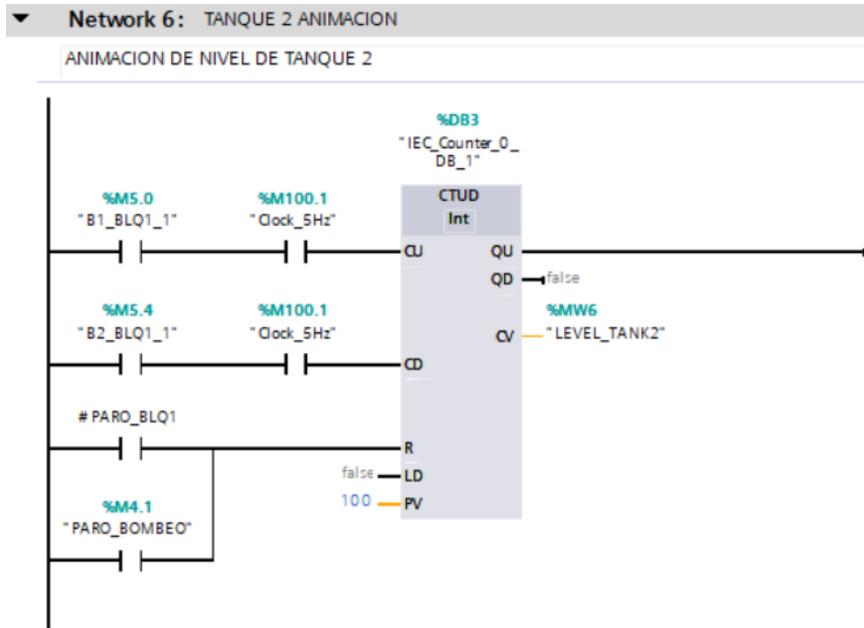
Programación en lenguaje KOP con contador CTUD de "TANQUE 1" para animación de nivel



Se utiliza un contador CTUD para controlar la animación del nivel del 'Tanque 2'. Este contador permite contar los impulsos generados por el proceso de llenado o vaciado del tanque. La programación con el CTUD asegura que el nivel del tanque se incremente o disminuya según el flujo de agua, activando la animación del nivel en función de los valores del contador. Este sistema proporciona una representación visual precisa del nivel del tanque, lo que facilita el monitoreo y control del proceso, figura 34.

Figura 34

Programación en lenguaje KOP con contador CTUD de "TANQUE 2" para animación de nivel



5.4 Programación KOP de subproceso de Clarificador

En este segmento se presenta la programación en lenguaje KOP del subproceso de clarificación, donde se realiza la división del líquido que será enviado a la etapa de cloración, el que será recirculado, y el que será dirigido a los lodos activados. Para ello, se emplearon diferentes variables del proceso, las cuales se detallan en la figura 35.

Figura 35

Variables de entrada y salidas analógicas y digitales del subproceso de Clarificación

CLARIFICADOR								
	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervision
1	ARRANQUE_BLQ2	Bool	%M5.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	PARO_CLARIFICADOR	Bool	%M5.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	VAL_LLENADO_BLQ2_2	Bool	%M5.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	ACT_VAL_LLENADO_BLQ2	Bool	%M5.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	VAL_LLENADO_BLQ2	Bool	%M8.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	VAL_DESCARGA_BLQ2	Bool	%M8.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	VAL_LODO_BLQ2	Bool	%M8.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	LEVEL_CLARIFICADOR	Int	%MW10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	ACT_VAL_LODO_BLQ2	Bool	%M8.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	SNA_3	Bool	%M8.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	SNB_3	Bool	%M8.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	VAL_DESCARGA_BLQ2_2	Bool	%M9.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	VAL_LODO_BLQ2_2	Bool	%M8.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	VAL_REINGRESO_BLQ2	Bool	%M8.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	VAL_REINGRESO_BLQ2_2	Bool	%M9.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	ACTV_VAL_DISCHARGE_BLQ2	Bool	%M9.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	ACT_VAL_REINGRESO_BLQ2	Bool	%M9.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	LUZ_PILOTO_CLARIFICADOR	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Las variables del bloque FB del subproceso de clarificación incluyen parámetros que controlan los flujos de líquido hacia las etapas de cloración, recirculación y lodos activados. Estas variables gestionan el proceso de separación y activan los actuadores, como válvulas y bombas. Estas variables son generadas solo en el bloque FB y pasan hacer variables locales las cuales luego se reflejarán en el “MAIN” en un bloque con el nombre del proceso, tal como lo muestra en la figura 36.

Figura 36

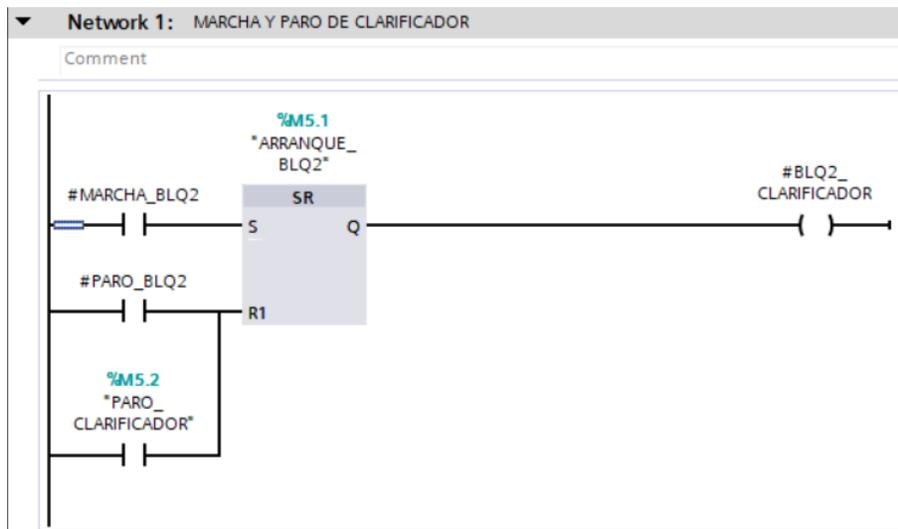
Variables locales del bloque FB del subproceso del clarificador

CLARIFICADOR								
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint
1	Input				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	MARCHA_BLQ2	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	PARO_BLQ2	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Output				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	VAL_LLENADO_BLQ2	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	VAL_DESCARGA_BLQ2	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	VAL_LODO_BLQ2	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	VAL_RE_ENTRY_BLQ2	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	BLQ2_CLARIFICADOR	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	InOut				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	<Add new>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	<Add new>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Temp				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	<Add new>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	Constant				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

La programación de los bloques SR para el arranque y paro del subproceso controla el inicio y la detención de este. Al recibir la señal de arranque, el bloque activa el proceso, permitiendo gestionar los flujos y operar los equipos involucrados. Por otro lado, al recibir la señal de paro, el bloque detiene el proceso de forma segura, figura 37.

Figura 37

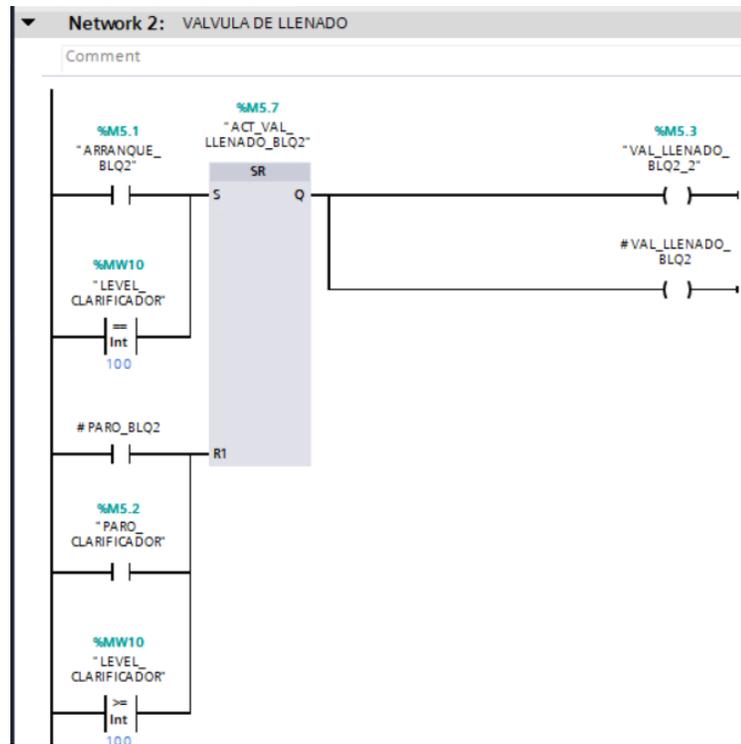
Programación de los bloques SR para la activación del marcha y paro del subproceso de clarificación



La programación de la activación de la válvula de llenado mediante bloques SR se realiza utilizando una señal de "set" para abrir la válvula y una de "reset" para cerrarla. Al activarse la señal de llenado, el bloque SR establece el bit de "set", lo que abre la válvula y permite el flujo de líquido hacia el tanque clarificador. Por otro lado, al recibirse la señal de "reset", el bloque SR desactiva el bit, cerrando la válvula y deteniendo el llenado, tal como muestra la figura 38.

Figura 38

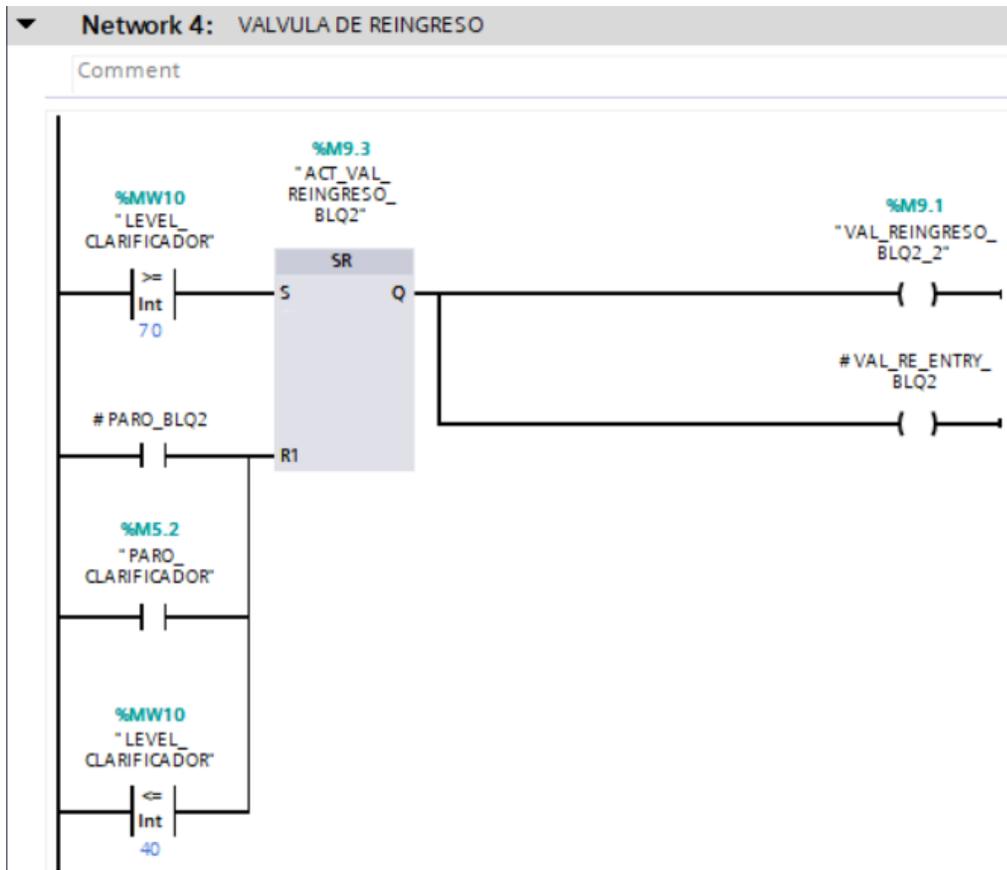
Programación para la activación de la válvula de llenado con bloques SR



La programación para la activación de la válvula de reingreso al tanque del reactor también se realizará mediante un bloque SR, el cual se activará ("set") cuando el nivel del tanque del clarificador sea mayor o igual a 70, y se desactivará ("reset") cuando el nivel sea menor o igual a 40, correspondiente al nivel de activación de la válvula de lodo, a continuación, se presenta la figura 39 detallando lo antes mencionado.

Figura 39

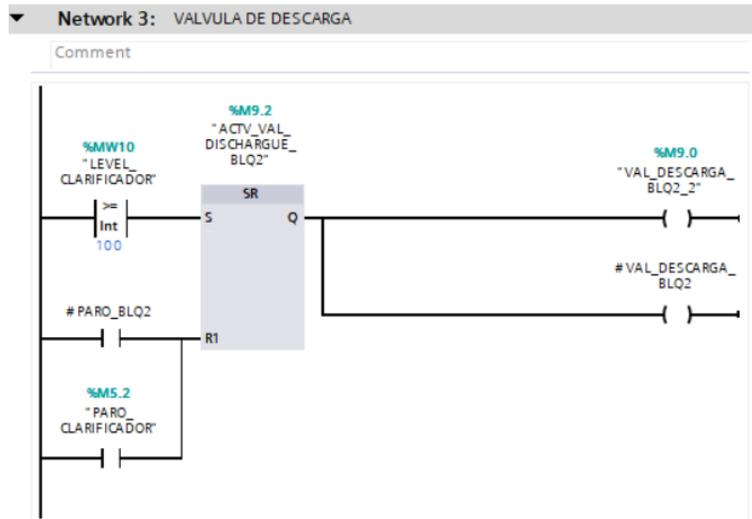
Programación para la activación de la válvula de llenado con bloques SR



La programación de la activación de la válvula de descarga también utiliza un bloque SR, el cual activa el bit de "set" cuando el nivel del clarificador alcanza o supera el valor de 100. En ese caso, la válvula de descarga se activa. Por otro lado, la bobina de "reset" se activará únicamente en caso de un paro total o del proceso de forma independiente, se presenta la figura 40 detallando el proceso.

Figura 40

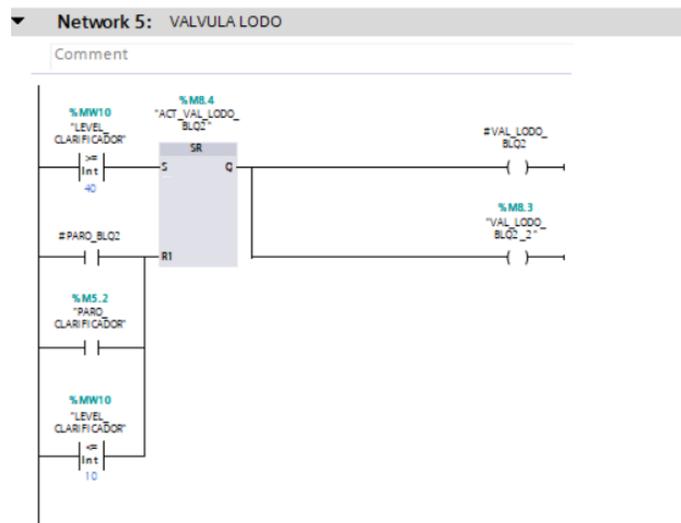
Programación para la activación de la válvula de descarga con bloques SR



La programación de la activación de la válvula de lodo también se realizará mediante un bloque SR, el cual se activará ("set") cuando el nivel del tanque del clarificador sea mayor o igual a 40. Por otro lado, el bloque se desactivará ("reset") cuando el nivel sea menor o igual a 10, o si se activa el paro general o el paro del proceso. La implementación del código de programación se presenta en la figura 41.

Figura 41

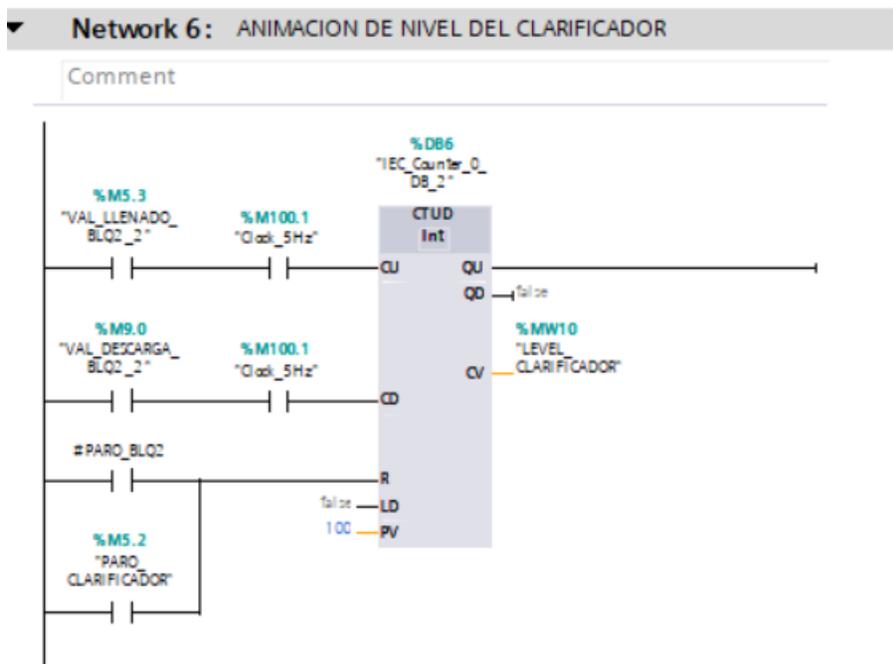
Programación en KOP para la activación de la válvula de lodo con bloque SR



Para animar el nivel del tanque, se utilizó el contador CTUD, que cuenta con dos entradas: una para el conteo ascendente y otra para el conteo descendente. En la entrada ascendente se configuró la válvula de llenado en conjunto con un reloj (clock), mientras que en la entrada descendente se asignó la válvula de descarga, encargada de activar el contacto que disminuye el nivel. Además, este bloque incluye una entrada de reinicio (reset), que se activará mediante los botones de paro. A continuación, se presenta la figura 42.

Figura 42

Programación con bloque contador CTUD para la animación del nivel



5.5 Programación KOP de subproceso de Cloración

En este segmento se desarrollará la programación en lenguaje de programación KOP la cual está encargado de realizar el subproceso en donde se ingresa el hipoclorito de sodio mediante una bomba de diafragma que inyecta este químico en el torrente o ingreso del agua ya previamente tratada. Para este proceso se presenta las siguientes variables, a continuación, se presenta la figura 43.

Figura 43

Variables del proceso de cloración

Proyecto_Titulacion_3 > PLC_1 [CPU 1516-3 PN/DP] > PLC tags > CLORACION [15]

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
1	ARRANQUE_BLQ6	Bool	%M9.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	PARO_CLORACION	Bool	%M9.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	ACT_B3_CLR	Bool	%M9.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	LEVEL_TANK_HIPOCLORITO_DE...	Int	%MW12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	VAL_LLENADO_BLQ6_6	Bool	%M14.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	ACT_VAL_FILL_BLQ6	Bool	%M14.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	VAL_DISCHARGE_BLQ6_6	Bool	%M14.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	ACT_VAL_DISCHARGUE_BLQ6_6	Bool	%M14.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	B3_CLR_BLQ6_6	Bool	%M9.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	PUMP3_CLR_BLQ6	Bool	%M14.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	VAL_FILL_BLQ6	Bool	%M14.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	VAL_DISCHARGE_BLQ6	Bool	%M14.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	CARGAR_TANK_CLR_BLQ6_6	Bool	%M14.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	CARGAR_TANK_BLQ_6	Bool	%M15.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	LUZ_PILOTO_CLORACION	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

A continuación, se presentan las variables locales declaradas en el bloque FB del subproceso de cloración, las cuales facilitan la llamada al bloque en el MAIN. Esto permite asignar las entradas y salidas globales necesarias para ser configuradas y visualizadas en el HMI, asegurando su respectivo control. Véase la figura 44.

Figura 44

Variables locales del bloque FB del subproceso de cloración

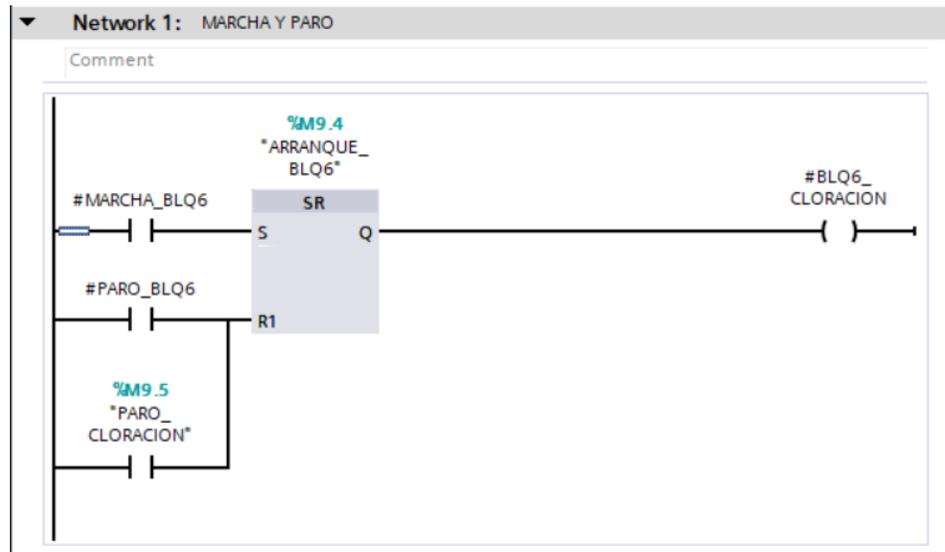
CLORACION

	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...
1	▼ Input				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	■ MARCHA_BLQ6	Bool	false	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	■ PARO_BLQ6	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	■ CARGAR_TANK_CLR_B...	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	▼ Output				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	■ B3_CLR_BLQ6_6	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	■ VAL_LLENADO_BLQ6	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	■ VAL_DESCARGA_BLQ...	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	■ BLQ6_CLORACION	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	▼ InOut				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	■ <Add new>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	▼ Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

La programación realizada para el control de marcha y paro se realizó con un bloque SR, el cual se “setea” cuando está activado y se “resetea” cuando se activa la entrada correspondiente, mediante los botones de paro colocados en el HMI, se presenta la figura 45 la cual detalla la programación implementada.

Figura 45

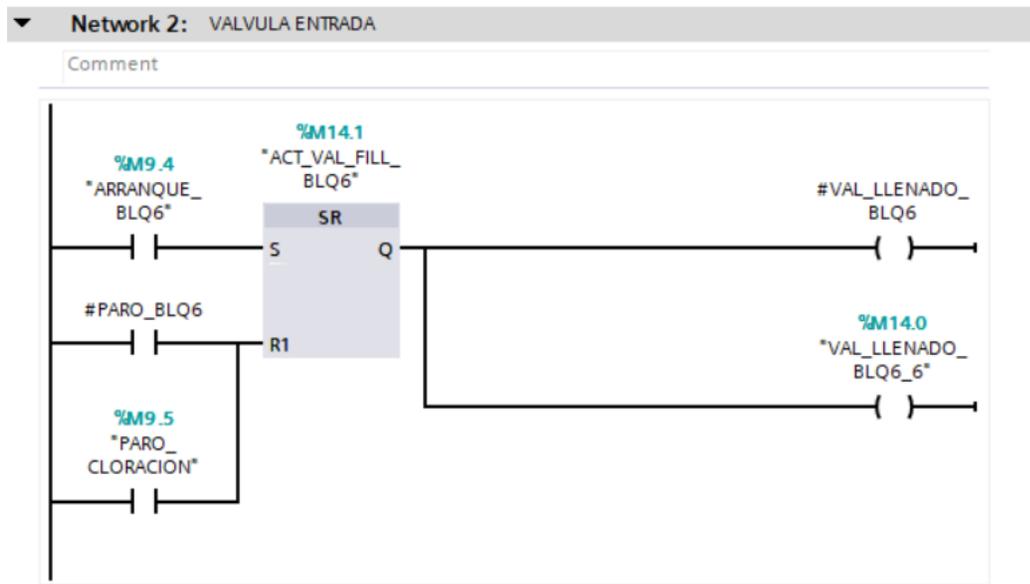
Programación en KOP de marcha y paro de bloque de cloración



La programación para la válvula de entrada se realizó con el bloque SR, el cual, al momento de activarse, establece la memoria de 'set' y 'reset' para los controles de marcha y paro. La válvula se activará cuando la marcha sea activada y desactivará cuando se activen los botones de paro, en la figura 46 se representa la programación implementada.

Figura 46

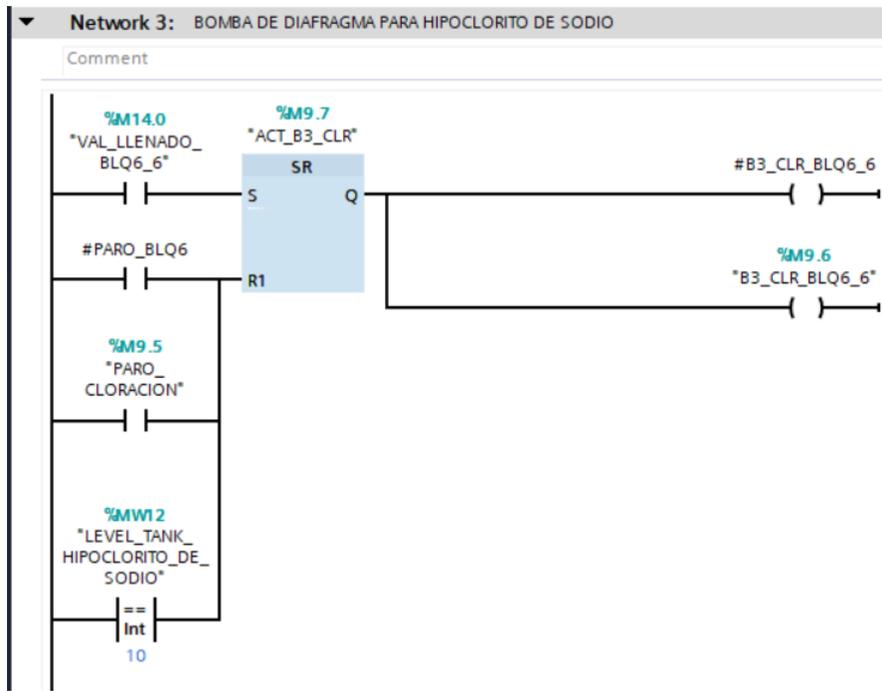
Programación en KOP de la válvula de llenado del subproceso de cloración



A continuación, se implementó la siguiente lógica para la activación de la bomba de diafragma, la cual suministrará el hipoclorito de sodio para la cloración. Una vez que se activa la válvula de llenado, se envía un 'set' para activar la bomba de diafragma. La bomba continuará funcionando hasta que el nivel del tanque de hipoclorito de sodio sea igual a 10 o hasta que se activen los botones de paro. De esta manera, la cantidad de hipoclorito se suministrará de acuerdo con los valores predeterminados del proceso, en este caso, según el nivel del tanque de hipoclorito. A continuación, en la figura 47 se presenta la programación.

Figura 47

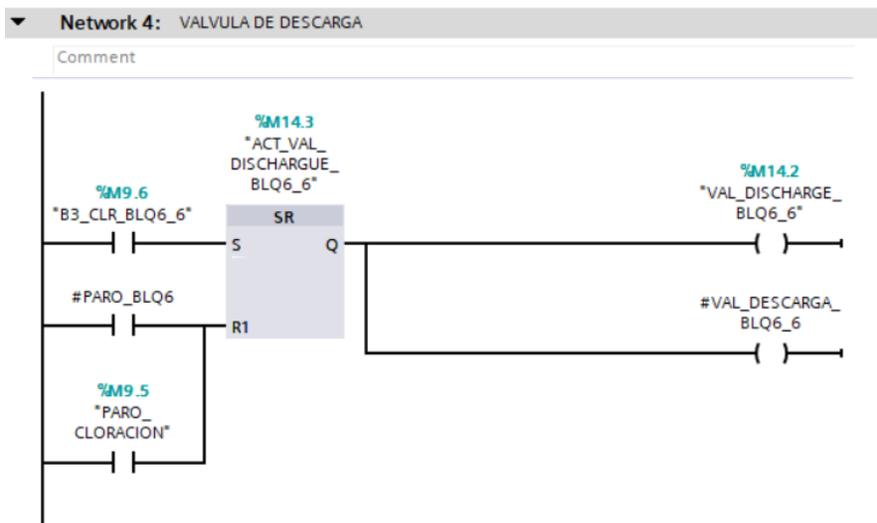
Programación KOP de la bomba de diafragma que activa el hipoclorito de sodio



La programación utilizada para la válvula de descarga fue con el bloque SR, el cual activará la válvula de descarga cuando la bomba de diafragma esté en funcionamiento. La válvula se desactivará únicamente cuando se active el botón de paro, tal como lo muestra en la figura 48.

Figura 48

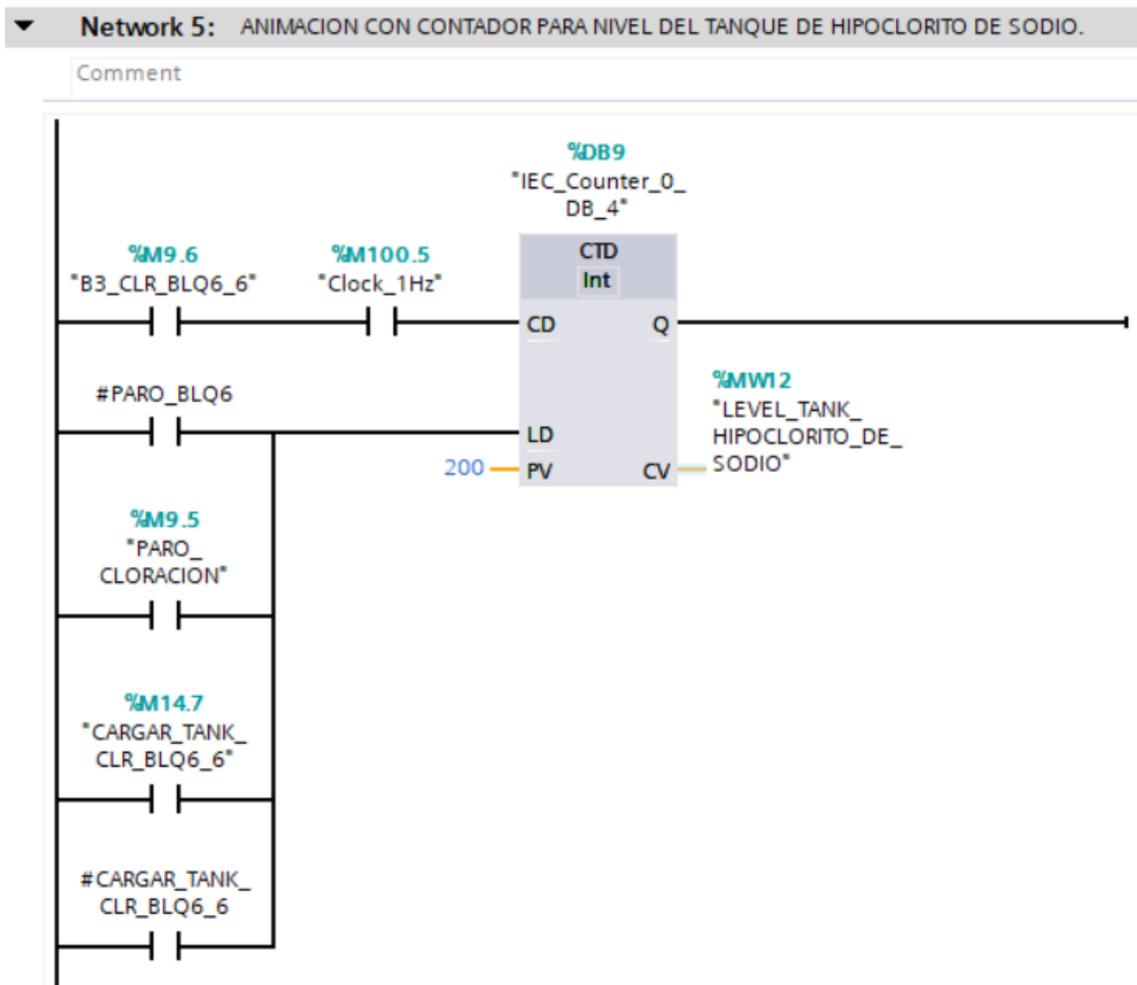
Programación en KOP de la válvula de descarga del subproceso de cloración



La programación que se muestra a continuación es para la animación de la variable análoga, que en este caso es el nivel del tanque de hipoclorito de sodio. Se utilizó un bloque contador CTD, que es un bloque que en este caso solo permite el descenso del nivel. Se eligió este contador porque, generalmente, en las plantas este proceso no está automatizado, pero se automatizó generando una señal que indique que, cuando el nivel esté bajo, se deba recargar el hipoclorito de sodio. A continuación, se presenta la figura 49 donde se muestra la programación de la animación.

Figura 49

Programación con bloque CTD para animación de nivel de tanque de hipoclorito de sodio



5.6 Programación KOP de subprocesos del Digestor y Lecho de secado

En este segmento se desarrollará la programación en lenguaje de programación KOP, la cual está encargado de realizar el subproceso en donde se el agua previamente tratada pero aun con restos de lodos pasará por el digestor el cual se encarga de separar ya el lodo más espeso en el lecho de secado y el agua más limpia a cloración, figura 50.

Figura 50

Variables del subproceso de Digestor y Lecho de secado juntos

DIGESTOR								
	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	
1	ARRANQUE_DIGESTOR	Bool	%M15.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	PARO_DIGESTOR	Bool	%M15.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	ACT_VAL_FILL_BLQ5	Bool	%M15.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	VAL_LLENADO_BLQ5_5	Bool	%M15.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	LEVEL_TANK_DIGESTOR	Int	%MW30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	ACT_VAL_DESCARGA_BLQ5	Bool	%M15.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	VAL_DESCARGA_BLQ5_5	Bool	%M15.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	VAL_LLENADO_BLQ5_M	Bool	%M15.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	VAL_DESCARGA_BLQ5_M	Bool	%M32.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

El bloque FB en el TIA Portal del subproceso de digestor utiliza las siguientes variables locales para su lógica, es decir, variables exclusivas de este subproceso. A continuación, en la figura 51, se puede observar que todas las variables son de tipo “Bool”.

Figura 51

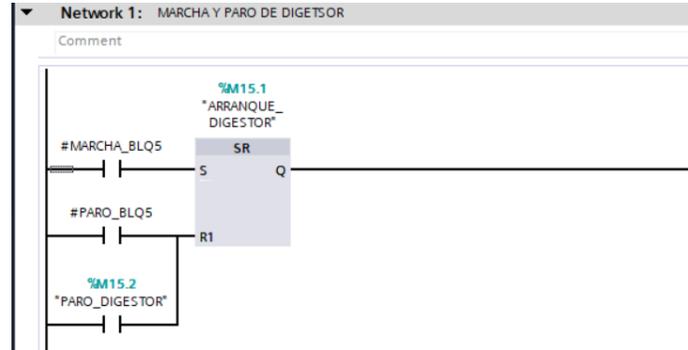
Variables locales del bloque FB del subproceso de Digestor y Lecho de secado juntos

DIGESTOR								
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	
1	Input				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	MARCHA_BLQ5	Bool	false	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	PARO_BLQ5	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Output				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	VAL_LLENADO_BLQ5	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	VAL_DESCARGA_BLQ5	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

La programación para el control de marcha y paro del subproceso se realizará con el bloque SR, el cual ayudará a activar la marcha general y activar el reseteo cuando se activen los botones de paro, figura 52.

Figura 52

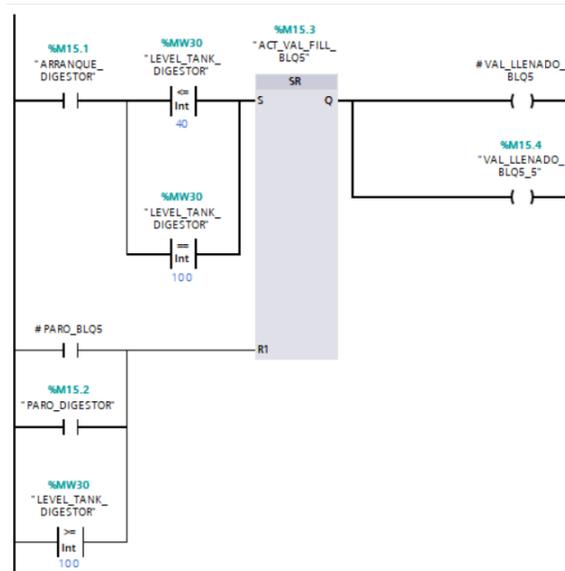
Programación en KOP de marcha y paro del subproceso de digestor y Lecho de Secado



La programación de la válvula de llenado se realizó con el bloque SR, en el cual, para setear el valor de la válvula, se debe activar el arranque del bloque. El nivel del tanque debe ser igual a 40 e igual a 100. Para resetear el bloque, se activa con los botones de paro o cuando el nivel del tanque digestor sea mayor o igual a 100, figura 53.

Figura 53

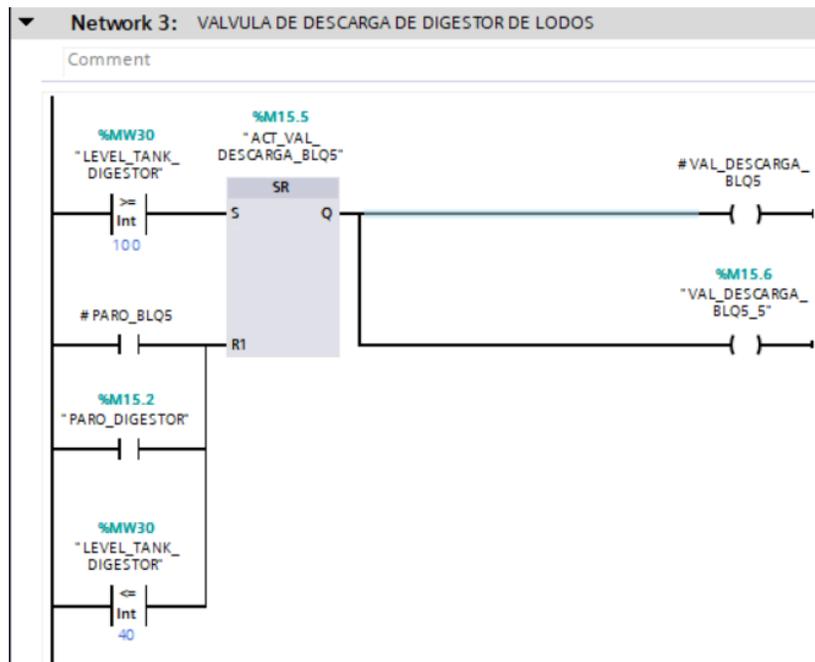
Programación en KOP de válvula de llenado de subproceso del Digestor



La programación realizada para el control de la válvula de descarga se hizo con el bloque SR, el cual se setea cuando el nivel del tanque digestor es mayor o igual a 100. La entrada de seteo se activa mediante los botones de paro o cuando el nivel del tanque esté menor o igual a 40, figura 54.

Figura 54

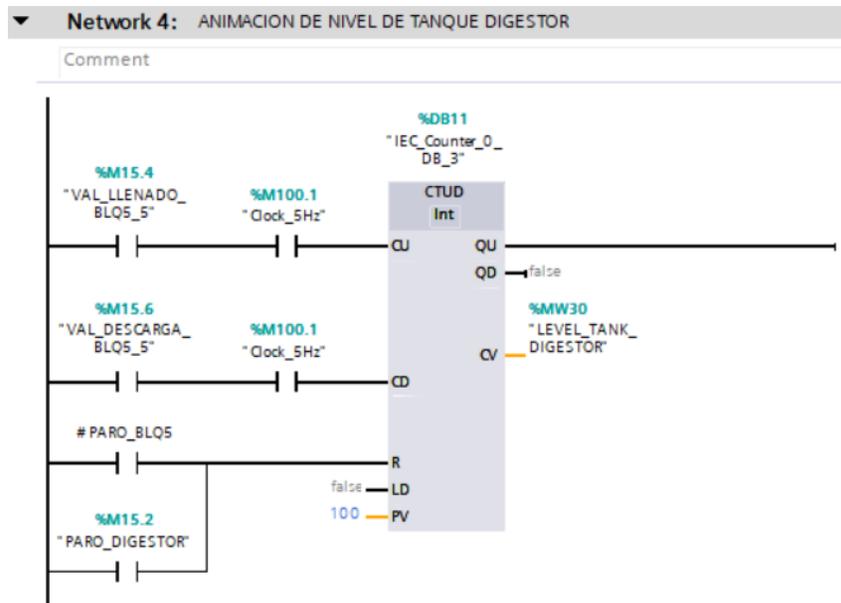
Programación en KOP de la válvula de descarga de subproceso de digestor de lodos



La programación de la animación del nivel se realizó mediante un bloque contador CTUD, el cual tiene dos entradas: una ascendente y otra descendente. La entrada ascendente se activará con la válvula de llenado y la entrada descendente con la válvula de descarga. También cuenta con un reseteo, que se activa mediante los botones de paro, figura 55.

Figura 55

Programación en KOP para la animación del nivel del tanque digestor



5.7 Programación del PID del subproceso del Reactor

Para modelar el comportamiento del reactor de aireación, se consideró la ecuación diferencial que describe el consumo de oxígeno disuelto (OD) debido a la actividad biológica de un nutriente presente en los tanques. Esta ecuación fue adaptada mediante un método de integración discreta para tener en cuenta las variaciones en el tiempo y los efectos del aporte forzado de oxígeno. La forma discreta de la ecuación se utiliza para permitir una simulación numérica del sistema, lo que facilita la resolución de la dinámica del proceso bajo condiciones variables de entrada, como la concentración de oxígeno y el flujo de aire (Manzanares-Maldonado, 2018). En particular, se utilizó la ecuación representada en la figura 56 para modelar un sistema de primer orden en virtud del oxígeno requerido.

Figura 56

Función de transferencia

$$S_o(i) = \frac{1}{1 + K_a \cdot q_a \cdot \Delta t} \cdot \{S_o(i-1) + \Delta t \cdot [r_o + K_a \cdot q_a \cdot S_{o,sat}]\}$$

Nota. La figura muestra la función de transferencia empleada para el control PID en el subproceso del reactor biológico (Manzanares-Maldonado, 2018).

Donde:

s_o : Concentración de OD presente en el tanque (mg/l)

$s_{o, inicial}$: OD inicial presente en el tanque (mg/l).

r_o : Consumo de OD por parte del nutriente (mg/l.hr)

k_o : Constante del proceso (m^{-3})

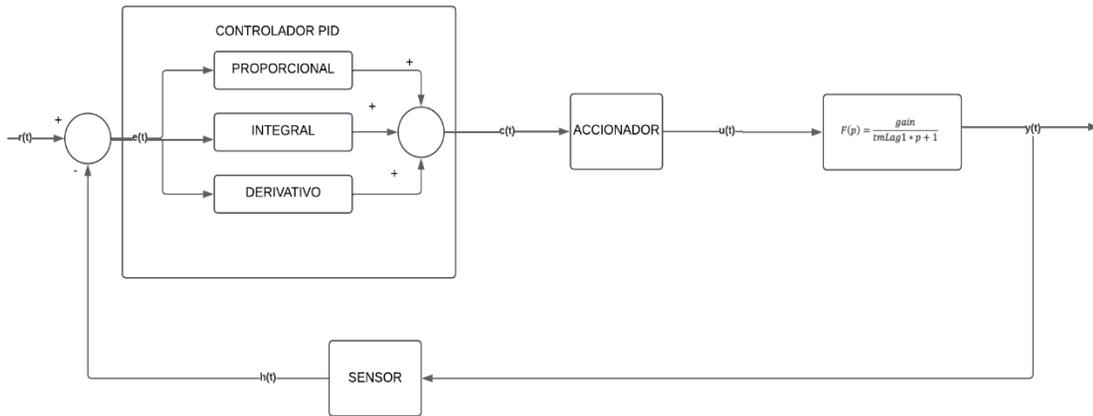
q_o : Caudal de aireación (m^{-3}/h)

$s_{o, sat}$: Concentración de OD saturado en agua. Su valor es de 10 mg/l.

El controlador PID recibe la señal de error, que es la diferencia entre el valor deseado de oxígeno disuelto (setpoint) y la medición real, y ajusta la señal de salida en función de tres términos: proporcional (P), que responde directamente al error; integral (I), que corrige errores acumulados a lo largo del tiempo; y derivativo (D), que anticipa cambios en el error. Este controlador regula la entrada de oxígeno en el sistema para mantener el nivel de oxígeno disuelto estable, compensando cualquier variación en la carga orgánica y asegurando así un tratamiento eficiente del agua, figura 57.

Figura 57

Diagrama de control PID

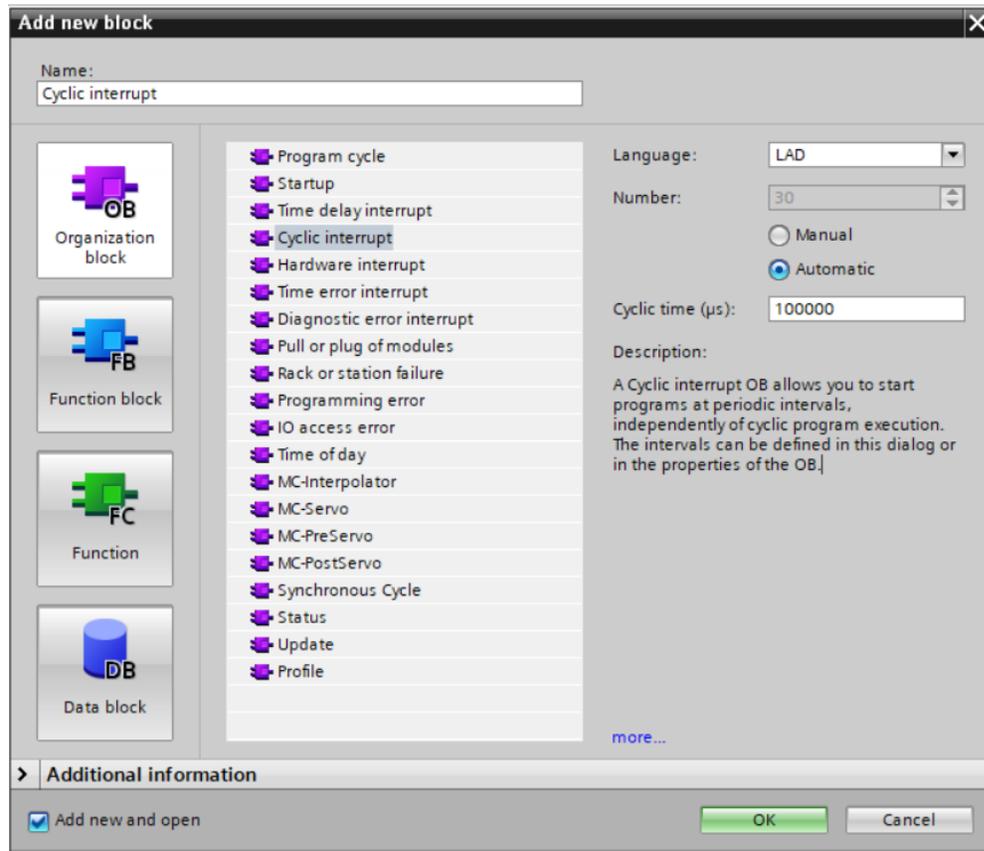


5.7.1 Configuración del PID

Para la correcta configuración del bloque PID Compact en TIA Portal, es esencial comprender que dicho bloque no debe ejecutarse dentro del bloque Main, ya que esto podría generar problemas de sincronización y afectar el rendimiento del control. En lugar de esto, se debe utilizar un bloque de organización (OB), específicamente un OB de interrupción cíclica como el OB30, para gestionar la ejecución periódica del algoritmo PID. Al utilizar un Cyclic Interrupt, el control PID se ejecutará a intervalos de tiempo constantes, lo que garantiza que el ciclo de control se mantenga estable y acorde con las necesidades del proceso. Una vez configurado el bloque de organización, se debe implementar el PID Compact dentro de dicho bloque, conectando adecuadamente las entradas y salidas, como la señal de proceso, la referencia (setpoint) y la señal de salida para el actuador. De esta manera, se asegura un control eficiente y preciso del proceso, con la flexibilidad de ajustar la frecuencia de ejecución según las dinámicas del sistema controlado, figura 58.

Figura 58

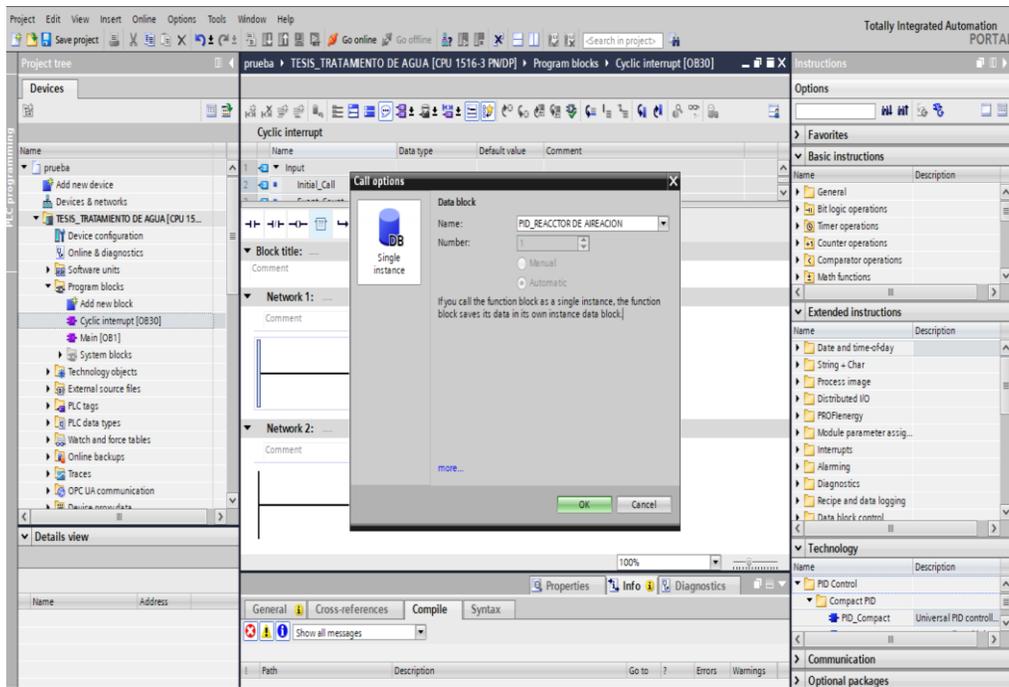
OB Cyclic Interrupt



Una vez abierto el bloque de interrupción cíclica (Cyclic Interrupt) en TIA Portal, el siguiente paso es acceder a la opción Tecnologías en el árbol de proyecto. Dentro de esta opción, se debe abrir la carpeta PID COMPACT, donde se encuentra el bloque de control PID. Al arrastrar y soltar el bloque PID COMPACT en el Network, este quedará dispuesto para su configuración. A partir de este momento, se podrán definir los parámetros de entrada, salida y ajustes específicos del PID, tal como lo muestra la figura 59.

Figura 59

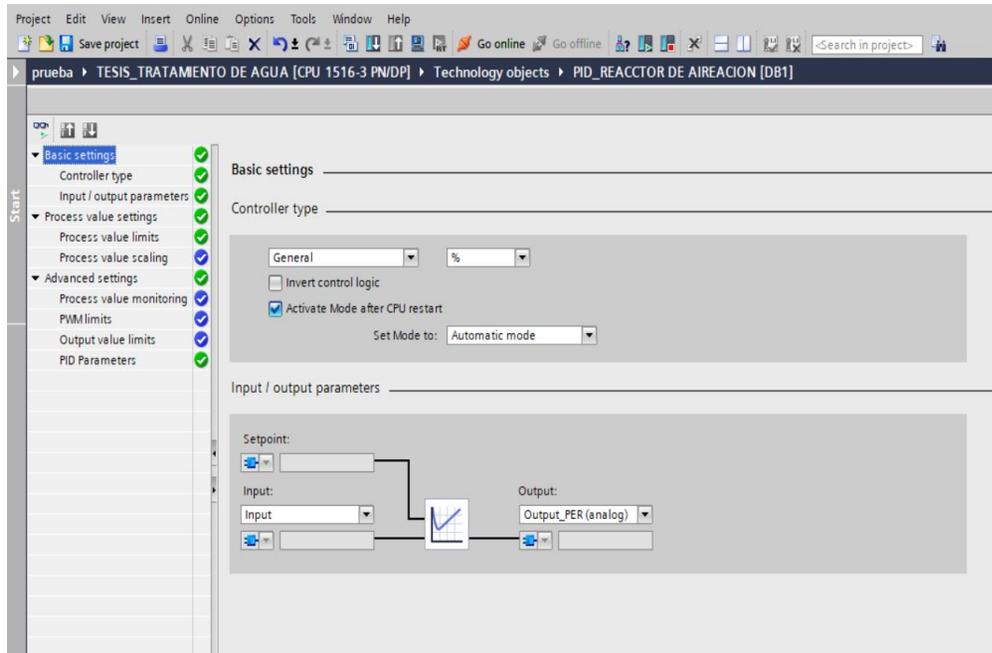
Visualización PID COMPACT



A continuación, se procede a configurar el bloque PID COMPACT accediendo a la ventana de configuración correspondiente. En esta ventana, se ingresarán los parámetros necesarios para ajustar el comportamiento del PID según las necesidades del proceso. En este caso, la variable de entrada será la concentración de O₂, ya que esta medición permitirá regular la cantidad de aire necesario para el reactor. Al ajustar correctamente los parámetros del PID, como la referencia (setpoint), los valores de K_p, K_i y K_d, se garantiza que el sistema mantenga un control preciso y eficiente de la concentración de oxígeno, lo cual es crucial para el buen funcionamiento del reactor, figura 60.

Figura 60

Configuración del Basic setting



A continuación, se procedió a definir las entradas y salidas del bloque PID COMPACT, tal como lo muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Variables del PID COMPACT

ENTRADA		SALIDA	
VARIABLE	TAG	VARIABLE	TAG
SETPOINT	MD0	OUTPUTPID	MW8
SENSOR_O2	MD4		

Además de definir las variables para el PID COMPACT, se muestran las variables declaradas para todo el subprocesso del PID. Cabe destacar que todas las variables de salida se declararon datos enteros ("Int") y todas las variables de entrada como datos reales ("Real"). Esto

se realizó con el propósito de utilizar los datos de salida para su visualización en el HMI, figura 61.

Figura 61

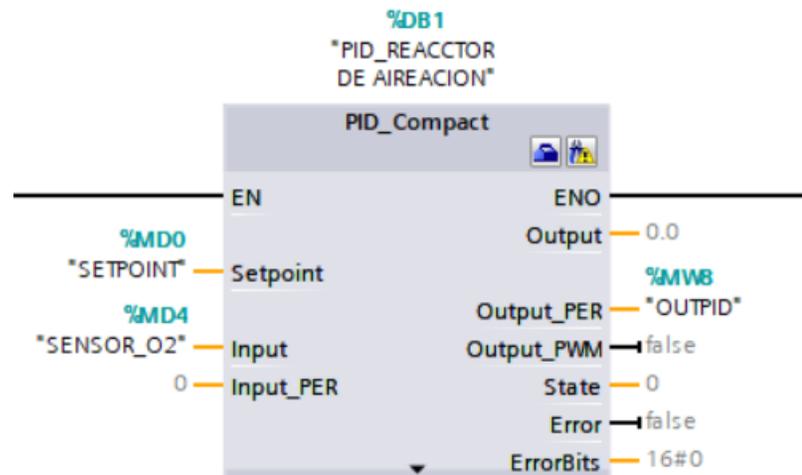
Variables del subprocesso de Reactor en el TIA Portal

REACTOR							
	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
1	SETPOINT_PID	Real	%MD16	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	SENSOR_O2	Real	%MD20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	OUTPID	Int	%MW24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	OUTPID_2	Real	%MD26	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	OUTPID_FINAL	Int	%MW38	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	SETPONIT_PID_FINAL	Int	%MW40	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Una vez definidas las variables, se procede a colocarlas las variables SETPOINT y SENSOR_O2 a los terminales de entradas del bloque (setpoint e input), y OUTPID al terminal de salida del bloque(output_PER) para tener valores que van entre 0 a 10v, figura 62.

Figura 62

Bloque PID con sus respectivas variables definida



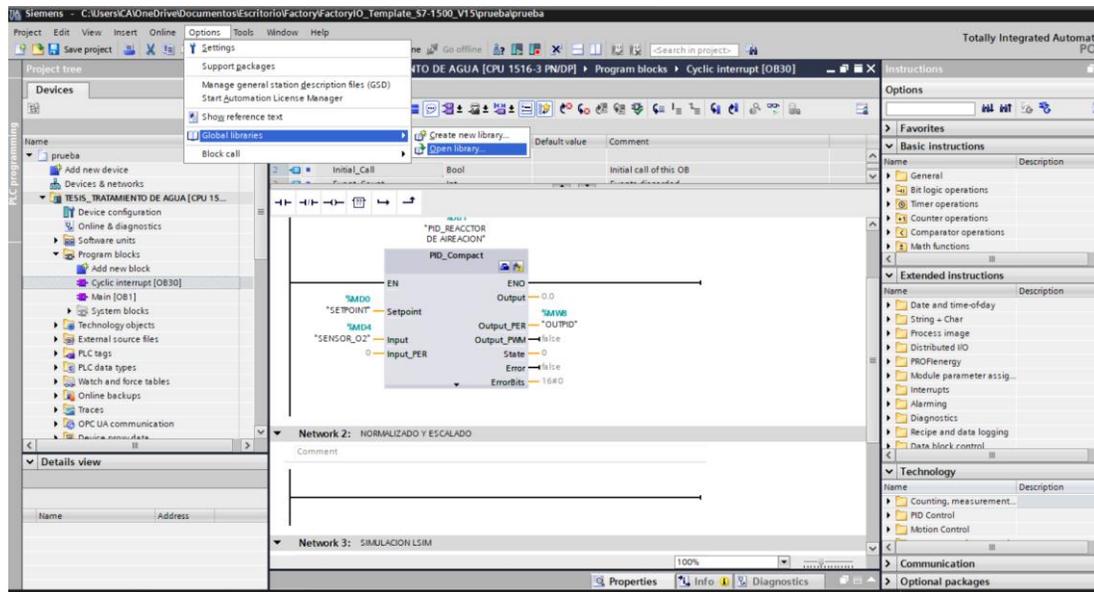
5.7.2 Configuración de LSIM

Se utilizó la librería LSIM de TIA Portal debido a que la simulación del subproceso de reactor biológico era necesario generar una señal de entrada que imitara de manera realista la medición tomada en condiciones reales. Esta librería permite simular señales de manera precisa, proporcionando una entrada que se asemeja al comportamiento de las mediciones reales, como la concentración de oxígeno (O₂), y facilitando así el ajuste del control PID en el entorno simulado antes de implementarlo en un sistema físico. De este modo, se logró un modelado más cercano a la realidad, lo que resulta en una mejor evaluación del rendimiento del sistema de control.

Una vez descargada la **librería LSIM**, se procede a abrirla directamente desde **TIA Portal** para utilizar el bloque de simulación en conjunto con el **PID COMPACT**. Esta integración permite simular señales de entrada que replican el comportamiento de mediciones reales, como la concentración de O₂ en el reactor biológico, lo cual es crucial para evaluar el rendimiento del control PID en condiciones simuladas antes de su implementación en un entorno físico. Al usar la librería LSIM, se aseguró que la entrada al sistema PID sea representativa de las condiciones reales del proceso, figura 63.

Figura 63

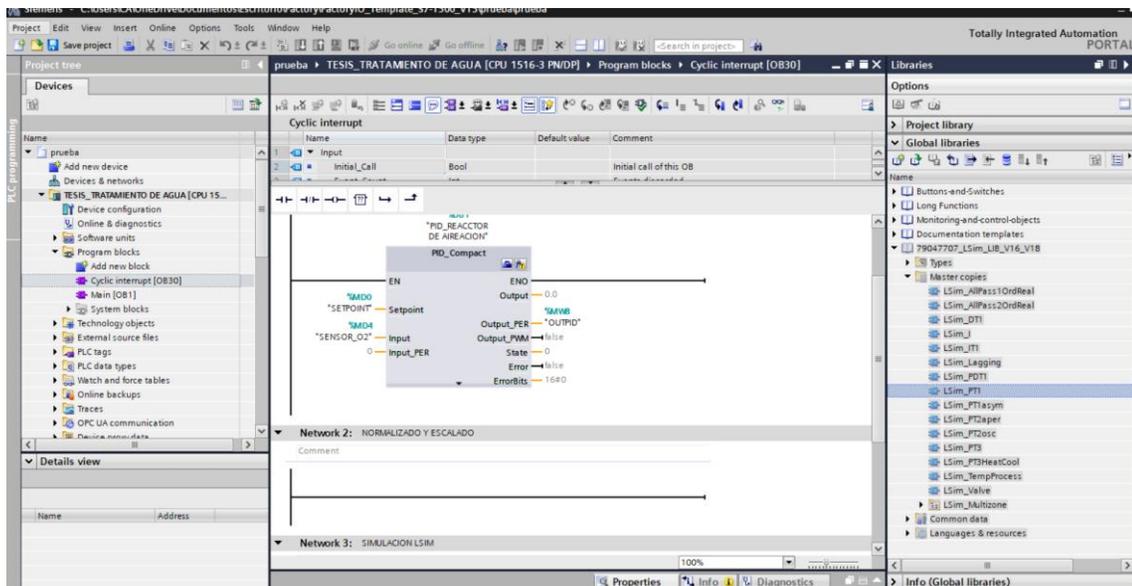
Procedimiento para abrir Lsim desde TIA Portal



Una vez abierta la librería Lsim, se dirige al apartado de opciones y se accede a la carpeta de librerías locales, donde se encuentra guardada la librería Lsim. Se da clic en la librería y se selecciona la descripción Lsim_PT1, que hace referencia al bloque que se utiliza para simular la planta. Cabe destacar que se elige este bloque porque simula una planta con una función de transferencia de primer orden, lo que lo hace idóneo para la simulación, figura 64.

Figura 64

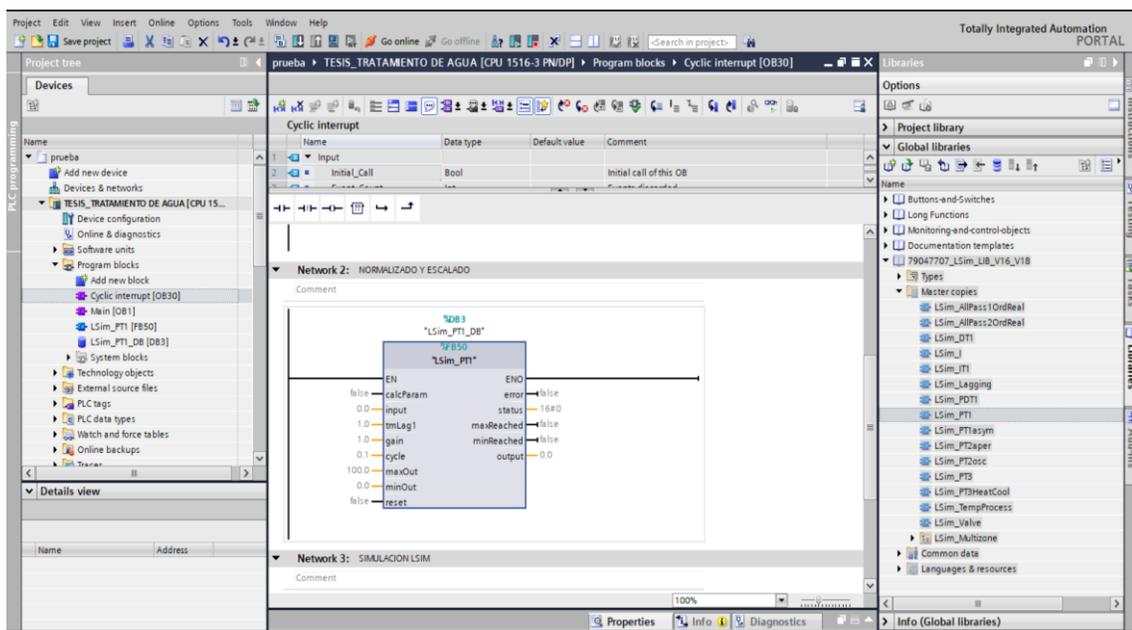
Selección del bloque Lsim_PT1



Luego se arrastra el bloque al Network y se debe tener el bloque Lsim_PT1 listo para configurarlo las entradas y salidas requeridas por el subproceso del reactor biológico, figura 65.

Figura 65

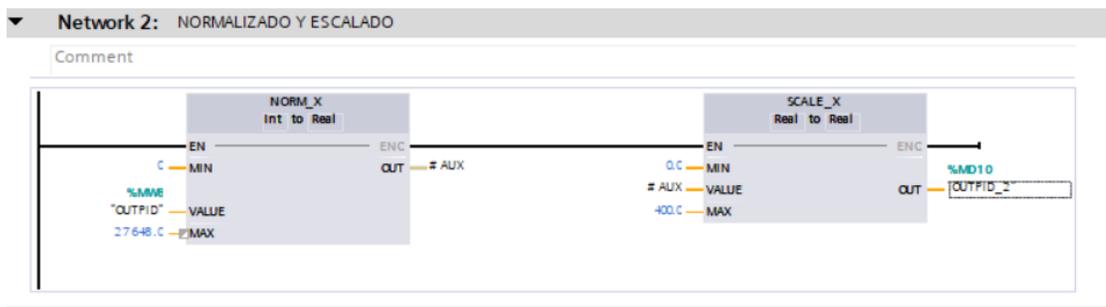
Bloque Lsim_PT1



Para configurar el Lsim, primero se debe recordar que la salida de mi PID es la variable OUTPID, que se encuentra en el terminal de salida Output_PER. Esta salida trabaja en un rango de 0 a 27648.0, lo cual corresponde a un rango de 0 a 10 V. Por lo tanto, para la librería Lsim, se debe hacer que la salida OUTPID pase por los bloques de normalización y escalado para obtener una salida conforme a los parámetros del sensor de concentración de oxígeno, cuyo rango va de 0 a 400 mg/litro, figura 66.

Figura 66

Normalizado y escalado de la variable OUTPID



5.8 Programación KOP del MAIN

El desarrollo de la programación del MAIN mediante lenguaje KOP se realizó llamando a los bloques FB, arrastrándolos al bloque principal y designando variables con los mismos nombres para que se conecten y permitan enviar estas variables a ser utilizadas en el HMI. La programación de este segmento es muy importante porque aquí se llamará a cada subprocesso y a las variables que intervienen en él. A continuación, se presentará una vista general de algunas variables que no fueron colocadas en cada subprocesso sino en la librería general, figura 67.

Figura 67

Variables generales del Clock, MARCHA y PARO generales

Default tag table									
	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervision	Comment
1	MARCHA	Bool	%MO.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		MARCHA DEL SISTEMA GENERAL
2	System_Byte	Byte	%MB1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	Firs:tScan	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
4	DiagStatus:Update	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	Always:TRUE	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	Always:FALSE	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7	Clock_Byte	Byte	%MB100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		RELOJ
8	Clock_10Hz	Bool	%M100.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		RELOJ
9	Clock_5Hz	Bool	%M100.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		RELOJ
10	Clock_2_5Hz	Bool	%M100.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		RELOJ
11	Clock_2Hz	Bool	%M100.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		RELOJ
12	Clock_1.25Hz	Bool	%M100.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		RELOJ
13	Clock_1Hz	Bool	%M100.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		RELOJ
14	Clock_0.625Hz	Bool	%M100.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		RELOJ
15	Clock_0.5Hz	Bool	%M100.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		RELOJ
16	PARO	Bool	%MO.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		PARO DEL SISTEMA GENERAL
17	ARRANQUE_SISTEMA	Bool	%MO.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		ARRANQUE DEL SISTEMA GENERAL

La programación KOP que conecta todos los subprocesos se realizó en el siguiente orden de “Networks” los cuales fueron ordenados según el diagrama de flujo propuesto sobre el proceso, figura 68.

Figura 68

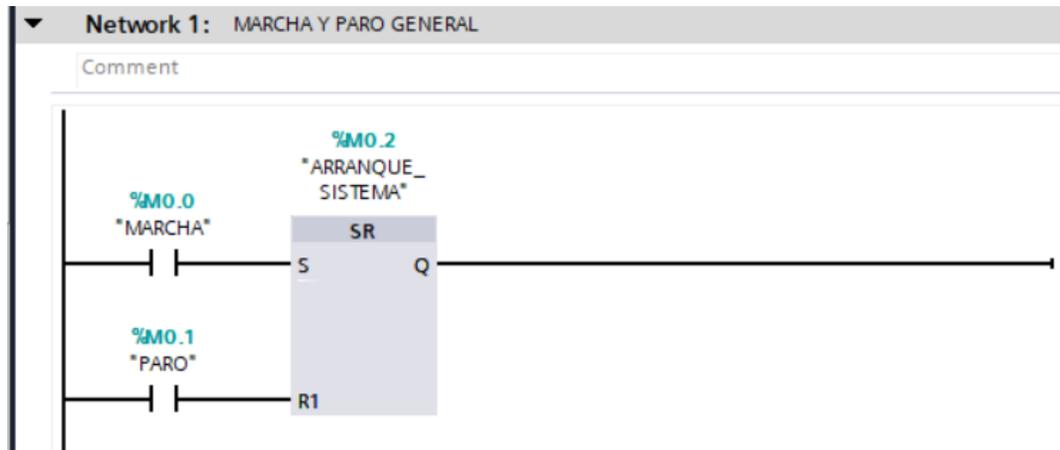
Orden de “Network” en el MAIN

- ▶ Network 1: MARCHA Y PARO GENERAL
- ▶ Network 2: BOMBEO
- ▶ Network 3: CLARIFICADOR
- ▶ Network 4: CLORACION
- ▶ Network 5: DIGESTOR
- ▶ Network 6: DATOS DE IOT BOOL
- ▶ Network 7: DATOS DE IOT WORD
- ▶ Network 8: SETPOINT DATA IOT

La programación de MARCHA y PARO de toda la planta se realizó de manera similar a cada subproceso, utilizando un bloque SR. Al activar el botón de marcha, se seteará y dará arranque a todo el sistema, mientras que, al activarse el botón de paro, reseteará toda la planta, figura 69.

Figura 69

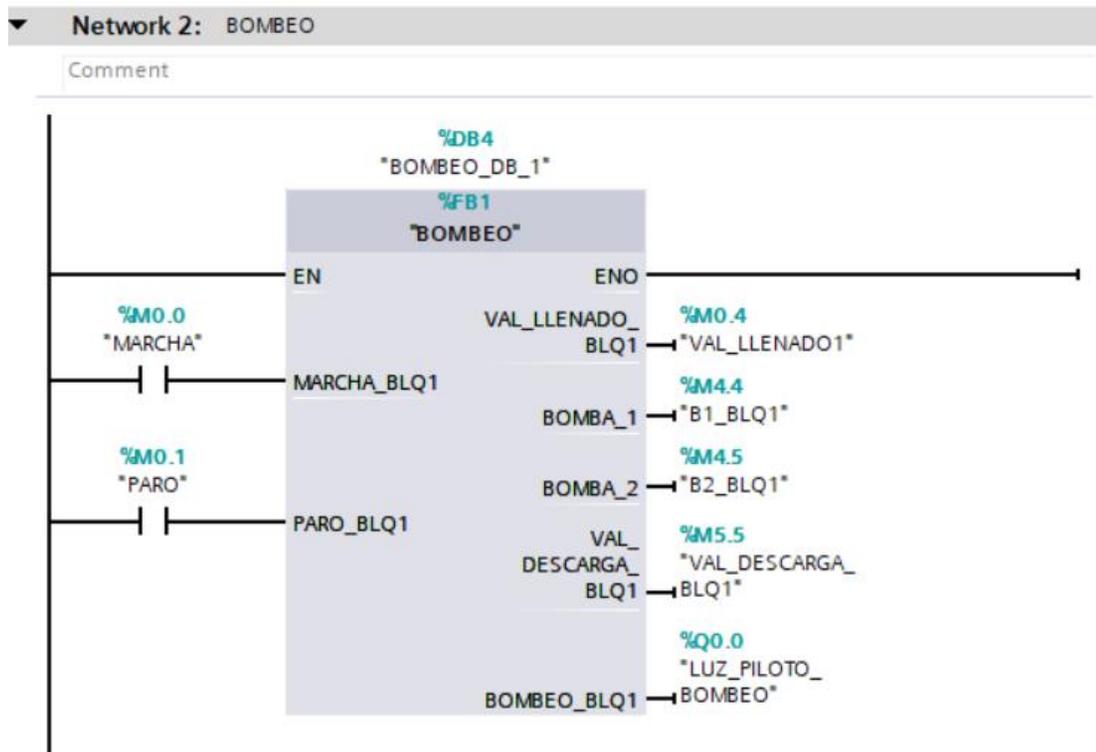
Programación en KOP con bloque SR para marcha y paro



Los bloques FB fueron fundamentales para mantener la programación de cada subproceso de una forma más autónoma, ordenada y secuencial. A continuación, se presentan los bloques en el orden correspondiente a cada subproceso, empezando por el subproceso de bombeo, figura 70.

Figura 70

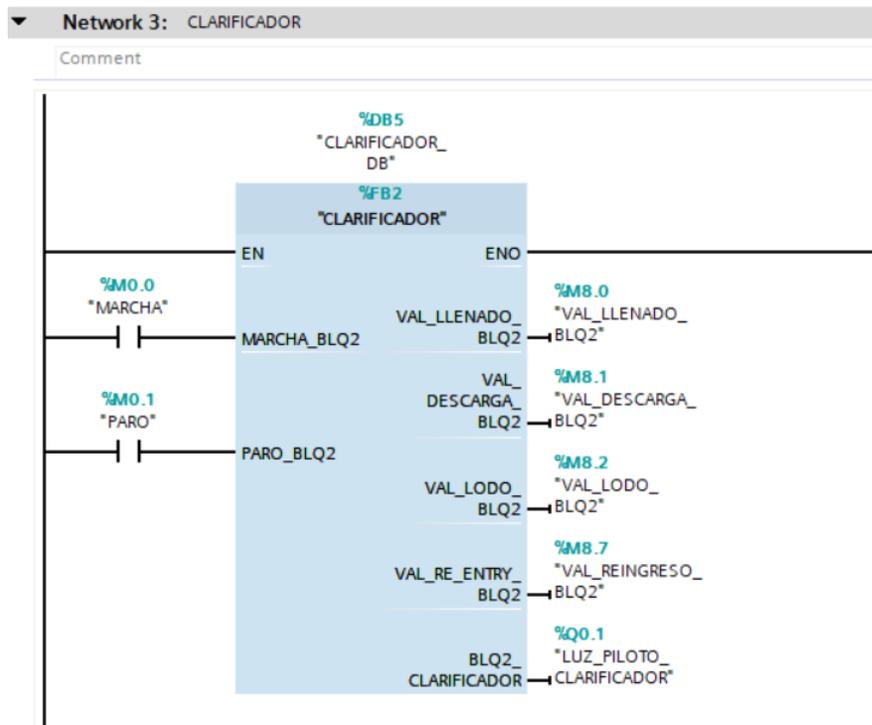
Bloque FB perteneciente al subproceso de BOMBEO



Las entradas y salidas declaradas previamente en el subproceso de clarificador se reflejan a través del bloque llamado en el MAIN. En este caso, se tienen como entradas los botones de MARCHA y PARO generales, los cuales controlan si el sistema arranca o se detiene por completo. En las salidas se incluyen las válvulas de llenado, descarga, lodo, reingreso, y una salida adicional configurada como luz piloto, la cual se envía a la pasarela inteligente IOT2040, tal como se muestra en la figura 71.

Figura 71

Bloque FB perteneciente al subproceso de CLARIFICADOR

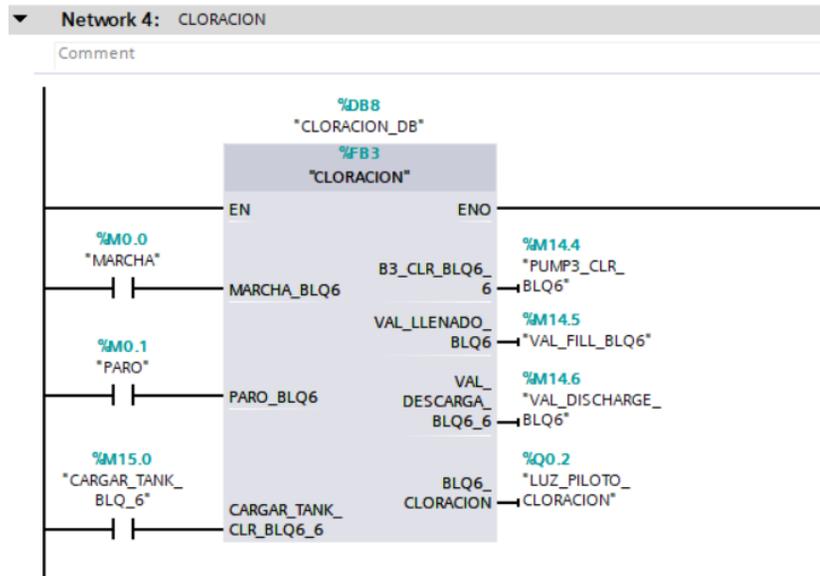


El bloque FB del subproceso de cloración presenta sus entradas y salidas, las cuales se pueden observar claramente en el bloque llamado desde el MAIN. En este caso, las entradas incluyen los botones de MARCHA y PARO específicos del subproceso de cloración. Por otro lado, las salidas comprenden la bomba de diafragma, declarada como B3, la válvula de llenado, la

válvula de descarga y una salida adicional configurada como luz piloto, que se enviará a la pasarela inteligente IOT2040, tal como se muestra en la figura 72.

Figura 72

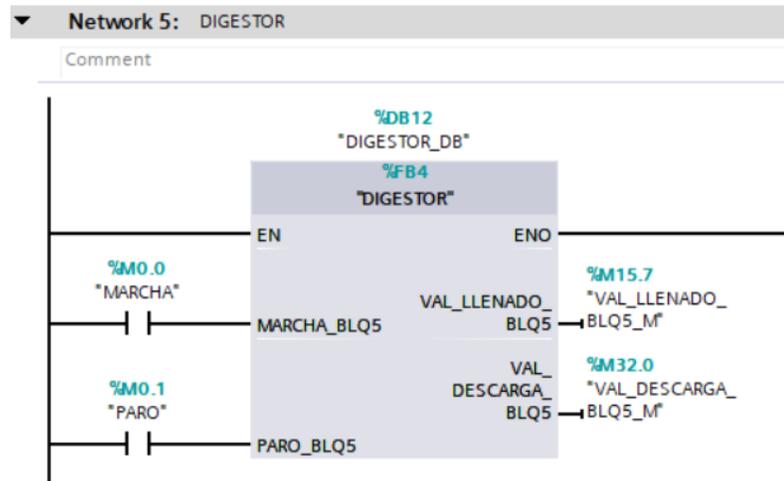
Bloque FB perteneciente al subproceso de CLORACIÓN



El bloque FB del subproceso de digestor para el desarrollo de su lógica de programación tiene colocado como entradas de MARCHA y PARO de forma general y como salidas las entradas a visualizar en el HMI que son las válvulas de llenado y descarga, figura 73.

Figura 73

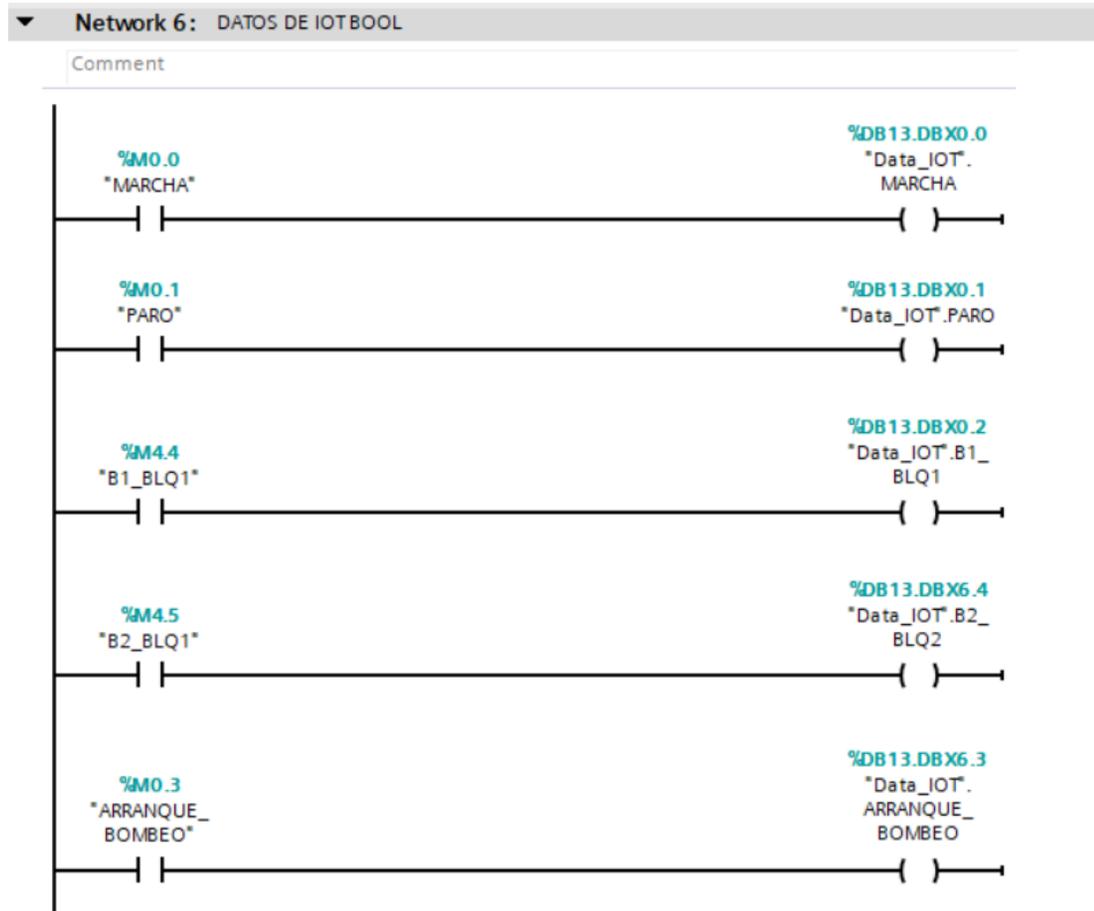
Bloque FB perteneciente al subproceso de DIGESTOR



Para enviar los datos del PLC a la pasarela inteligente IOT2040, fue necesario crear salidas que almacenaran las bobinas para los datos booleanos. Es por esto que se agregó una bobina como salida que conectada con el bloque de datos DB de la IOT2040, figura 74.

Figura 74

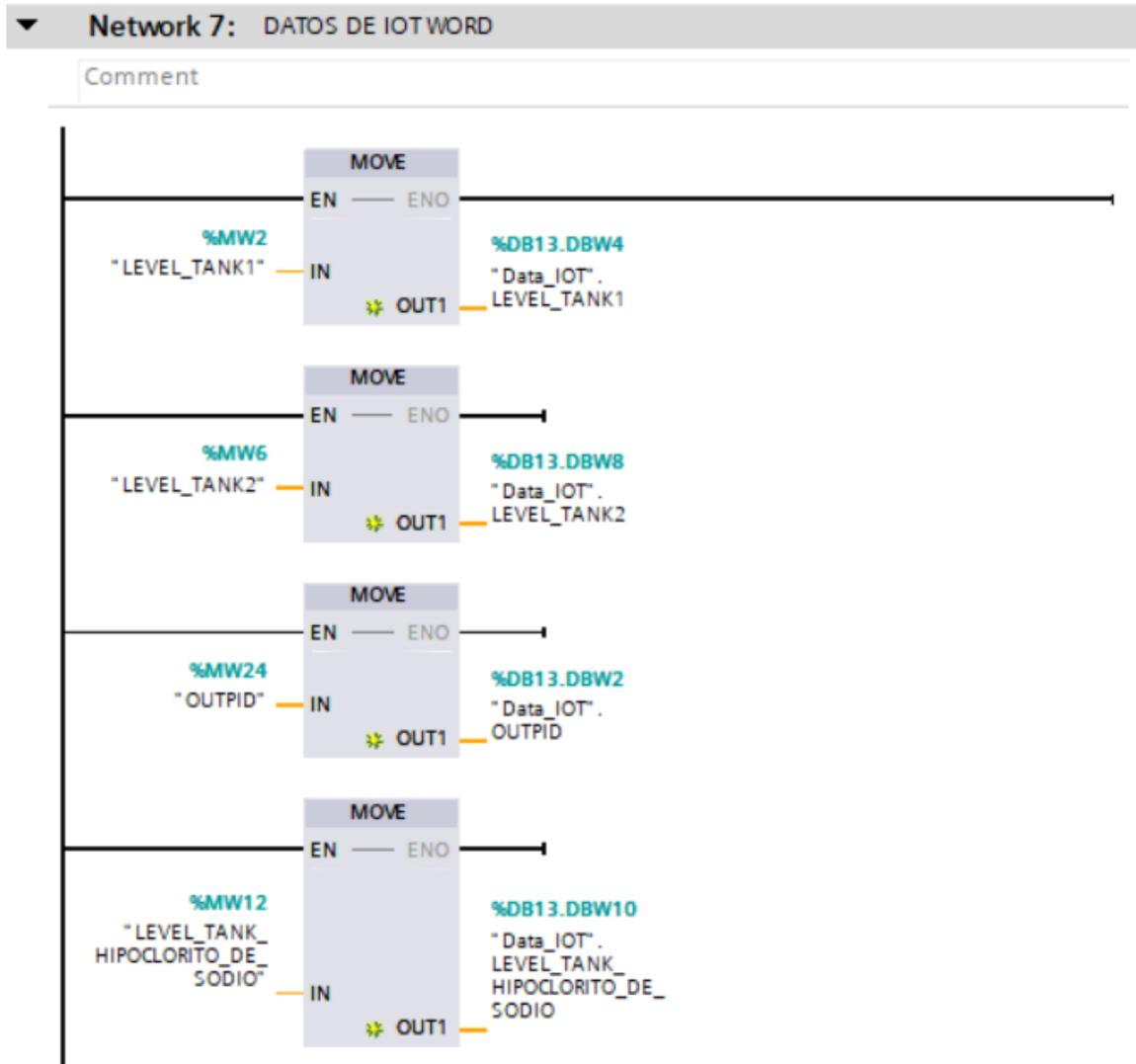
Programación para datos Bool que se enviaran a Node-RED



En el caso de los datos enteros de los subprocessos de bombeo, reactor biológico y cloración, se utilizó un bloque MOVE para poder transferir los datos al bloque DB que se comunicaba con la pasarela inteligente de IOT2040 a través del Node-RED sin que estos datos se pierdan, figura 75.

Figura 75

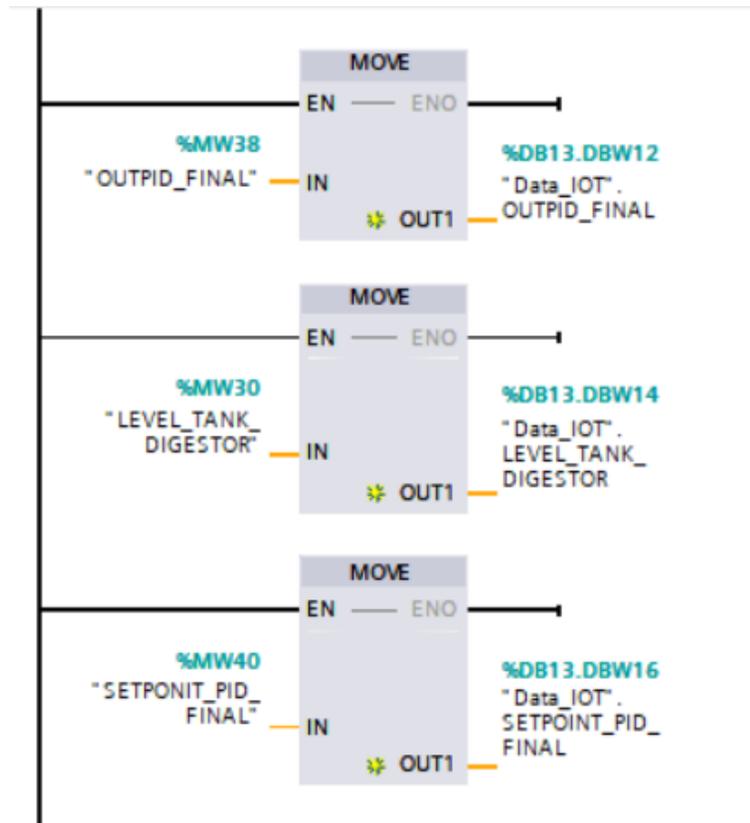
Programación para datos Word que se enviaran a Node-RED



Los datos de los bloques DB pertenecientes a los subprocesos de PID y Digestor que se enviaran a la pasarela inteligente IOT2040 como son reales se colocaron en un bloque MOVE para que no se pierda la transferencia de datos, figura 76.

Figura 76

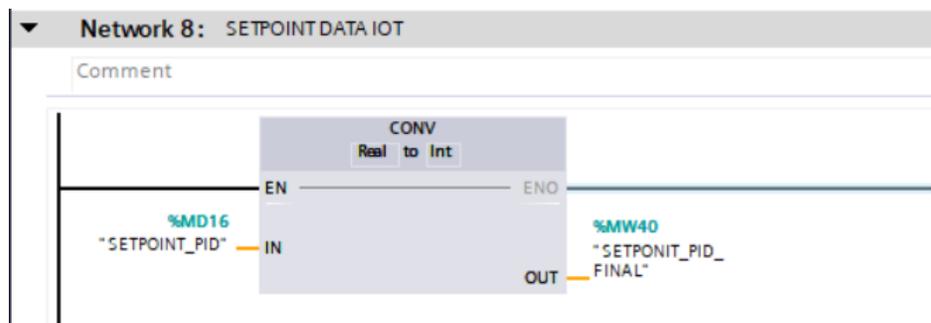
Programación para datos Word que se enviaran a Node-RED Parte-2



Además, para el PID, se tuvo que convertir la variable del SETPOINT del PID de una variable real a un entera a través de bloque CONV agregando como entrada al SETPOINT y como salida la variable que será colocada en el bloque de datos DB, figura 77.

Figura 77

Conversión de dato de PID de Real a Int que se enviaran a Node-RED

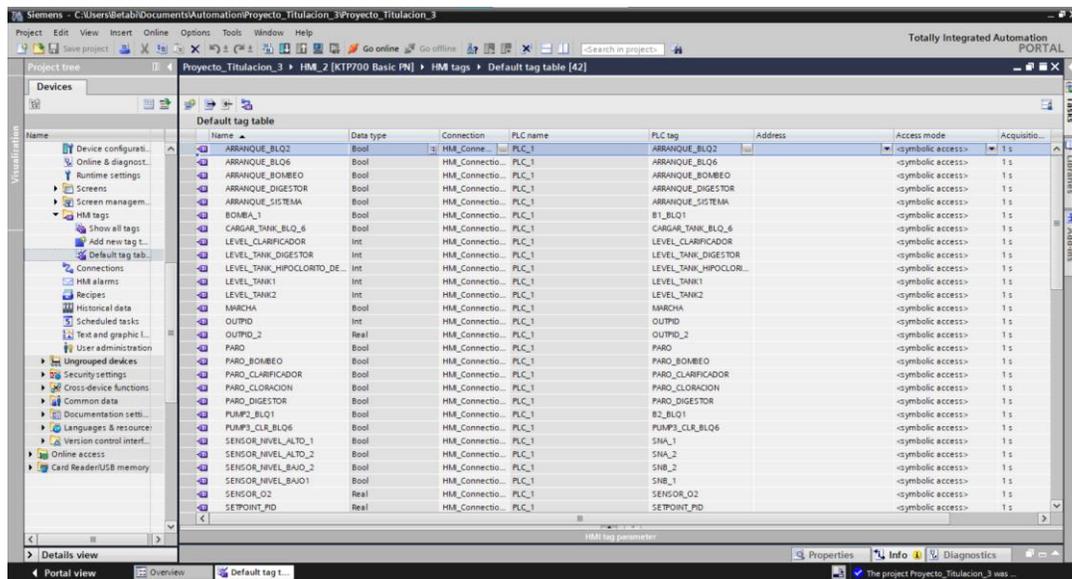


5.9 Diseño de la interfaz del HMI

El desarrollo de la interfaz gráfica permitirá al usuario visualizar los diferentes subprocesos, así como las variables de nivel y las variables booleanas. Además de poder controlar algunas de estas variables ingresándolas directamente desde el HMI. A continuación, se detallan las variables que se utilizaron en el HMI dentro de la sección de “Tags” del software TIA Portal, figura 78.

Figura 78

Variables del HMI conectadas al PLC programado uno

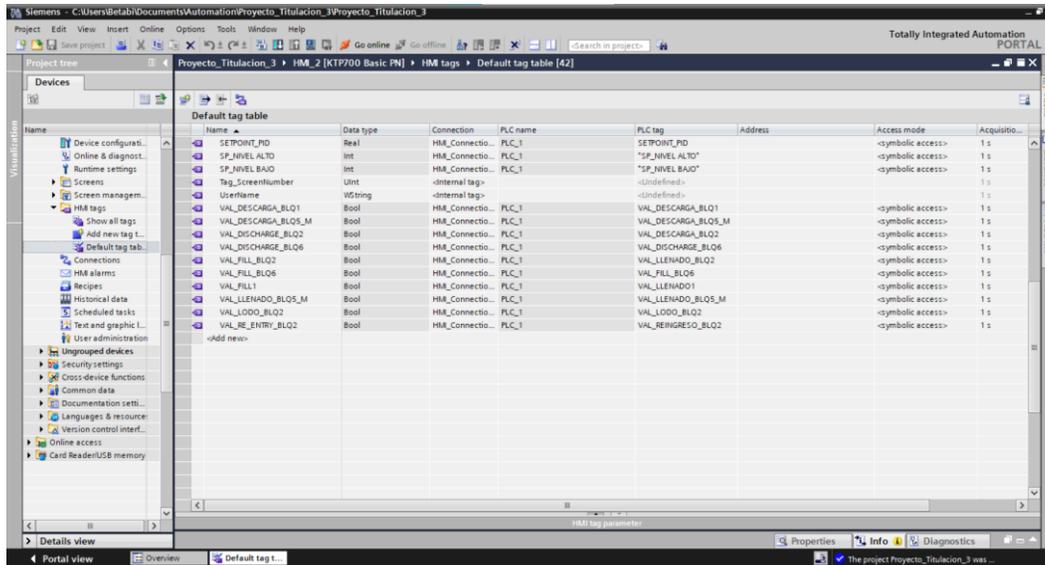


Name	Data type	Connection	PLC name	PLC tag	Address	Access mode	Acquisitio...
ARRANQUE_BLO2	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	ARRANQUE_BLO2		<symbolic access>	1 s
ARRANQUE_BLO6	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	ARRANQUE_BLO6		<symbolic access>	1 s
ARRANQUE_BOMBEO	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	ARRANQUE_BOMBEO		<symbolic access>	1 s
ARRANQUE_DIGESTOR	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	ARRANQUE_DIGESTOR		<symbolic access>	1 s
ARRANQUE_SISTEMA	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	ARRANQUE_SISTEMA		<symbolic access>	1 s
BOMBA_1	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	B1_BLO1		<symbolic access>	1 s
CARGAR_TANK_BLO_6	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	CARGAR_TANK_BLO_6		<symbolic access>	1 s
LEVEL_CLARIFICADOR	Int	HMI_Connectio...	PLC_1	LEVEL_CLARIFICADOR		<symbolic access>	1 s
LEVEL_TANK_DIGESTOR	Int	HMI_Connectio...	PLC_1	LEVEL_TANK_DIGESTOR		<symbolic access>	1 s
LEVEL_TANK_HIPOCLORITO_DE...	Int	HMI_Connectio...	PLC_1	LEVEL_TANK_HIPOCLOR...		<symbolic access>	1 s
LEVEL_TANK1	Int	HMI_Connectio...	PLC_1	LEVEL_TANK1		<symbolic access>	1 s
LEVEL_TANK2	Int	HMI_Connectio...	PLC_1	LEVEL_TANK2		<symbolic access>	1 s
MANCHA	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	MANCHA		<symbolic access>	1 s
OUTPID	Int	HMI_Connectio...	PLC_1	OUTPID		<symbolic access>	1 s
OUTPID_2	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	OUTPID_2		<symbolic access>	1 s
PARO	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	PARO		<symbolic access>	1 s
PARO_BOMBEO	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	PARO_BOMBEO		<symbolic access>	1 s
PARO_CLARIFICADOR	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	PARO_CLARIFICADOR		<symbolic access>	1 s
PARO_CLORACION	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	PARO_CLORACION		<symbolic access>	1 s
PARO_DIGESTOR	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	PARO_DIGESTOR		<symbolic access>	1 s
PUMP3_BLO1	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	B2_BLO1		<symbolic access>	1 s
PUMP3_CLR_BLO6	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	PUMP3_CLR_BLO6		<symbolic access>	1 s
SENSOR_NIVEL_ALTO_1	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	SNA_1		<symbolic access>	1 s
SENSOR_NIVEL_ALTO_2	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	SNA_2		<symbolic access>	1 s
SENSOR_NIVEL_BAJO_2	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	SNB_2		<symbolic access>	1 s
SENSOR_NIVEL_BAJO1	Bool	HMI_Connectio...	PLC_1	SNB_1		<symbolic access>	1 s
SENSOR_O2	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	SENSOR_O2		<symbolic access>	1 s
SETPPOINT_PID	Real	HMI_Connectio...	PLC_1	SETPPOINT_PID		<symbolic access>	1 s

Las variables utilizadas por el HMI son más numerosas que las asignadas a cada subproceso, ya que, en su declaración, se incluyen todas las variables del proceso en general. Esto abarca tanto las salidas como las entradas necesarias para el control y monitoreo a través de la pantalla, figura 79.

Figura 79

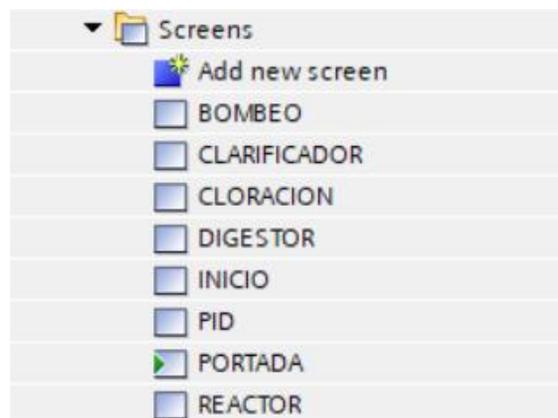
Variables del HMI conectadas al PLC programado dos



En la figura 80 se pueden observar todos los *Screens* desarrollados para visualizar el proceso general de la planta. Esto incluye una portada para la presentación y una pantalla de inicio donde se muestra un diagrama de tipo P&ID, el cual permite visualizar el proceso de manera completa y general.

Figura 80

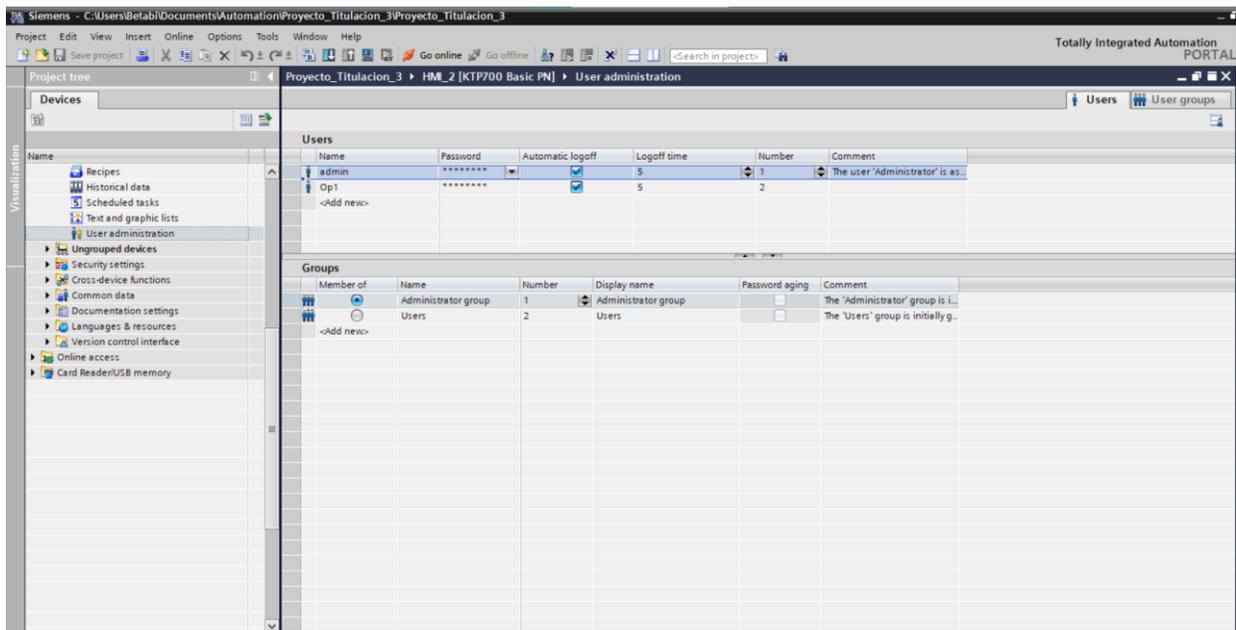
Lista de "Screens" que se utilizaron para el desarrollo de cada subprocesso



Como siguiente paso en el desarrollo general del HMI, en la sección de “User Administration”, se realizó la configuración de un usuario administrativo y uno de operación, cada uno con su respectiva clave. Esto permitirá asemejar de forma general el comportamiento de una planta donde el acceso a cierta información está restringido a usuarios específicos debido a la manipulación o control de determinadas variables. A continuación, se muestra una imagen que ilustra la creación de los usuarios que sería en “Add new” colocando un nombre y contraseña, figura 81.

Figura 81

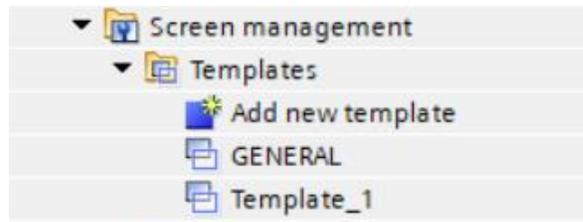
Creación de dos usuarios para restricción en accesos de la pantalla



También se crearon dos diferentes 'Templates' que serán llamados en los HMI: el Template GENERAL y el Template 1. En el Template GENERAL se incluyó el ingreso de usuario; por esta razón, se agregó en la pantalla de INICIO para que solo las personas autorizadas puedan manipular la interfaz, figura 82.

Figura 82

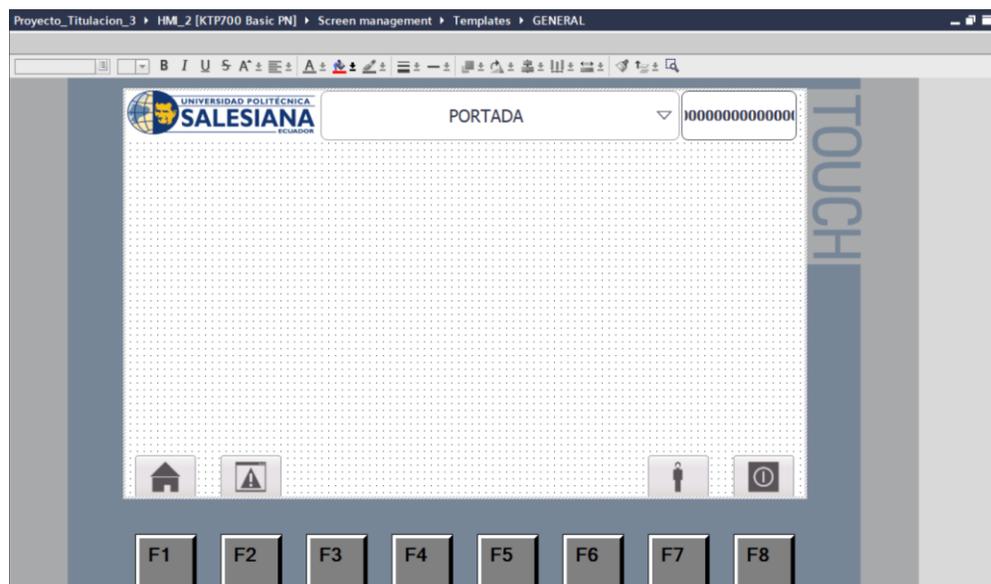
Templates utilizados para el uso en los HMI



El “Template-General” cuenta con una barra en la parte superior que permite navegar entre los distintos *Screens*. Además, incluye una sección donde, una vez ingresado, se puede visualizar si el usuario tiene el rol de administrador o de operador. Por último, contiene un botón para el ingreso de datos, como usuario y contraseña, destinado al acceso del usuario, figura 83.

Figura 83

Template "GENERAL"

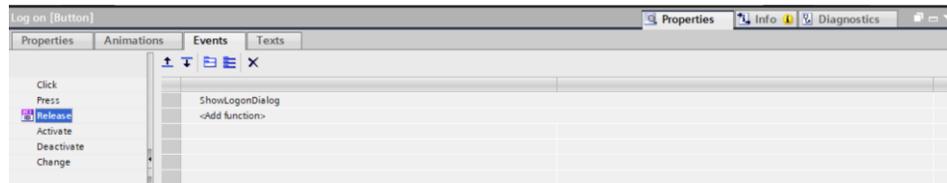


El botón para el ingreso de usuario y contraseña, en su configuración de propiedades dentro de la sección de eventos, se le asignó el evento “Release” con la acción “ShowLogonDialog”. Esta

acción permite que, al interactuar con el botón, se soliciten los datos de acceso y se otorgue autorización al usuario según su rol, como se muestra en la figura 84.

Figura 84

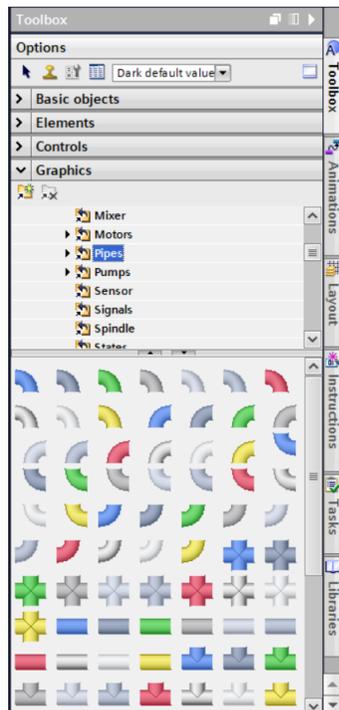
Configuración de botón de ingreso de usuario



La librería utilizada para las tuberías fue, en la sección de *Graphics*, la librería *Equipment* y, dentro de esta, la librería *Automation EMF* en la sección de *Pipes*. Aquí se encuentran tuberías de diferentes colores y variadas en qué tipo de unión se quiere colocar, como se muestra en la siguiente figura 85.

Figura 85

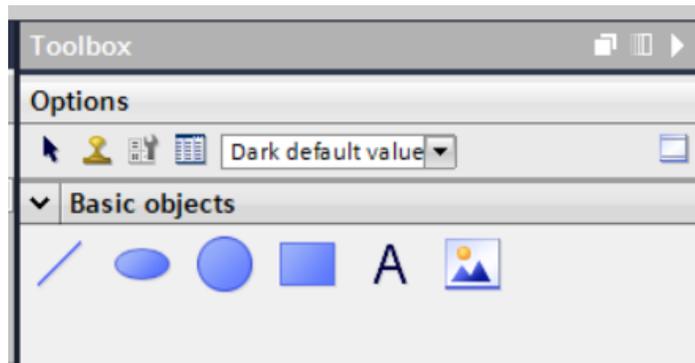
Librería de tuberías o pipes utilizada de la sección de Graphics



Para añadir texto en todos los *Screens*, se utilizó la sección de *Basic Objects*, donde se añadieron los elementos *Text Field* (para escribir), *Graphic View* (para añadir imágenes) y la sección de figuras para colocar los cuadros donde se ubicaron los botones de *Marcha*, *Paro* y los niveles de *Seteo*, figura 86.

Figura 86

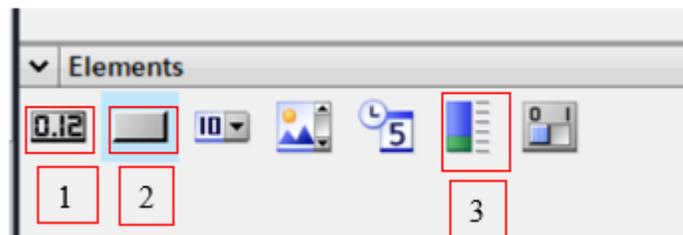
Sección de "Basic objects" de donde se agregó texto e imágenes



Existen varios elementos que se utilizarán en la programación de las acciones o visualizaciones requeridas para el proceso. En este caso, el recuadro marcado con el número 1 corresponde a una opción de la librería que permite visualizar y configurar valores de seteo. El elemento subrayado con el número 2 representa los botones, y el número 3 indica un componente diseñado para mostrar el estado cambiante de la variable configurada, tal como se detalla en la figura 87.

Figura 87

Sección de "Elements" de donde se agregó el botón



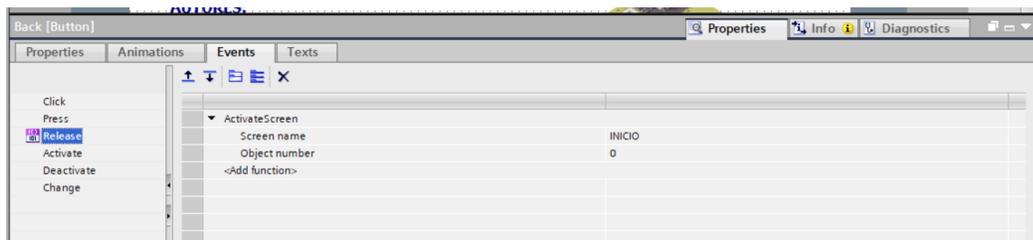
5.9.1 Diseño de la pantalla de Portada

Para la creación de la pantalla denominada "PORTADA", se utilizaron las librerías mencionadas anteriormente en las figuras 88 y 89. En este caso, la información que se incluyó fue el título del proyecto, los nombres de los autores, el tutor y el logo de la universidad, junto con una imagen ilustrada de una PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales).

A continuación, se muestra la configuración del botón de INICIO ubicado en la portada, el cual redirige al "Screen" de INICIO. En este caso, se configuró en las propiedades del botón, específicamente en la sección de "Events", donde se asignó el evento "Release" con la acción "ActivateScreen". Esta acción permite crear un hipervínculo hacia la ventana seleccionada en la opción "Screen name", como se observa en la figura 88.

Figura 88

Configuración del botón en el apartado de propiedades



En la pantalla de la portada se agregaron más datos informativos, como el tema del proyecto de titulación, los autores, el tutor y la imagen de la universidad. Este Screen tiene un propósito más de presentación, donde se incluyen los datos generales como se muestra en la figura 89.

Figura 89

Pantalla del HMI configurada

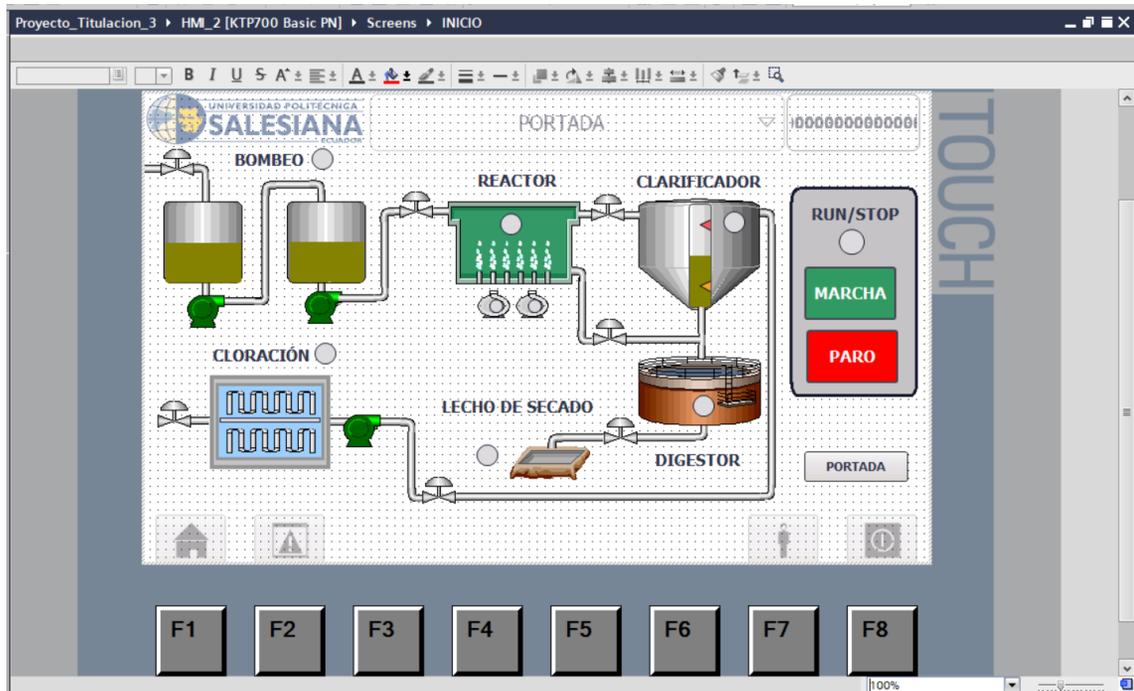


5.9.2 Diseño de la pantalla de Inicio

En la pantalla principal se visualizará de una forma general el estado de cada subproceso. En este caso se utilizaron diferentes gráficos los cuales hacen referencia a los equipos utilizados en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Como se puede visualizar este diagrama esta realizado con referencia a un diagrama P&ID del proceso, figura 90.

Figura 90

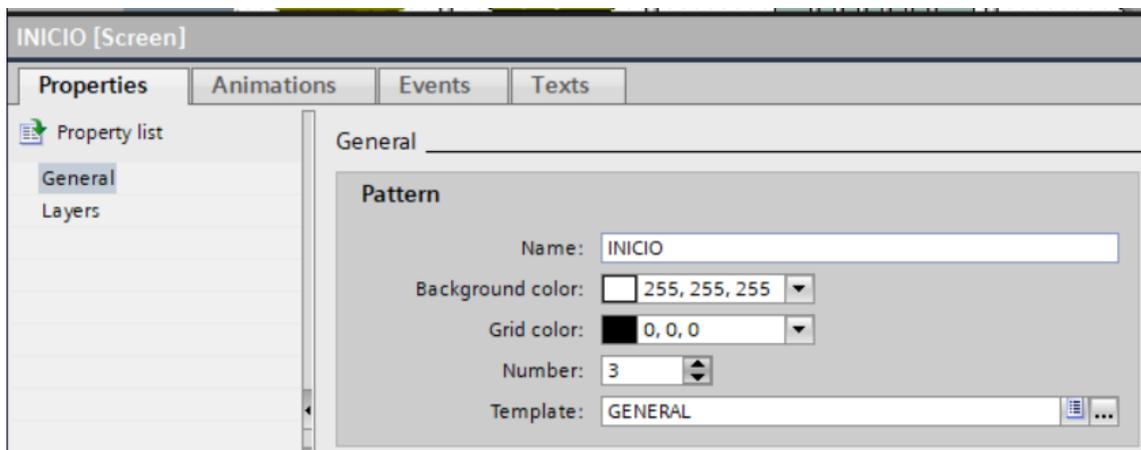
Screen de INICIO



En esta pantalla también se incluyó el ingreso de usuario, el cual otorgará permisos según el tipo de usuario. En este caso, existen dos tipos: "admin" y "Op1". Para ello, se seleccionó el "Template" mencionado anteriormente en la figura 85. A continuación, se muestra en la sección de propiedades la selección del "Template GENERAL", figura 91.

Figura 91

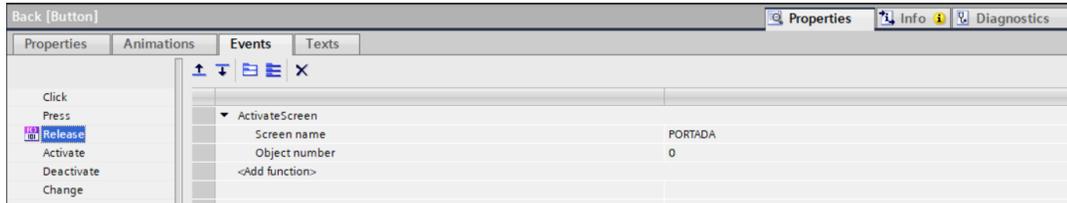
Sección de propiedades donde se coloca el "Template" a seleccionar



La configuración realizada para el botón con la leyenda de "PORTADA" fue para crear un hipervínculo con el Screen de la "PORTADA". A continuación, se muestra en la sección de propiedades lo que se configuró, figura 92.

Figura 92

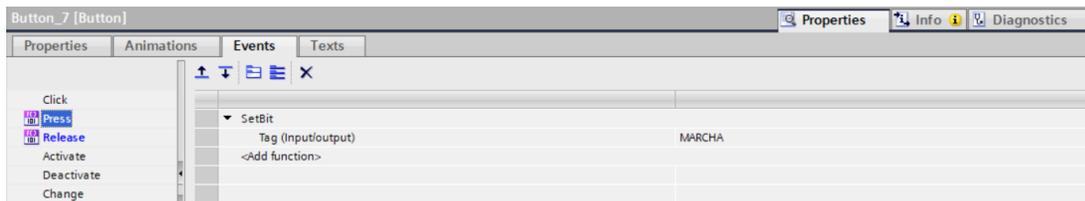
Configuración de "Events" para el botón de "PORTADA"



La configuración que se realizó para el botón MARCHA de todo el proceso fue primero cuando se presione el botón colocar que un "SetBit" así la bobina recibirá el un uno, figura 93.

Figura 93

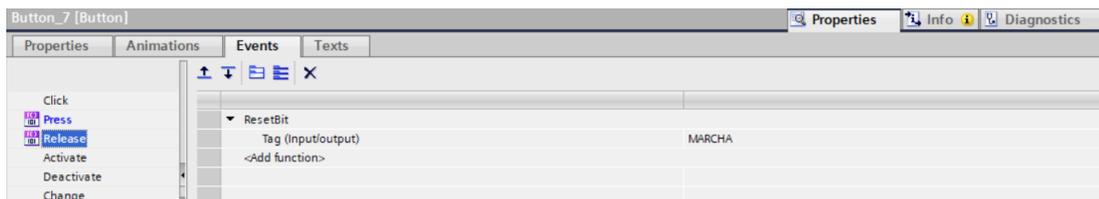
Acción "SetBit" para el botón MARCHA



La configuración que se realizó para el botón MARCHA de todo el proceso con la acción de "ResetBit" es que cuando la bobina se deje de presionar se activara el contacto, figura 94.

Figura 94

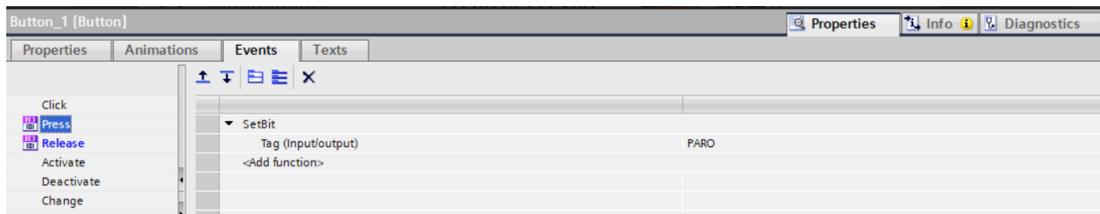
Acción "ResetBit" para el botón MARCHA



La configuración que se realizó para el botón PARO de todo el proceso fue primero cuando se presione el botón colocar que un "SetBit" así la bobina recibirá el un uno, figura 95.

Figura 95

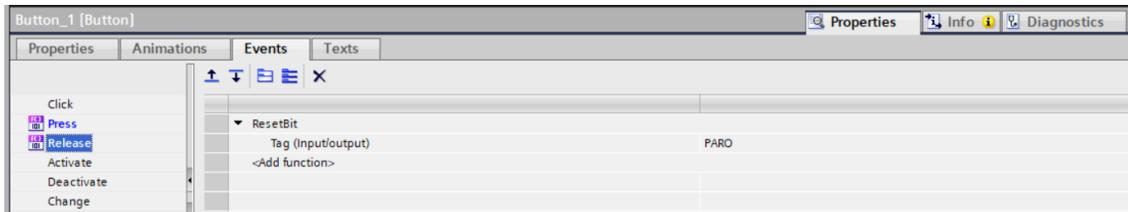
Acción "SetBit" para el botón PARO



La configuración que se realizó para el botón PARO de todo el proceso con la acción de “ResetBit” es que cuando la bobina se deje de presionar se activara el contacto, figura 96.

Figura 96

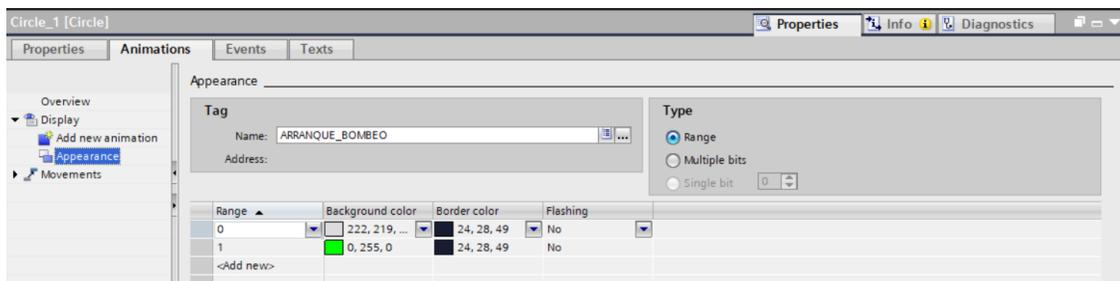
Acción "ResetBit" para el botón PARO



La configuración que se realizó para los pequeños círculos que hacen de luz piloto cuando esa etapa del proceso este activada fue crear un círculo de la librería menciona en la figura 88 y de ahí ir a propiedades y en la sección de “Animations” en “Appearance” colocar en “Name” la variable de arranque perteneciente a cada subproceso que se visualiza en el “Screen” del INICIO. Cabe mencionar que esto se realizó con todas las luces piloto, pero con las siguientes variables subproceso de bombeo (con la variable ARRANQUE_BOMBEO), reactor (con la variable VAL_DESCARGA_BLQ1), clarificador (con la variable ARRANQUE_BLQ2), digestor (con la variable ARRANQUE_DIGESTOR), lecho de secado (con la variable ARRANQUE_DIGESTOR). cloración (con la variable ARRANQUE_BLQ6), figura 97.

Figura 97

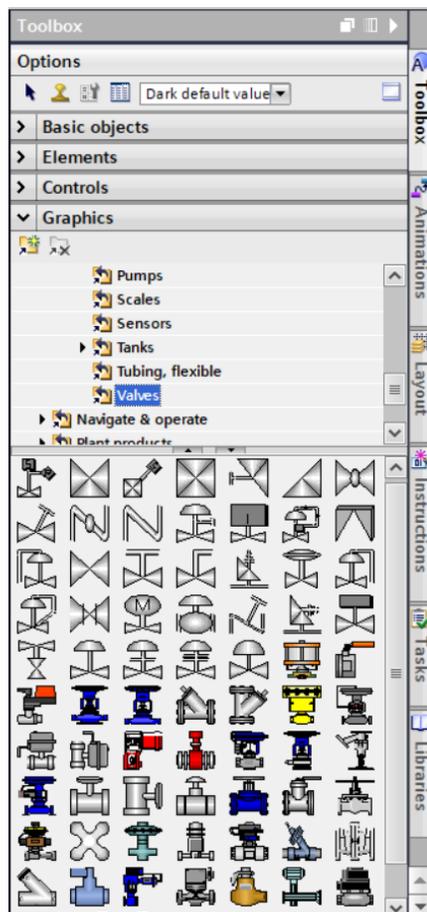
Animación que se debe realizar para cada luz piloto con su respectiva variable



La librería utilizada para colocar las válvulas se encuentra en la sección de *Graphics*, específicamente en la librería *Equipment* y, dentro de esta, en la subcategoría *Other Equipment's [WMF]*, en la parte de *Valves*, como se muestra en la figura 98.

Figura 98

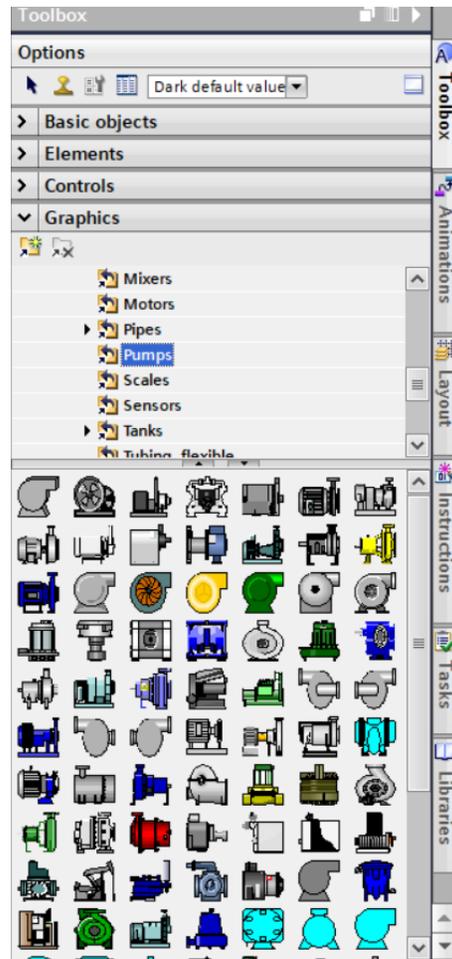
Librería donde se encuentran las válvulas colocadas en el Screen de INICIO



Las bombas se colocaron desde la sección de *Graphics*, específicamente en la librería *Equipment* y, dentro de esta, en la subcategoría *Other Equipment's [WMF]*, en la parte de *Pumps* como se puede visualizar en la figura 99.

Figura 99

Librería utilizada para visualizar las bombas

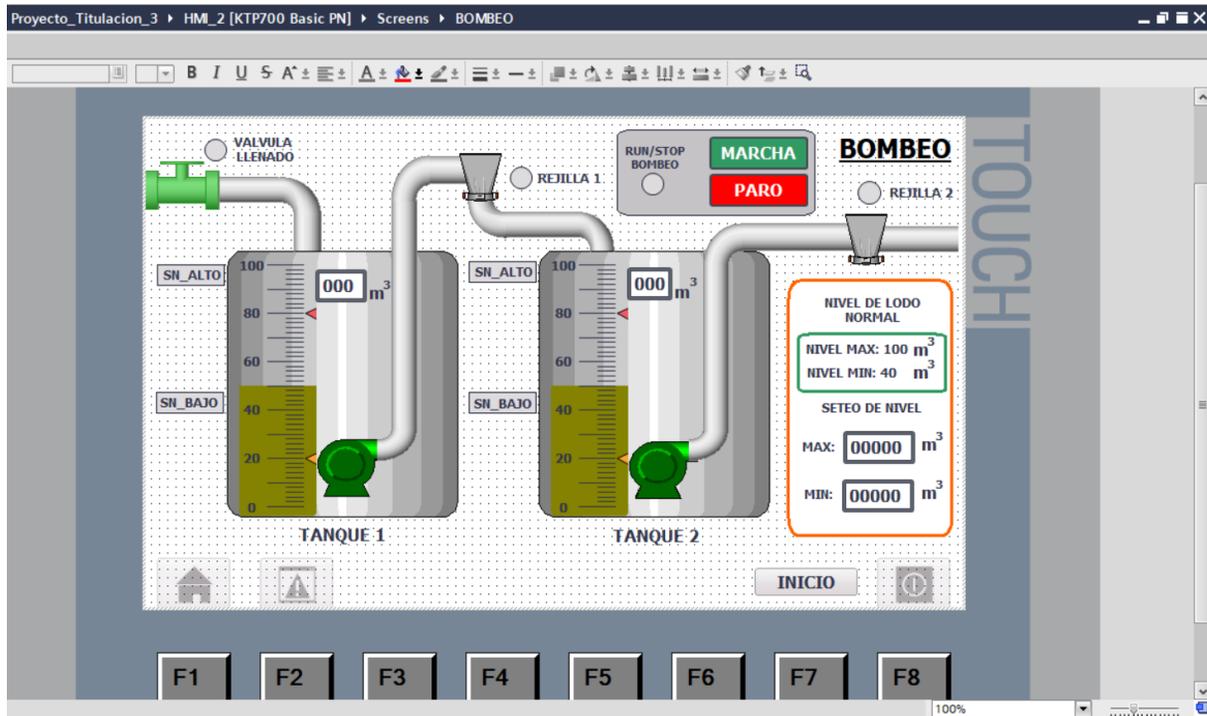


5.9.3 Diseño de la pantalla de Bombeo

En esta pantalla del subproceso de bombeo se encuentran los dos tanques donde se regula y filtra el nivel del líquido. Como se muestra en la figura 100, en esta pantalla se puede visualizar el nivel del tanque, las válvulas, rejillas y bombas que conforman todo el subproceso.

Figura 100

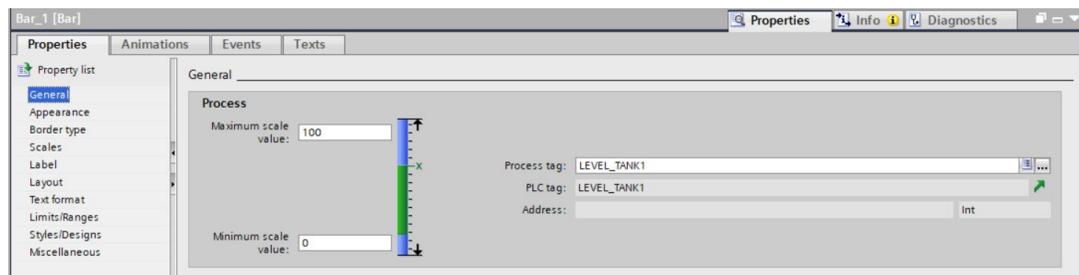
Screen de subproceso de BOMBEO



La librería que permite visualizar gráficamente cómo sube y baja el nivel es la descrita en la figura 89. Para ello, se accede a las propiedades de la *Bar*, donde en la sección *General* se especifica la variable asignada para el tanque 1, *LEVEL_TANK1*. Además, se configuran los niveles máximos y mínimos que tendrá, como se muestra en la figura 101.

Figura 101

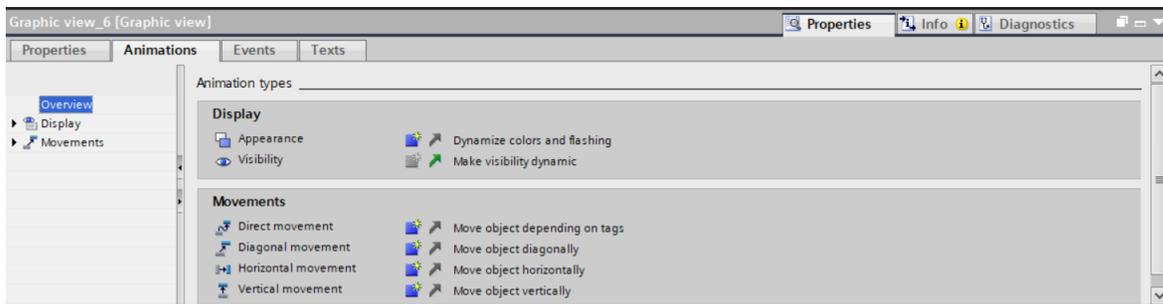
Configuración que se realiza para visualizar el nivel



El siguiente proceso consiste en acceder a las propiedades y seleccionar la opción *Animation* para las dos bombas del subproceso de bombeo. En esta configuración, se escoge la opción *Visibility*, que permite que la figura aparezca o desaparezca según la variable asignada. Esto se ilustra en la figura 102 correspondiente.

Figura 102

Configuración que se realiza para acceder a la opción de visibilidad de la figura



Para que los gráficos sean visibles o invisibles de todas las bombas, se configuró el gráfico de la bomba de color verde conectándolo a la variable de activación de la bomba y estableciendo el rango en 1. Esto se puede observar en la figura 103 correspondiente.

Figura 103

Configuración de la variable bomba cuando sea uno para visibilidad del gráfico en verde de la bomba

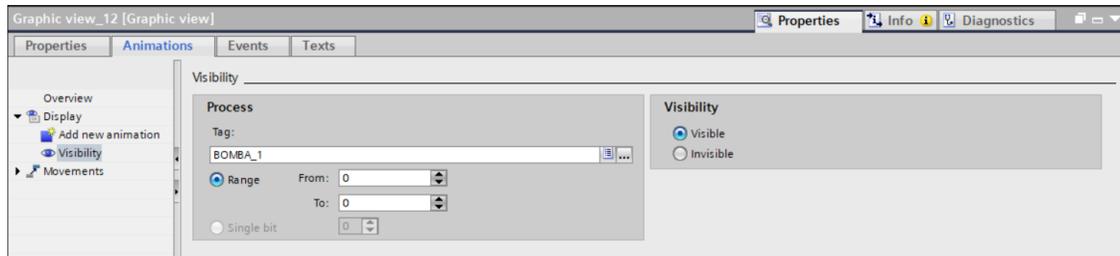


Para que los gráficos sean visibles o invisibles de todas las bombas, se configuró el gráfico de la bomba de color plomo, simulando que está apagada. Este gráfico se conectó a la variable

correspondiente y se configuró para que sea visible cuando el valor de la variable sea igual a cero, como se muestra en la figura 104.

Figura 104

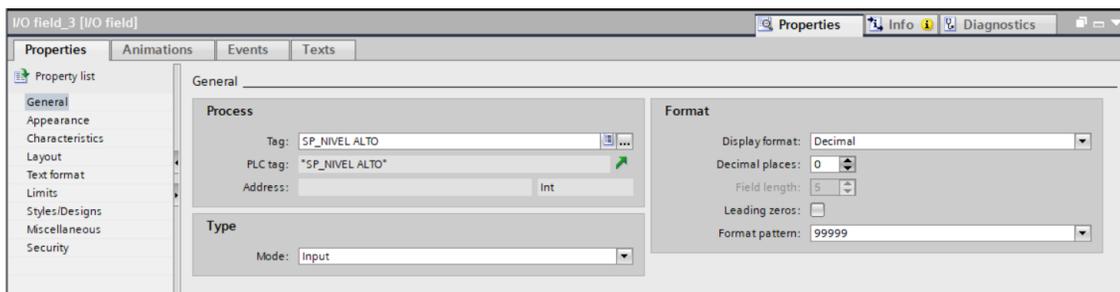
Configuración de la variable bomba cuando sea cero para visibilidad del gráfico en plomo de la bomba



La librería utilizada para configurar los valores de nivel alto mediante la pantalla fue la mencionada en la figura 89, específicamente el elemento *IO/Field*. Este elemento se configura para que sea exclusivamente de entrada y se le asigna la variable correspondiente para permitir el ingreso de datos desde la pantalla. Una vez configurado, el elemento estará completamente funcional. Este procedimiento se realiza para la variable *SP_NIVEL_ALTO*, como se muestra en la figura 105.

Figura 105

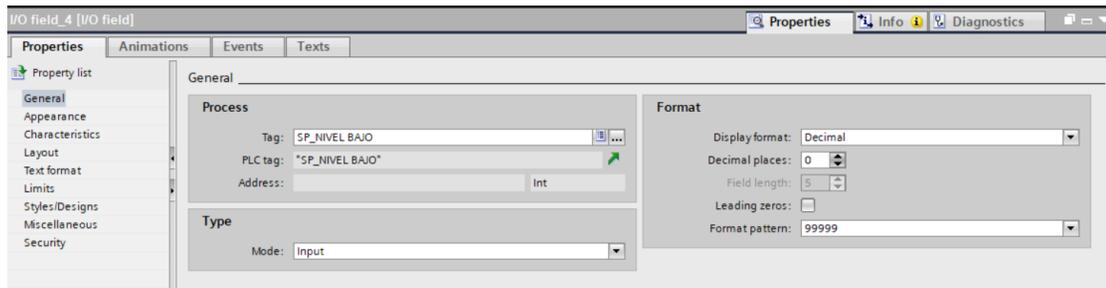
Configuración de set point de nivel alto de los tanques



Como lo mencionado en el anterior párrafo para poder colocar el IO/field se coloca la variable que va a ingresar en este caso fue para SP_NIVEL_BAJO como se muestra en la siguiente figura 106.

Figura 106

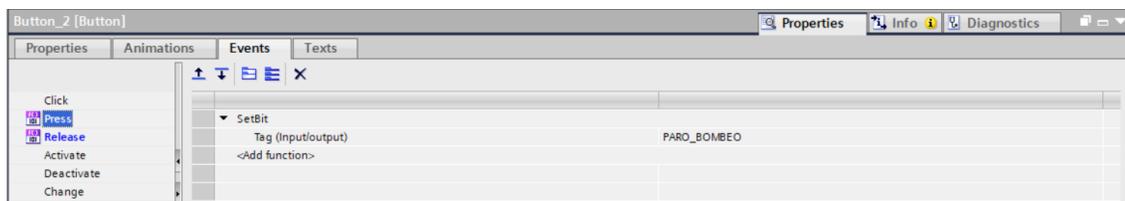
Configuración de set point de nivel bajo de los tanques



También se configuró un botón para el bombeo independiente, lo que significa que este botón no está conectado al paro general, sino que es un paro exclusivo del proceso. En este caso, se asignó la misma variable, PAR_BOMBEO, para las dos acciones, Press y Release, figura 107.

Figura 107

Configuración de botón de PARO independiente del subproceso de bombeo

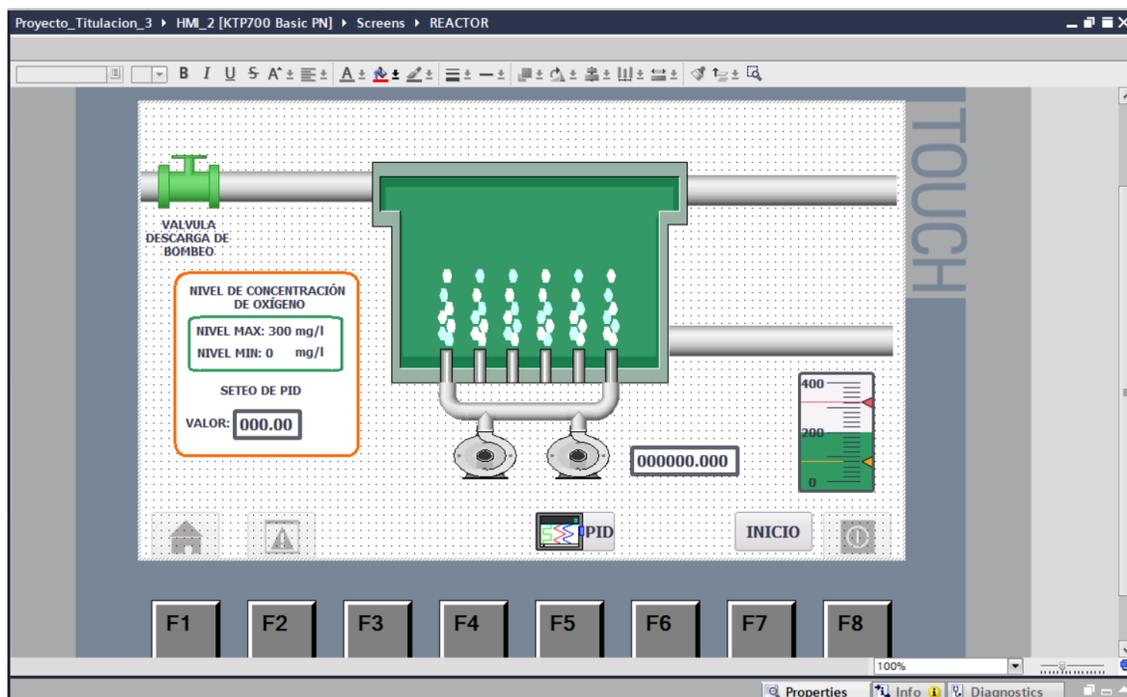


5.9.4 Diseño del subproceso de Reactor

En el Screen del reactor biológico se tiene una válvula de entrada que alimenta al tanque del reactor donde se encuentran los blowers, el Set Point, dos botones de navegación, un *BAR* y un IO/field, figura 108.

Figura 108

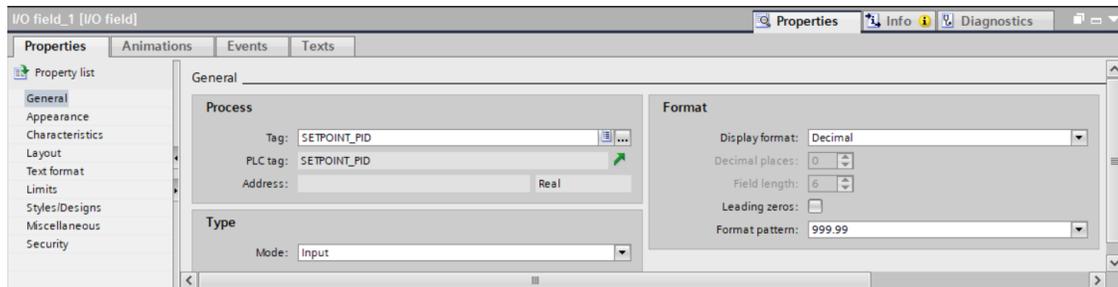
Screen de Reactor Biológico



En la siguiente figura se muestra la variable que está colocada para poder modificar el PID utilizando el elemento IO/field, donde se ingresará mediante la pantalla el Set Point requerido para el sistema, figura 109.

Figura 109

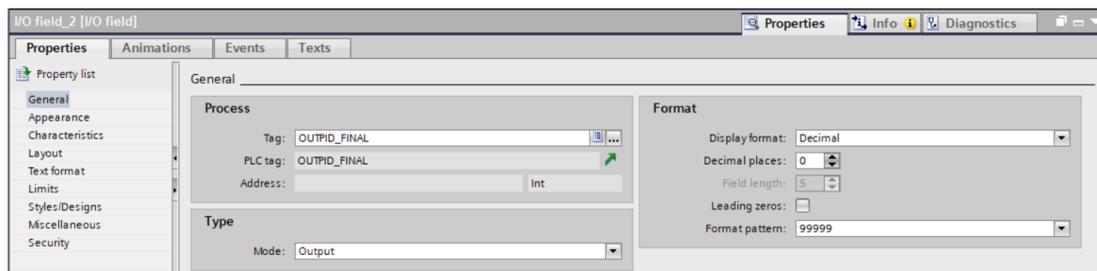
Configuración en propiedades de la entrada por pantalla del PID



El OUTPUT_FINAL del PID, para poder visualizarlo, se colocó el elemento IO/field, el cual se configuró en modo solo salida, ya que solo se observará la salida, como se muestra en la figura 110.

Figura 110

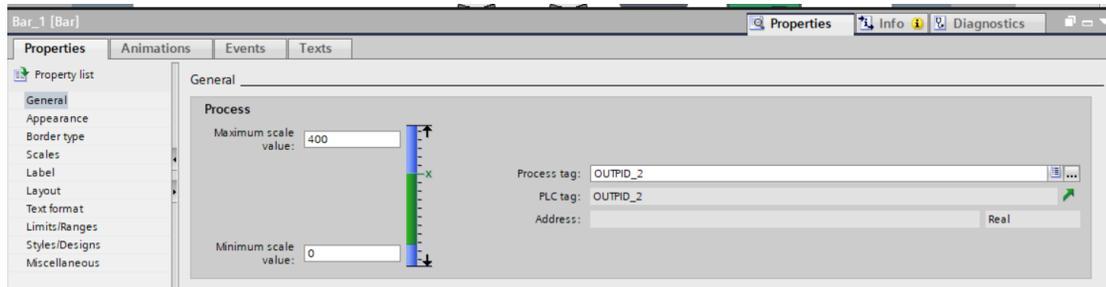
Configuración en propiedades de la salida por pantalla del PID



La configuración del Bar, donde se observará gráficamente la salida del PID, se configuró con un nivel máximo de 400, un nivel mínimo de 100, y la variable que se ingresa para ser visualizada es OUTPID_2, como se muestra en la figura 111.

Figura 111

Configuración de Bar en nivel y la variable que lo controla



La configuración del botón con la leyenda "Inicio" servirá como hipervínculo al Screen de INICIO. En la sección de Propiedades, en Events, se configuró con la acción de Release. figura 112.

Figura 112

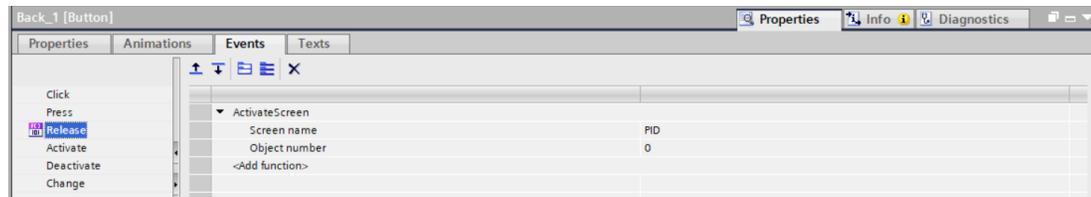
Configuración de botón de INICIO



La configuración del botón con la leyenda "PID" servirá como hipervínculo al Screen de PID donde se encuentra la gráfica. En la sección de Propiedades, en Events, se configuró con la acción de Release. figura 113.

Figura 113

Configuración de botón de PID

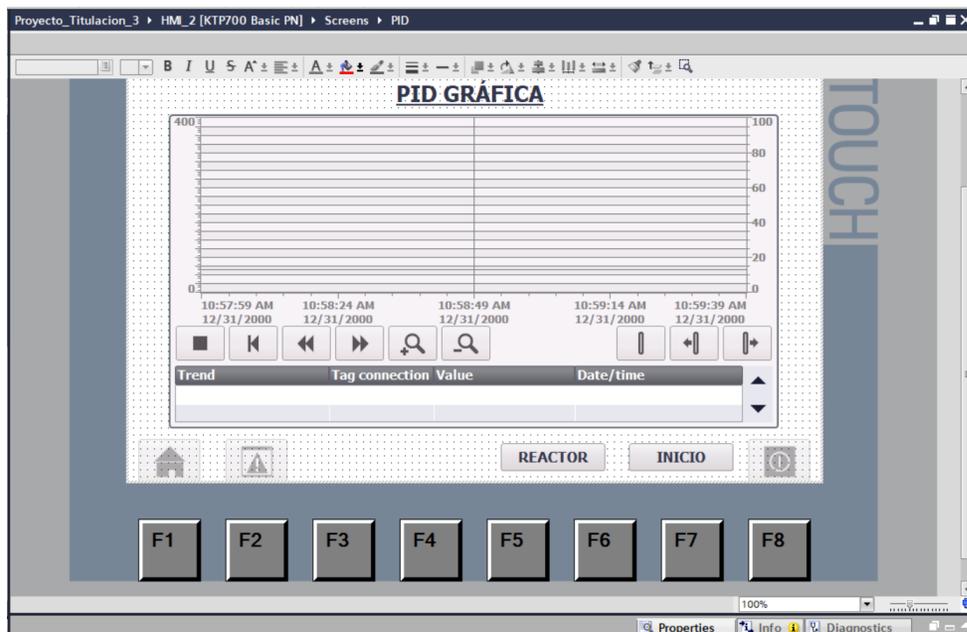


5.9.5 Diseño del subproceso de gráfica de PID

El siguiente Screen contiene los datos del PID, donde se podrá observar la gráfica con las variables SETPOINT_PID, SENSOR_O2 y OUTPUT_FINAL, las cuales se estabilizarán, como se observa en la figura 114.

Figura 114

Screen de la gráfica del PID



La grafica que aparece en el Screen se agregó mediante la librería de *Toolbox* e la sección de *Control* se encuentra como *Trend view*, figura 115.

Figura 115

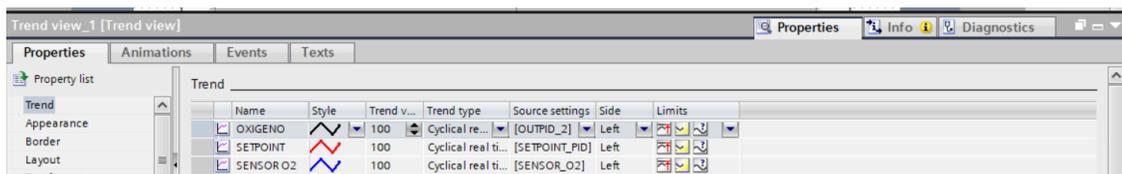
Librería para colocar grafica



Después de agregar la gráfica, se accedió a la sección de propiedades y, en la sección de Trend, se añadieron las tres señales que se querían observar del PID. A cada una se le asignó un color específico, como se muestra en la figura 116.

Figura 116

Configuración de entradas para la gráfica del PID



También se colocó un botón que crea un hipervínculo hacia el Screen del INCICIO que es la pantalla en donde se encuentra todo el proceso de forma general, figura 117.

Figura 117

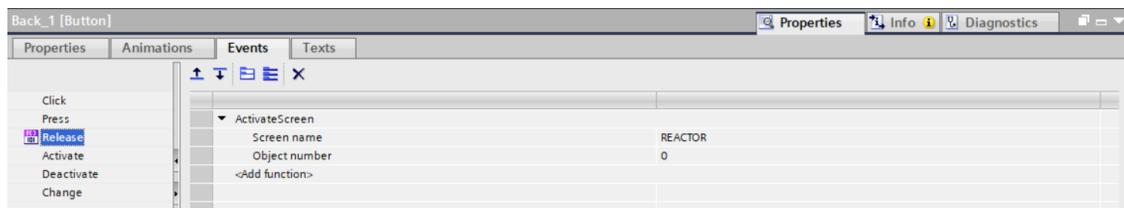
Configuración de hipervínculo hacia el Screen del INICIO



También se colocó un botón que crea un hipervínculo hacia el Screen del REACTOR, que es la pantalla donde se visualizarán los datos seteados y cómo se comportan los blowers, como se muestra en la figura 118.

Figura 118

Configuración de hipervínculo hacia el Screen del REACTOR

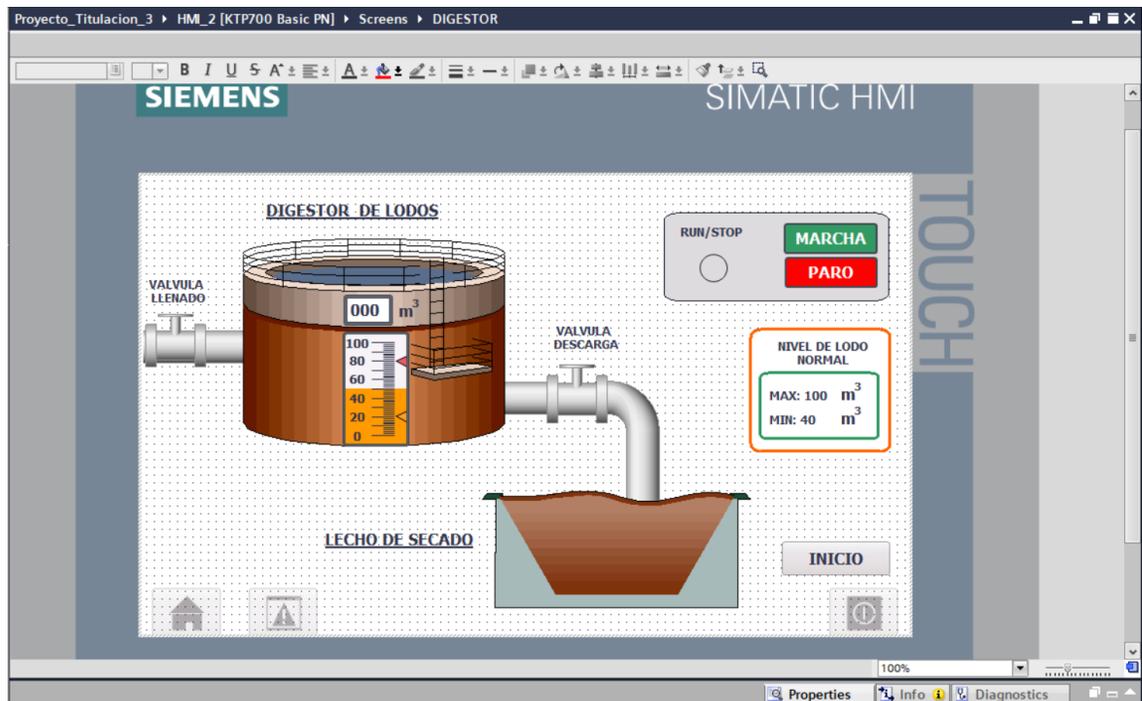


5.9.6 Diseño del subproceso de Digestor y Lecho de Secado

El Screen del Digestor de Lodos y Lecho de Secado tiene una válvula de entrada, una válvula de salida, un Bar (para observar el nivel) y un IO/field (para visualizar solo el número), como se muestra en la figura 119.

Figura 119

Screen del Digestor de Lodos y Lecho de Secado

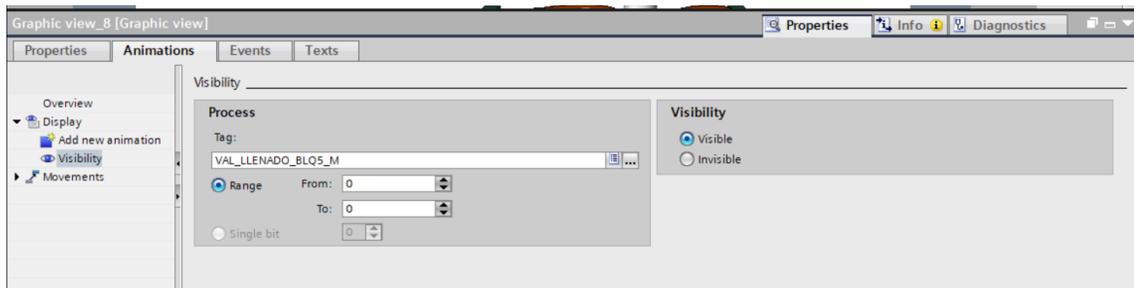


La configuración de la animación de la válvula de llenado se realizó utilizando la opción de visibilidad. En este caso, se colocó una imagen de una válvula en color plomo, que simula que

no está pasando flujo por ella. Para realizar esta animación, se debe ir a **Propiedades**, seleccionar la opción de animación de visibilidad, y agregar la variable, que en este caso fue **VAL_LLENADO_BQ5_M**. Luego, se debe establecer el rango en 0 para ambos casilleros, como se observa en la figura 120.

Figura 120

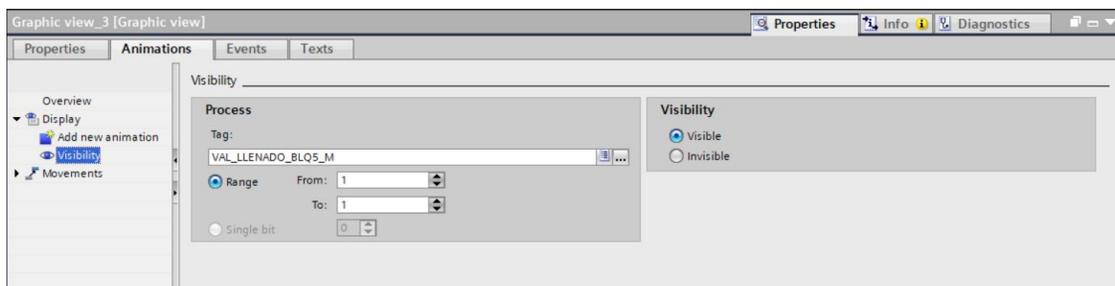
Configuración con visibilidad válvula en cero colores plomo



La configuración de la animación de la válvula de llenado se realizó utilizando la opción de visibilidad. En este caso, se colocó una imagen de la válvula en color verde, que indica que está activa y permitiendo el flujo. Para implementar esta animación, se accede a la sección **Propiedades**, se selecciona la opción de animación de visibilidad y se asigna la variable **VAL_LLENADO_BQ5_M**. Posteriormente, se establece el rango en 1 para ambos casilleros, como se ilustra en la figura 121.

Figura 121

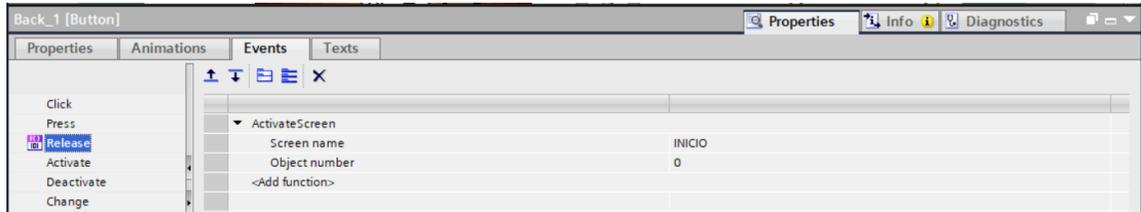
Configuración con visibilidad válvula en uno colores verdes



También se colocó un botón que crea un hipervínculo desde la pantalla del digestor hacia el Screen del INCIO que es la pantalla en donde se encuentra todo el proceso de forma general, figura 122.

Figura 122

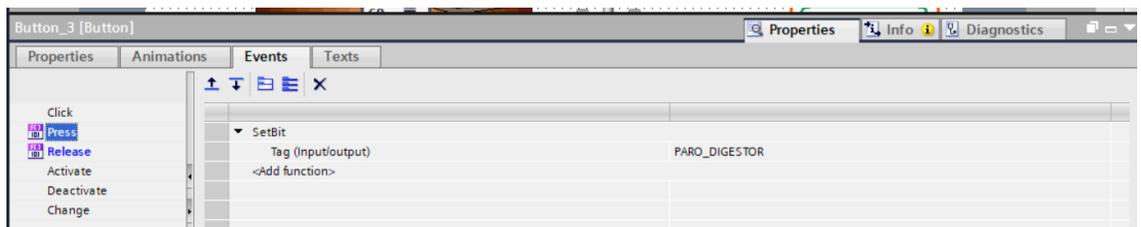
Configuración de hipervínculo desde la pantalla del digestor hacia el Screen del INICIO



También se configuró un botón exclusivo para el paro del subproceso del digestor. Este botón no está conectado al paro general, ya que se diseñó específicamente para detener únicamente este proceso. En este caso, se asignó la variable **PARO_DIGESTOR** tanto para las acciones de **Press** como de **Release**, como se muestra en la figura 123.

Figura 123

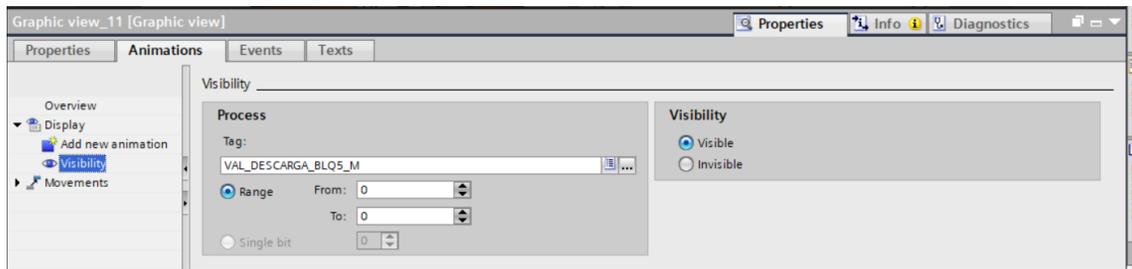
Configuración de botón de PARO independiente del subproceso de digestor



La configuración de la animación de la válvula de descarga se realizó utilizando la opción de visibilidad. En este caso, se colocó una imagen de una válvula en color plomo, que simula que no está pasando flujo por ella. Para implementar esta animación, se debe acceder a **Propiedades**, seleccionar la opción de animación de visibilidad y agregar la variable **VAL_DESCARGA_BLQ5_M**. Posteriormente, se establece el rango en 0 para ambos casilleros, como se ilustra en la figura 124.

Figura 124

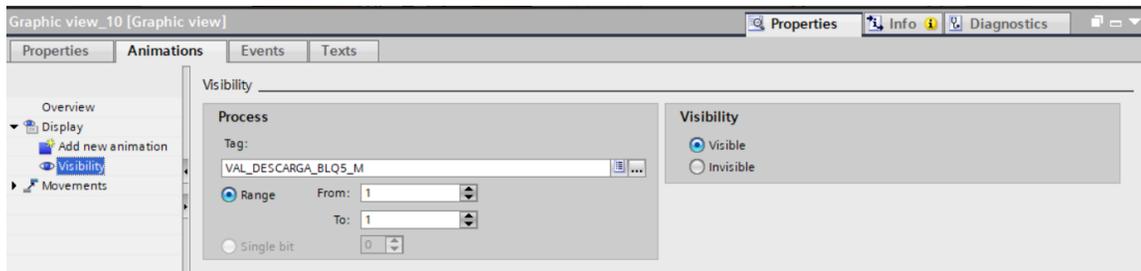
Configuración con visibilidad válvula en cero colores plomo subprocesso del digestor



La configuración de la animación de la válvula de descarga se realizó utilizando la opción de visibilidad. En este caso, se colocó una imagen de la válvula en color verde, que indica que está activa y permitiendo el flujo. Para implementar esta animación, se accede a la sección **Propiedades**, se selecciona la opción de animación de visibilidad y se asigna la variable **VAL_DESCARGA_BLQ5_M**. Posteriormente, se establece el rango en 1 para ambos casilleros, como se ilustra en la figura 125.

Figura 125

Configuración con visibilidad válvula en uno colores verde subprocesso del digestor

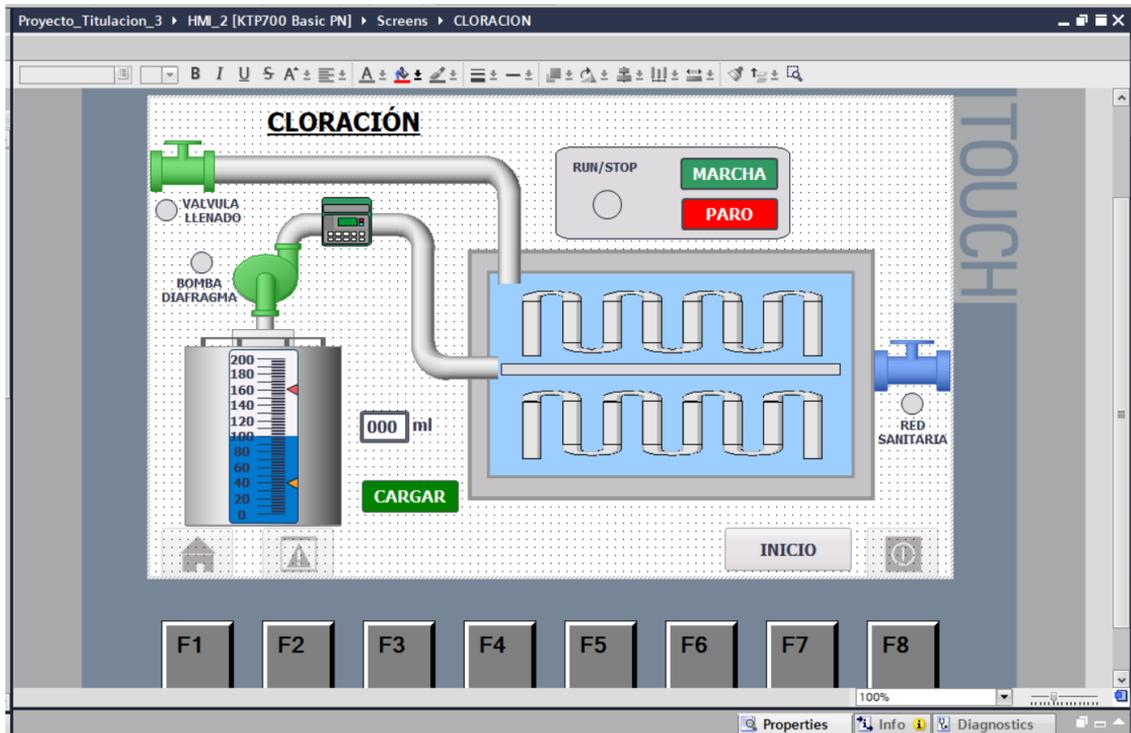


5.9.7 Diseño del subprocesso de Cloración

El **Screen** de cloración incluye una válvula de entrada, una red sanitaria, un bar para observar gráficamente el nivel del hipoclorito de sodio, un campo IO/Field para visualizar numéricamente dicho nivel, un botón de marcha, un botón de paro y un botón con un hipervínculo al **Screen** de INICIO, como se muestra en la figura 126.

Figura 126

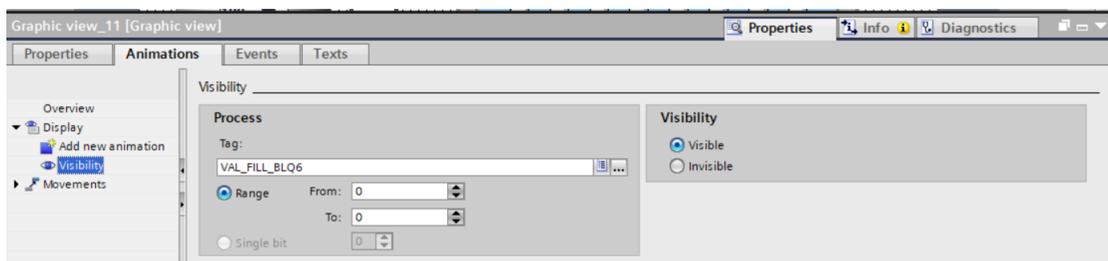
Screen de Cloración



La configuración de la animación de la válvula de llenado para el proceso de hipoclorito de sodio se realizó utilizando la opción de visibilidad. En este caso, se colocó una imagen de una válvula en color plomo, que simula que no está pasando flujo por ella. Para implementar esta animación, se debe acceder a **Propiedades**, seleccionar la opción de animación de visibilidad y agregar la variable **VAL_FILL_BLK6**. Posteriormente, se establece el rango en 0 para ambos casilleros, como se ilustra en la figura 127.

Figura 127

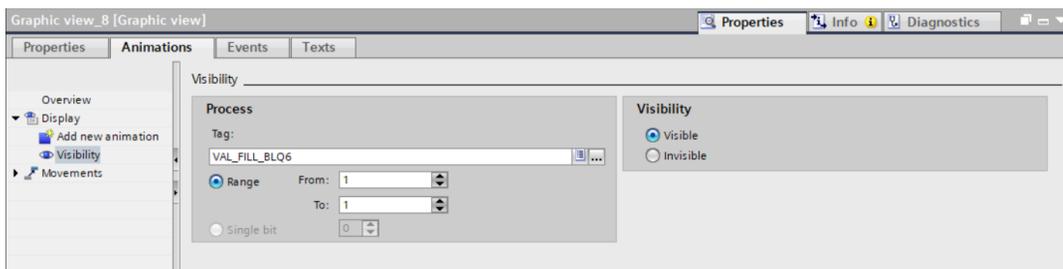
Configuración con visibilidad válvula en uno colores plomo subprocesso de la cloración



La configuración de la animación de la válvula de llenado para el proceso de hipoclorito de sodio se realizó utilizando la opción de visibilidad. En este caso, se colocó una imagen de una válvula en color verde, que simula que está pasando flujo por ella. Para implementar esta animación, se debe acceder a **Propiedades**, seleccionar la opción de animación de visibilidad y agregar la variable **VAL_FILL_BLK6**. Posteriormente, se establece el rango en 1 para ambos casilleros, como se ilustra en la figura 128.

Figura 128

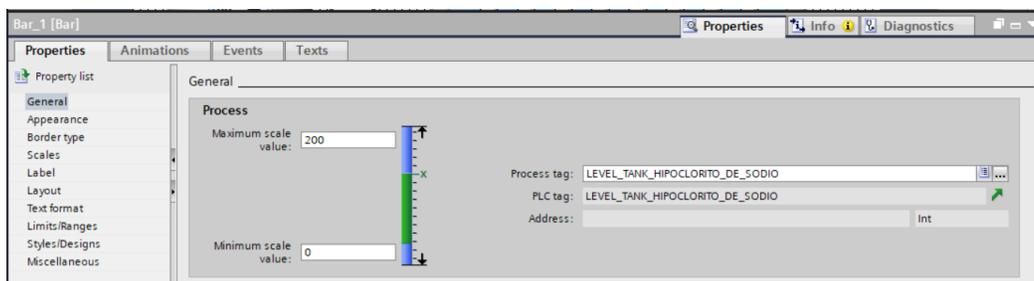
Configuración con visibilidad válvula en un color verde subproceso de la cloración



La configuración del bar, donde se observará gráficamente el nivel de hipoclorito de sodio en el tanque, se realizó estableciendo un nivel máximo de 200 y un nivel mínimo de 0. La variable asignada para su visualización es **LEVEL_TANK_HIPOCLORITO_DE_SODIO**, como se muestra en la figura 129.

Figura 129

Configuración de Bar en nivel con su respectiva variable de nivel de hipoclorito de sodio

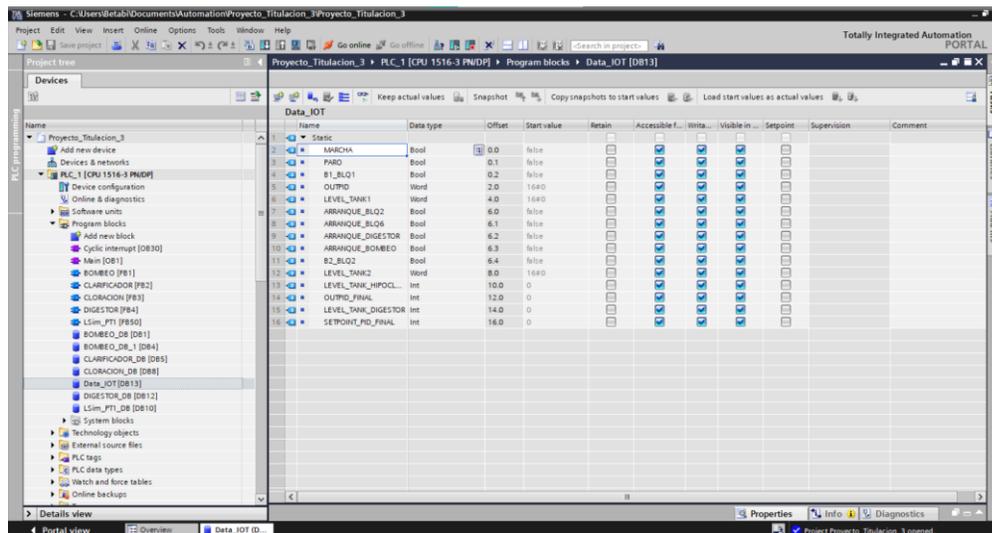


5.10 Diseño del Dashboard en Node-Red

Para la configuración del **Dashboard**, lo primero que se realizó fue definir las variables que se enviarían para la visualización y monitoreo de la planta. Para esto, fue necesario crear un **Bloque DB**, donde se asignaron las variables con el mismo nombre y tipo. Después de crear las variables en el bloque **DB**, se compiló el proyecto, generando una dirección única para cada variable, la cual se utilizará posteriormente en la programación de **Node-RED**, figura 130.

Figura 130

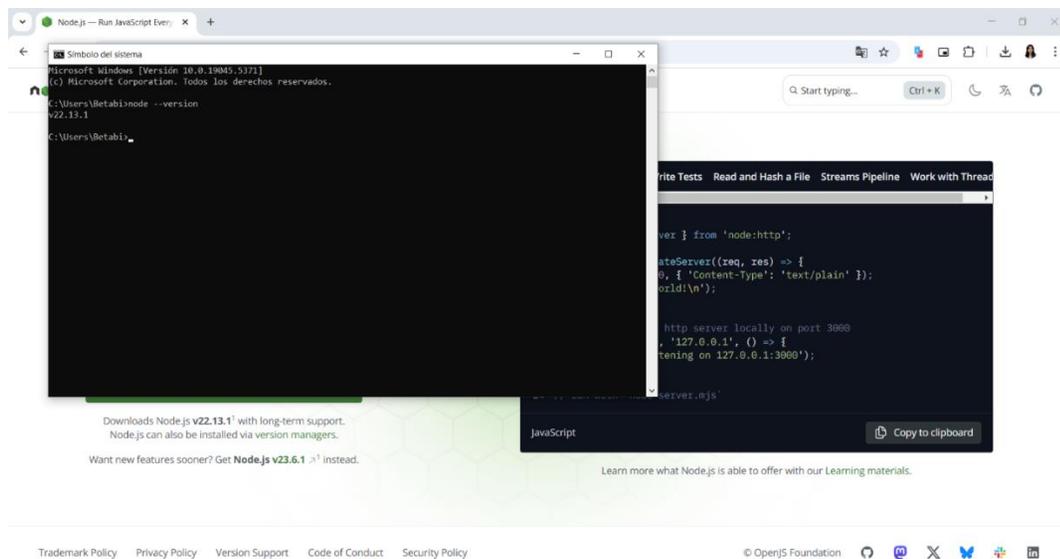
Creación de variables en Bloque DB para correcto envío de data



Para que la comunicación sea efectiva, en el caso de los datos booleanos, su contactor se colocó en serie con una bobina conectada al bloque **DB**, como se observa en la figura 74. Para los datos de tipo **Int** y **Word**, se añadió un bloque **Move**, siguiendo el mismo procedimiento de llamar a la variable del PLC y enlazarla al bloque **DB**, como se muestra en la figura 75. A partir de lo anterior, se procedió a instalar **Node-RED** en la computadora. Para esto, primero se instaló **Node.js**, como se ilustra en la figura 131.

Figura 131

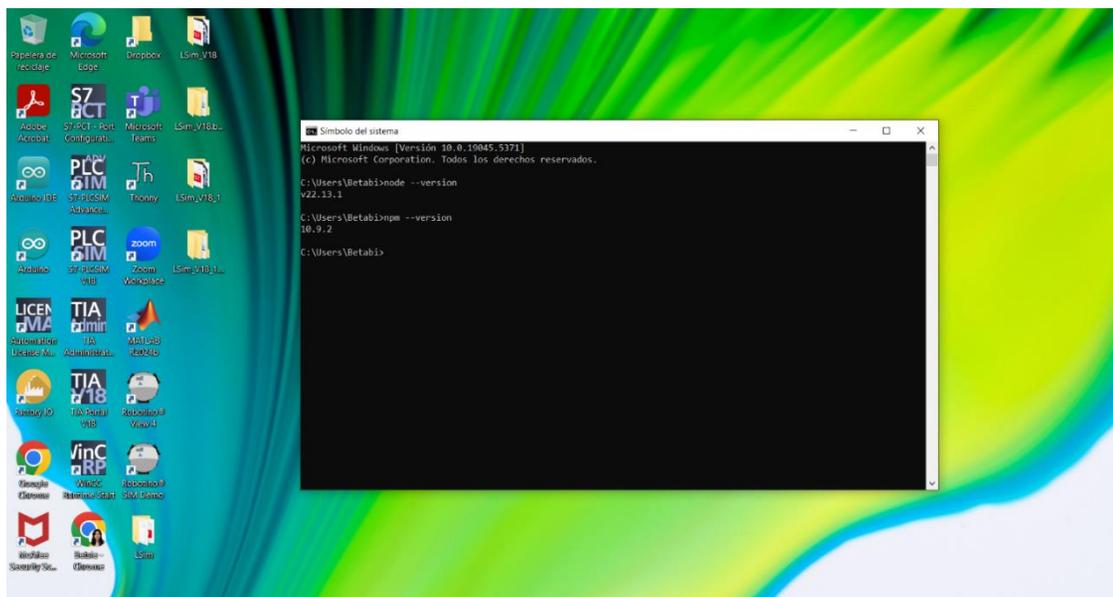
Instalación de Node.js



Una vez instalado **Node.js**, se verificó la versión instalada de **Node.js** y **npm** desde el **CMD**, ejecutando los siguientes comandos `node --version` y `npm --version`, como se observa en la figura 132.

Figura 132

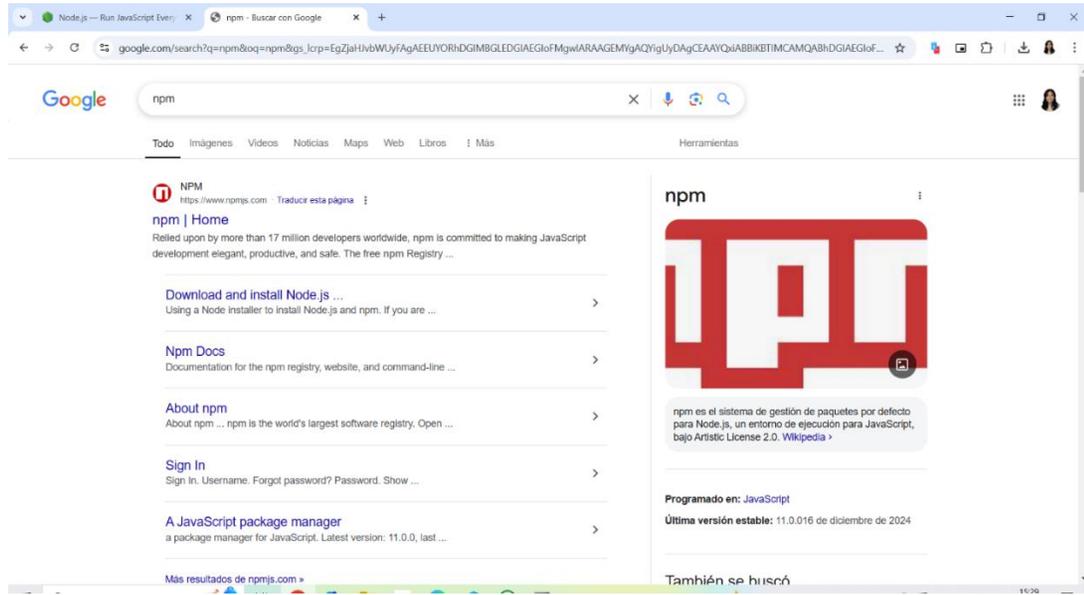
Verificación de versión de Node-RED



Como siguiente paso, se ingresa al buscador en el navegador de Google y se escribe "npm", como se muestra en la figura 133.

Figura 133

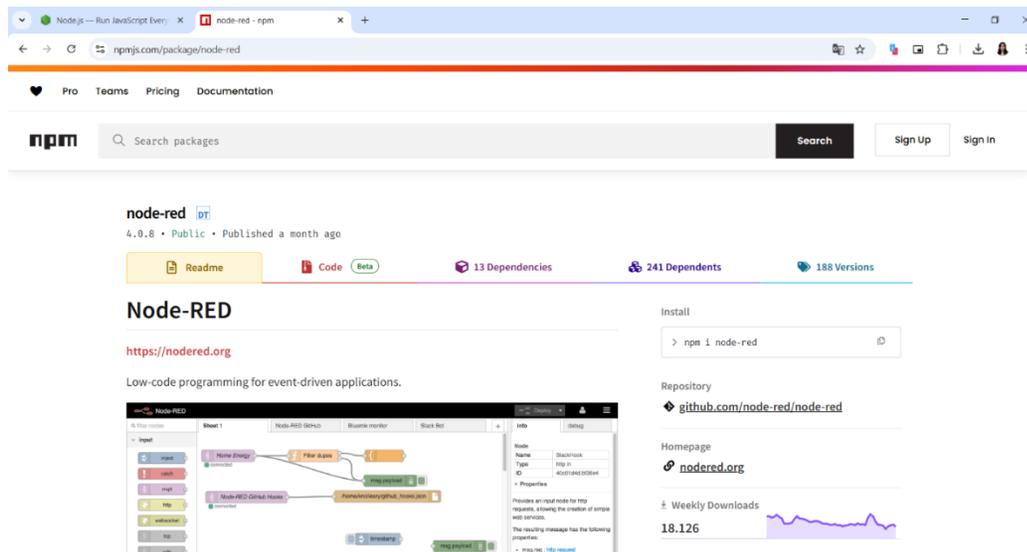
Buscando en Google npm



Dentro de la página de **npm** en la parte del buscador, se escribe la palabra **Node-RED**, tal como se visualiza en la figura 134.

Figura 134

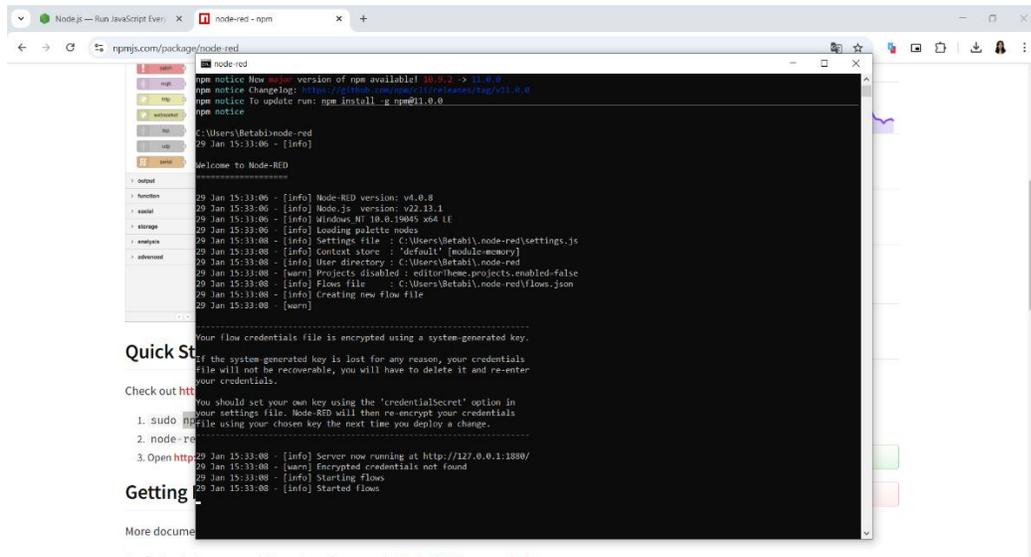
Node-Red en npm



Después de ejecutar el comando, aparecerá una ventana emergente preguntando si se permiten los permisos para la aplicación. Se selecciona "**Permitir acceso**", figura 137.

Figura 137

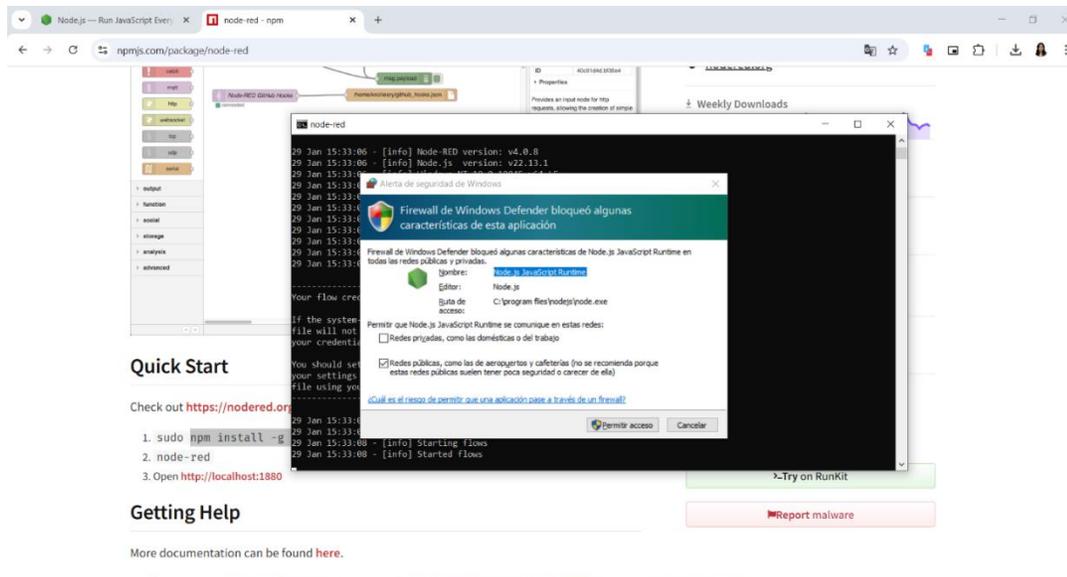
Mensaje que muestra que la instalación fue exitosa



Al otorgar los permisos, en el **CMD** aparecerá un mensaje indicando que todo se instaló correctamente, como se observa en la figura 138.

Figura 138

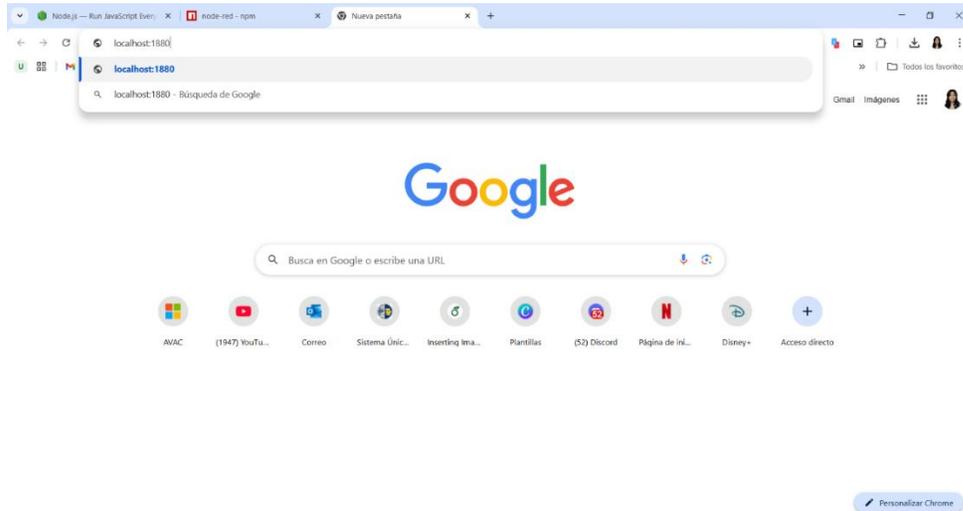
Ventana emergente de dar accesos a la aplicación



Posteriormente, se abre el navegador web y se procede a ingresar localhost:1880, como se muestra en la figura 139.

Figura 139

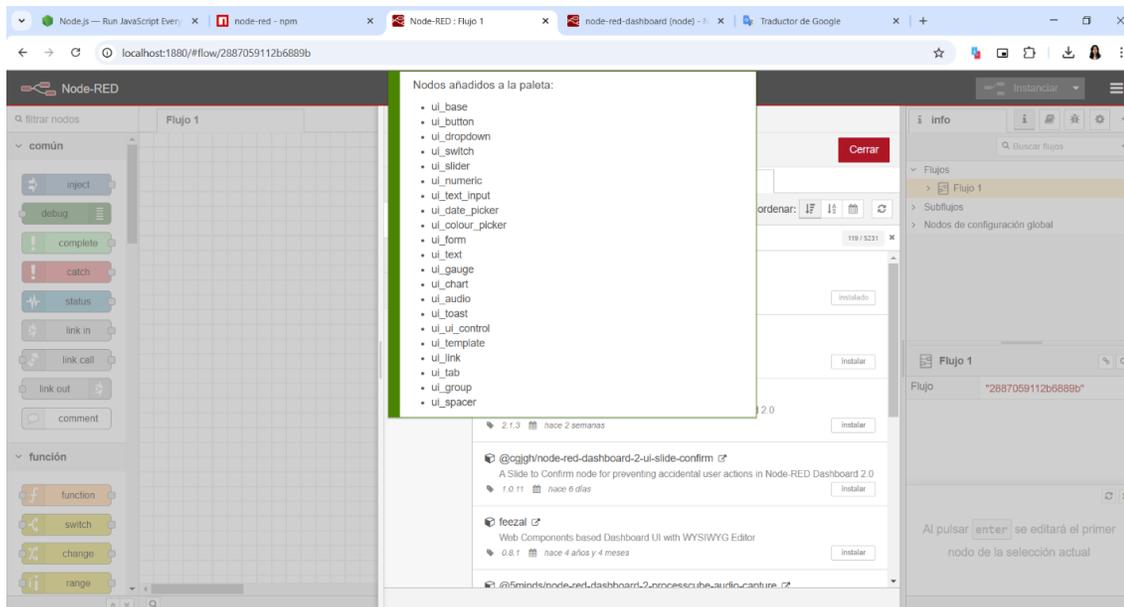
Ingreso de comando para abrir la página donde se instala Node-RED



En la página cargada, se accede a la sección **Manage Palette**, donde se escribe "dashboard" para instalar las librerías necesarias para trabajar en la pantalla visual. Una vez completada la instalación, se mostrará un mensaje confirmando que todo se instaló con éxito, figura 140.

Figura 140

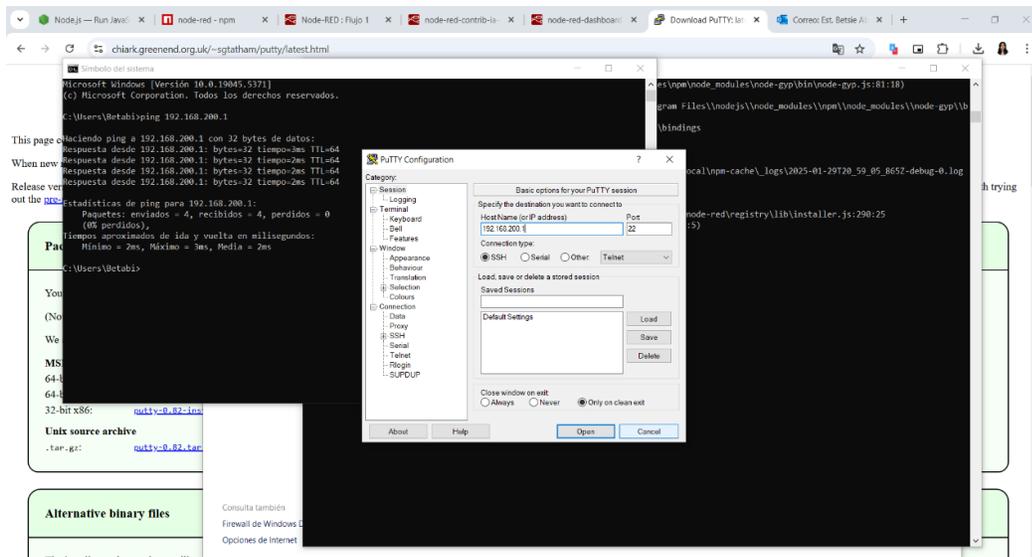
Mensaje de confirmación de descarga de librería exitosa



Para establecer la comunicación, primero se grabó en una **SD de 32 GB** los archivos necesarios para el módulo **IOT2040**. Luego, se abrió el programa **PutTY Configuration** y se configuró la dirección IP correspondiente a la misma red, reemplazando la predeterminada, figura 141.

Figura 141

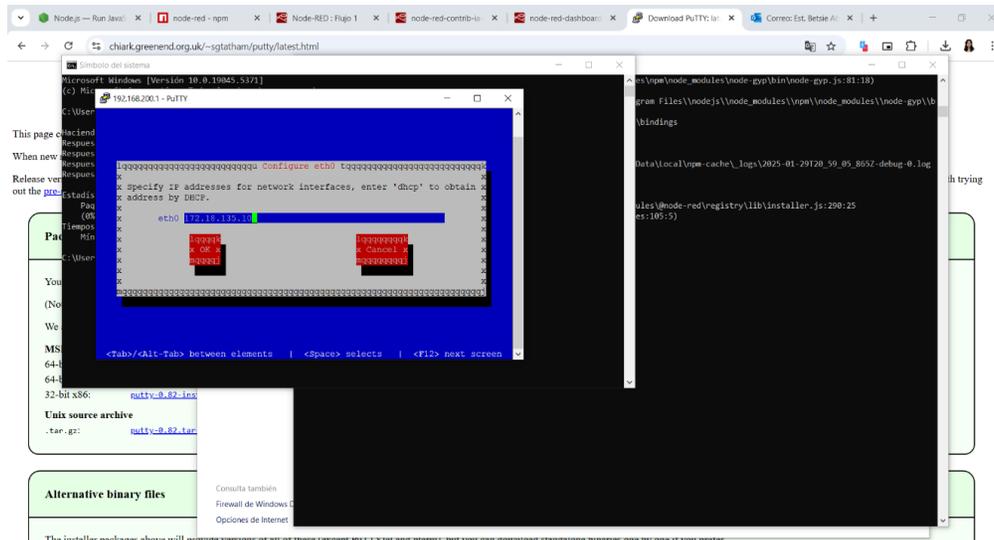
PutTY Configuration, configuración de IP



Con la dirección IP configurada, se accede al navegador y se abre **Node-Red** con la IP asignada al módulo **IOT2040**, como se muestra en la figura 142.

Figura 142

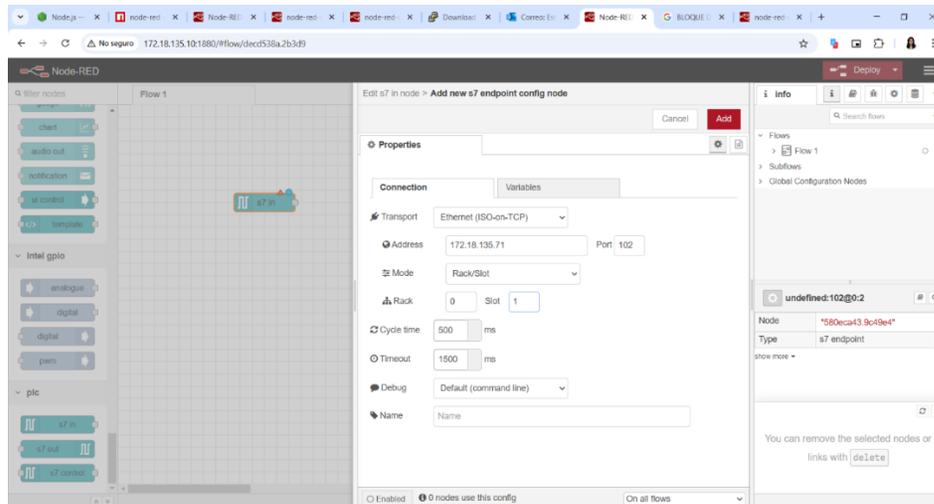
Configuración para que este dentro de la misma Red



A continuación, se procedió a conectar las variables del PLC al módulo **IOT2040** desde la sección **Connection**, utilizando la dirección IP del PLC correspondiente, como se ilustra en la figura 143.

Figura 143

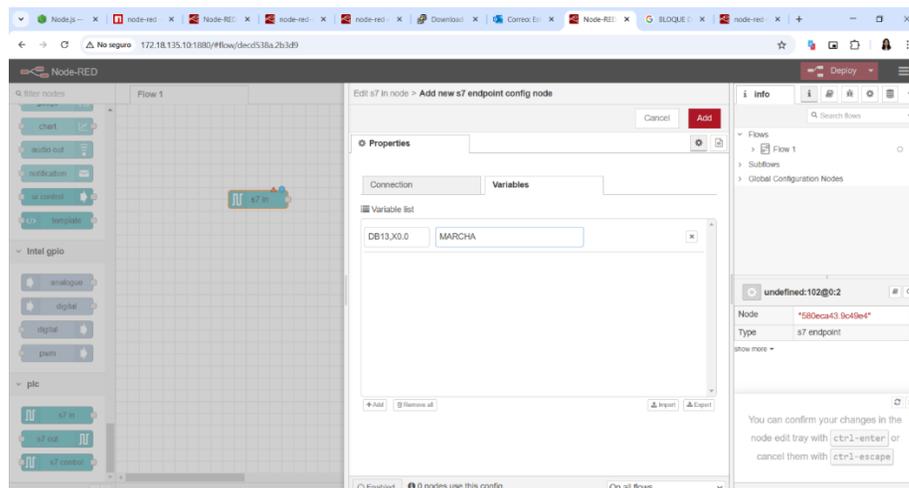
Configuración de Connection



Para configurar el tipo de variable, si es de tipo **entero**, se debe escribir de la siguiente manera: DB (número del bloque DB), X (dirección generada en el bloque DB para la variable), nombre de la variable, figura 144.

Figura 144

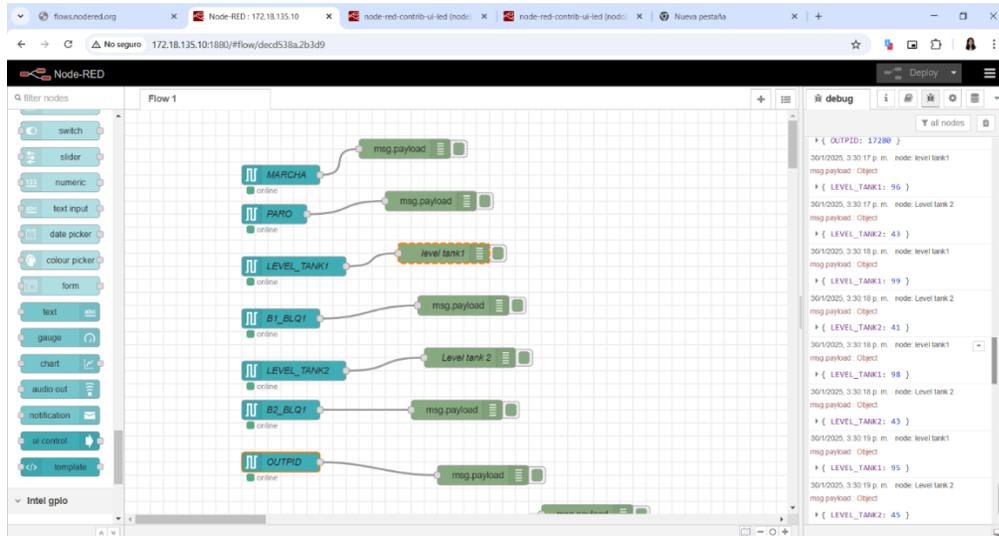
Configuración en la sección de Variables



Después de realizar esta configuración, se instalaron las librerías necesarias para el PLC y se agregó un **debug** para verificar que todo funcione correctamente, figura 145.

Figura 145

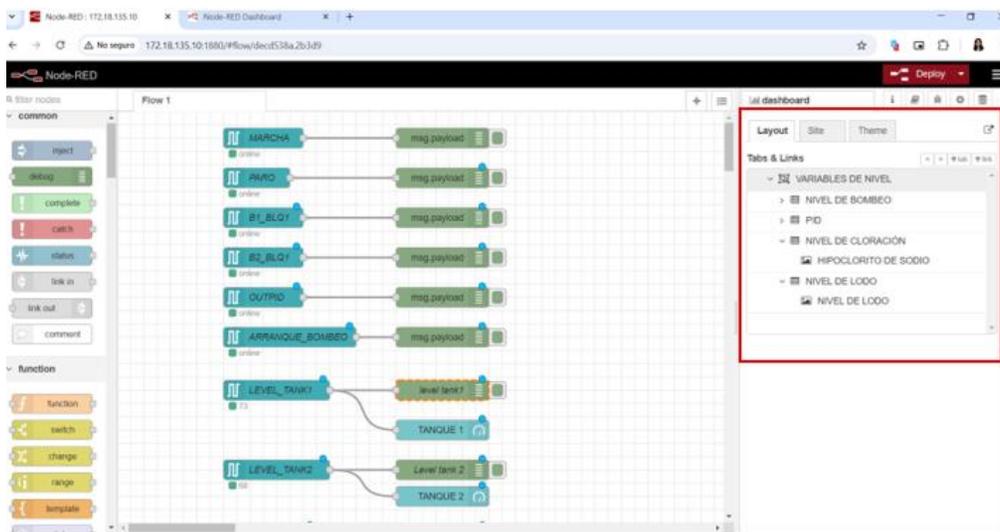
Configuración de la variable del PLC hacia la nube



Finalmente, se configuraron las gráficas que se desean mostrar en el **Dashboard**, como se visualiza cada variable. A continuación, se presenta la sección del **Layout**, donde se puede observar cómo se visualizarán las gráficas, figura 146.

Figura 146

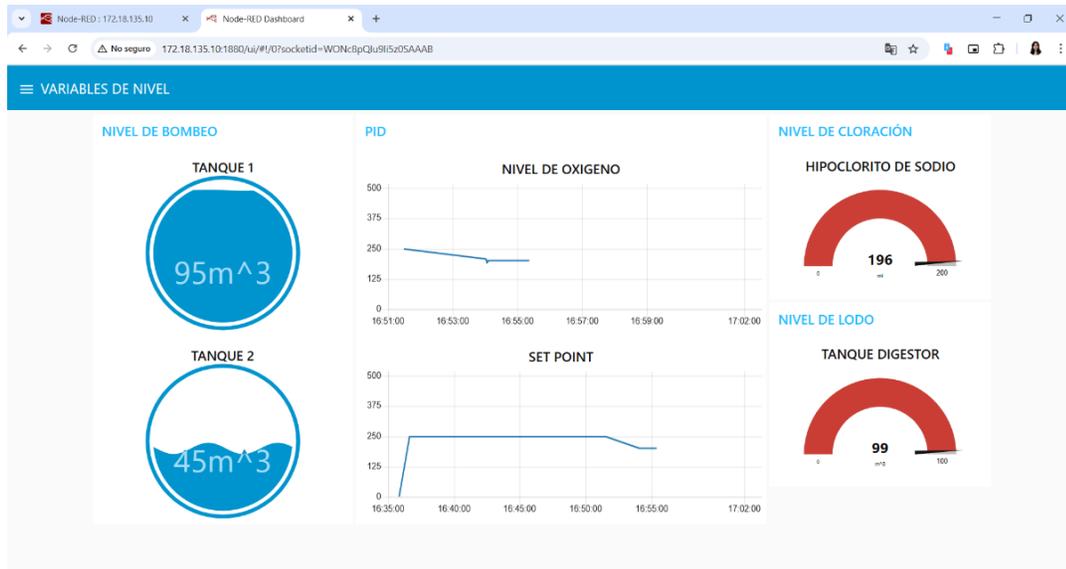
Sección de Layout



A continuación, se presenta el Dashboard final el cual contiene las variables de nivel en dos formatos: **Level** y **Gauge**. También las gráficas del nivel de oxígeno, nivel de hipoclorito de sodio, nivel del tanque digestor y del Set Point, como se muestra en la figura 147.

Figura 147

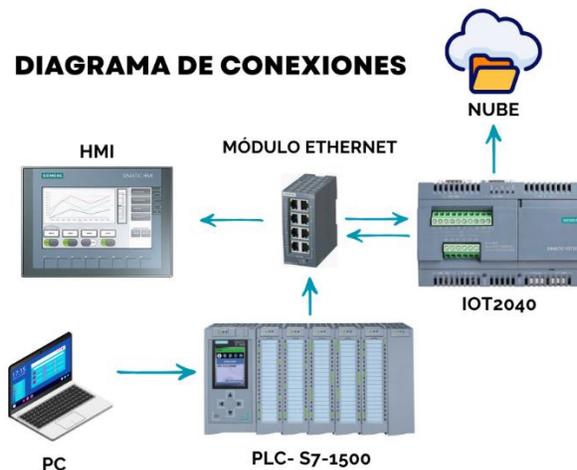
Dashboard final con todas las gráficas



El diagrama de conexiones físicas que se realizó para la comunicación y el envío de datos de todo el proyecto se llevó a cabo de la siguiente manera, figura 148.

Figura 148

Diagrama de conexiones de todo el proceso



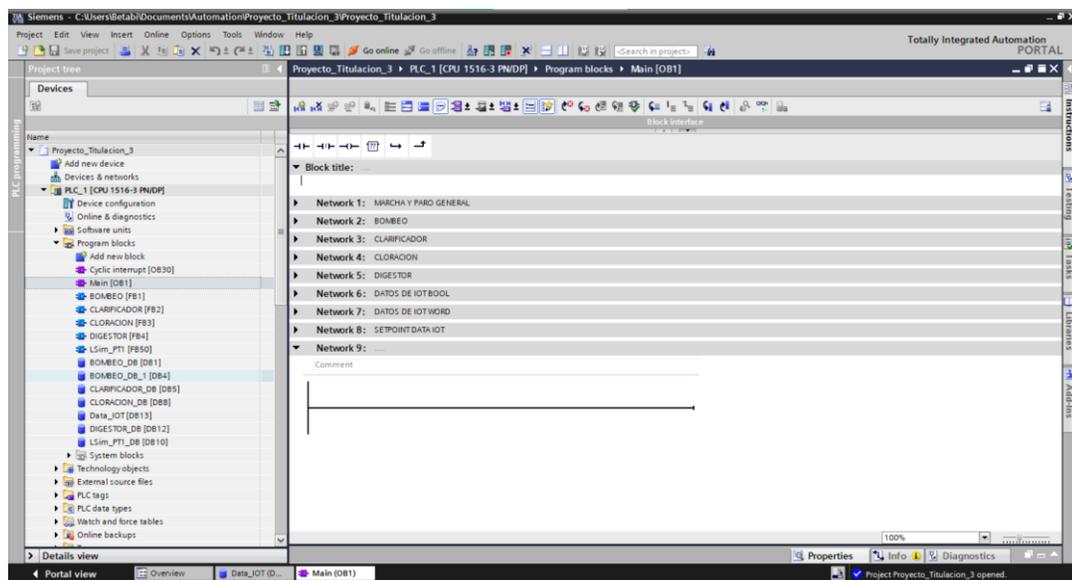
VI RESULTADOS

6.1 Ejecución del proyecto en el TIA Portal

Para comenzar, se selecciona la sección de programación Main del proyecto desarrollado en TIA Portal. Esto con la finalidad de compilar el programa para identificar posibles errores en la ejecución, tal como lo muestra la figura 149.

Figura 149

Sección del bloque Main



De igual forma, se selecciona la sección del HMI para compilar todos los screens desarrollados para interactuar los distintos subprocesos de la PTAR. Esto se realiza para identificar posibles errores de programación, dicho proceso queda representado en la figura 150.

Figura 150

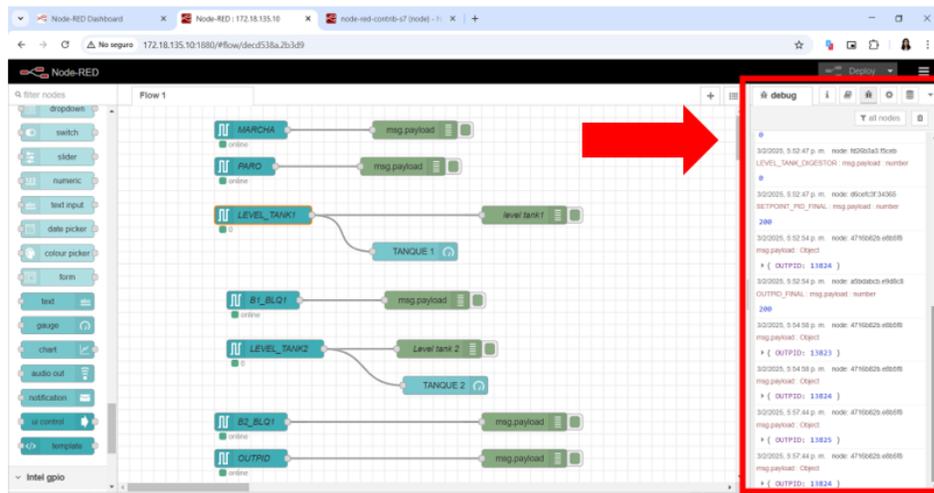
Sección del HMI



Previo a haber realizado las conexiones necesarias y configuraciones, se verifica que hay comunicación entre el módulo de comunicación IOT2040 y el Node-RED, como lo muestra en la figura 151.

Figura 151

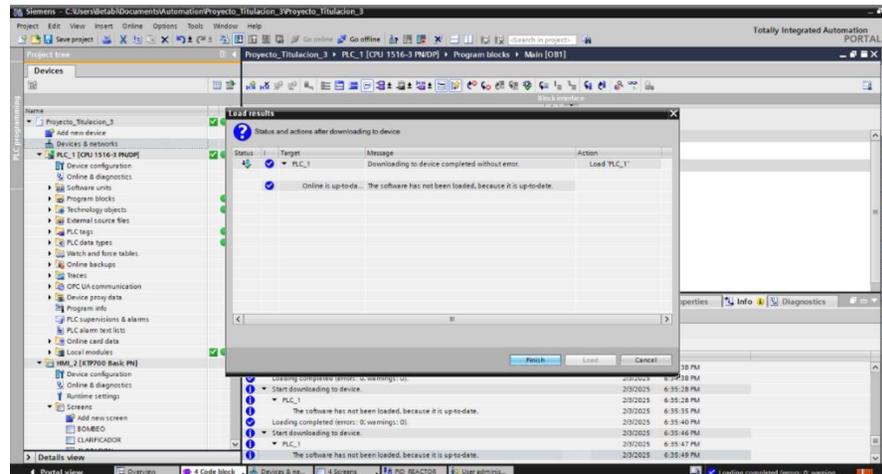
Verificación de comunicación con IOT2040



Una vez compilado y verificado que no exista ningún tipo de error en todas las secciones del programa, se carga el software al PLC para su puesta en marcha. A continuación, se presenta la figura 152 sobre puesta en marcha el software.

Figura 152

Compilación y carga del programa al PLC

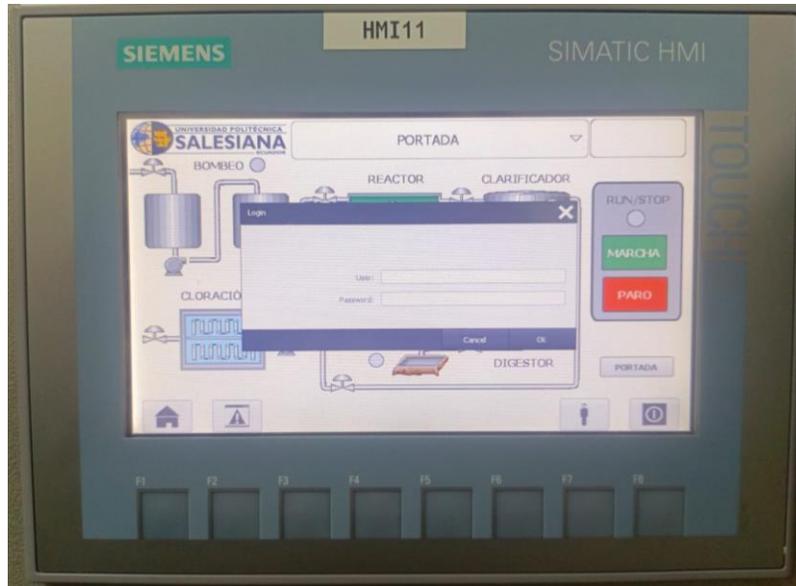


6.2 Ejecución del inicio de sesión en la pantalla HMI

Luego de haber cargado el sistema al PLC, se constató el correcto funcionamiento del HMI como de la programación del PLC. En esta parte de los resultados, el HMI quedó listo para iniciar sesión como administrado u operador, figura 153.

Figura 153

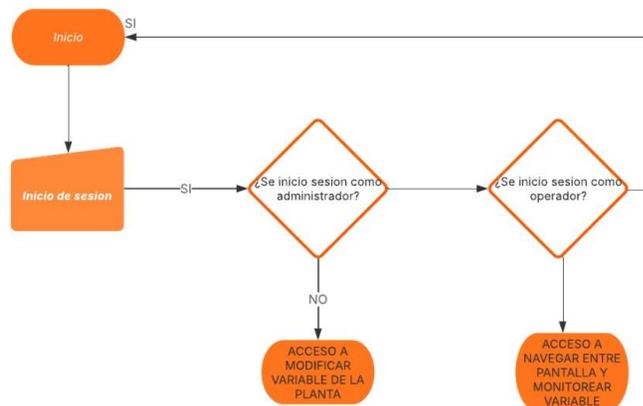
Ventana emergente pidiendo inicio de sección



A continuación, se muestra la representación de la estructura y la secuencia de acciones al iniciar sesión tanto como administrador u operario, tal como se presenta en la siguiente figura 154.

Figura 154

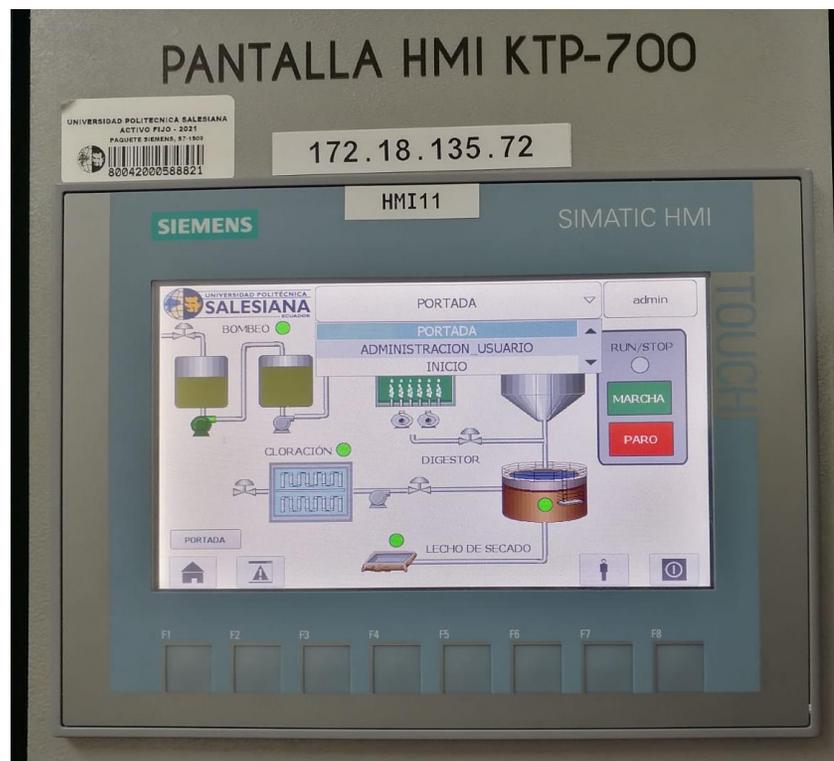
Representación de la estructura



Una vez iniciada la sesión, se puede visualizar la representación general de todo el proceso de la PTAR con cada uno de sus subprocesos detallado. Una vez que se accione el botón de marcha se encenderá una luz con lo cual se puede asegurar que todos los subprocesos están en marcha. Al navegar entre las distintas pantallas de los subprocesos el operador podrá monitorear los niveles de cada uno de estos y tener accionamiento al botón de paro ante cualquier novedad presentada en la PTAR, figura 155.

Figura 155

Screen INCIO funcional



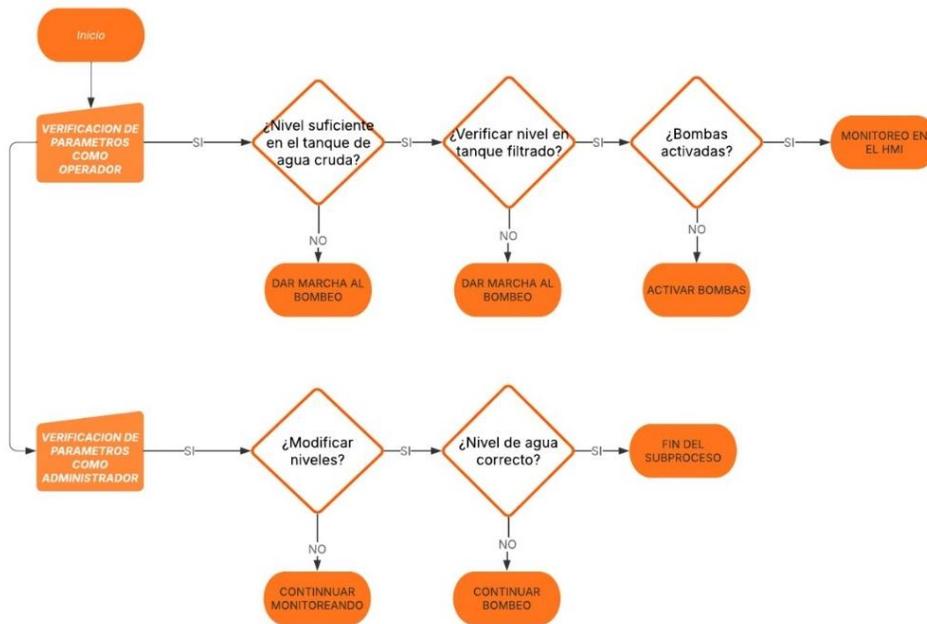
A diferencia del administrador, quien si podrá realizar modificaciones a cada una de las variables de todos los subprocesos con la finalidad de asegurar el óptimo funcionamiento de la PTAR según sean las circunstancias.

6.3 Ejecución del subproceso de bombeo en la pantalla HMI

En el subproceso de bombeo, la pantalla HMI desempeña un papel fundamental al proporcionar una interfaz visual que permite al operador monitorear el flujo de agua desde su ingreso a la planta hasta su almacenamiento en los tanques. En este sistema, existen dos tanques: uno que almacena el agua cruda y otro que recibe el agua filtrada tras pasar por las rejillas. A través de la HMI, el operador puede observar en tiempo real los niveles de agua de ambos tanques, pero las modificaciones relacionadas con los niveles de los tanques solo podrán ser realizadas por el administrador del sistema, garantizando un control adecuado de los parámetros operativos. El operador, por su parte, puede supervisar las bombas y válvulas de entrada, las cuales se activan o desactivan según los niveles establecidos, a continuación, se presenta la figura 156.

Figura 156

Diagrama para seguir el subproceso de bombeo

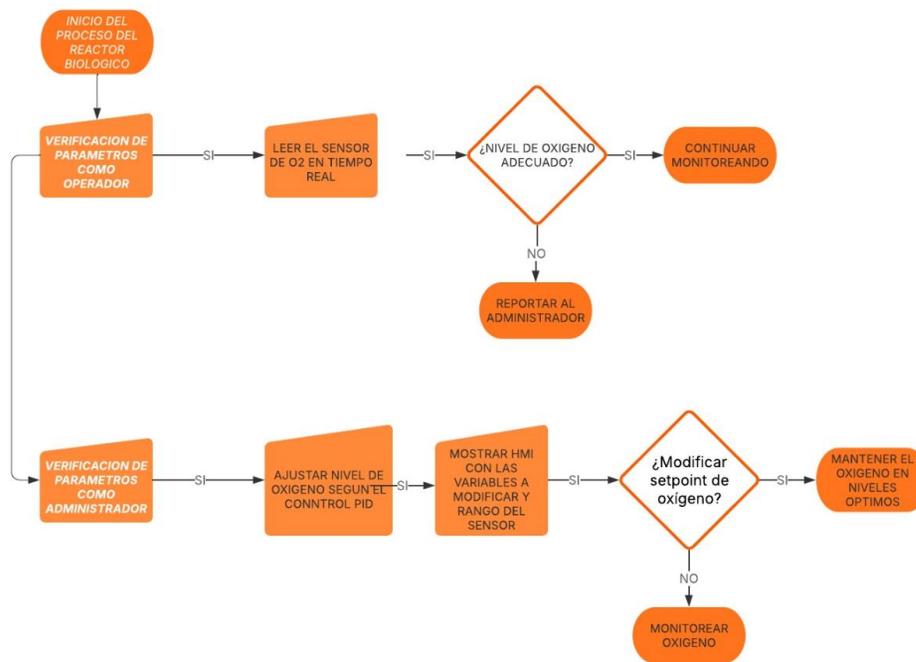


6.4 Ejecución del subproceso del reactor biológico en la pantalla HMI

En el subproceso del reactor biológico, la pantalla HMI desempeña un papel crucial al ofrecer una visualización detallada del control del oxígeno en el sistema, un factor esencial para el tratamiento de agua mediante el método de lodos activados. El sistema de control PID ajusta la entrada de oxígeno en función de la lectura en tiempo real del sensor de oxígeno del reactor. A través de la HMI, el operador puede visualizar una gráfica interactiva que muestra tanto el setpoint, que define el valor deseado de oxígeno, como las lecturas obtenidas por el sensor. Esta gráfica permite observar la variación del oxígeno en función de las mediciones del sensor, facilitando ajustes en tiempo real para mantener el nivel óptimo. Es importante destacar que el setpoint solo puede ser modificado por el administrador, garantizando un control seguro y preciso de los parámetros críticos del proceso, figura 157.

Figura 157

Diagrama para seguir el subproceso de Reactor Biológico

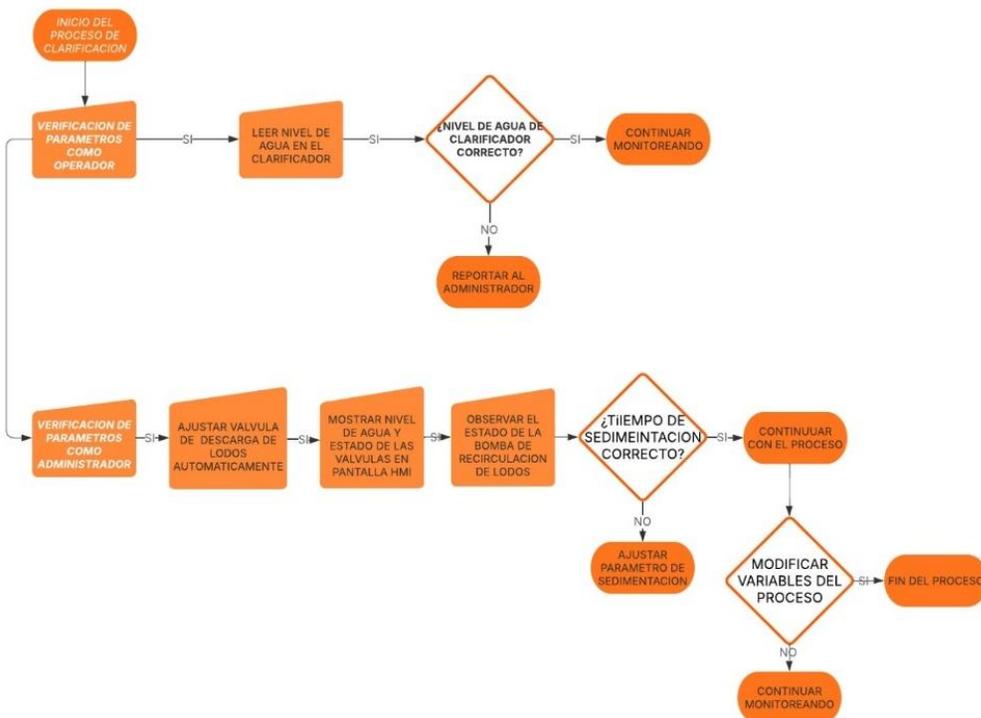


6.5 Ejecución del subproceso de clarificación en la pantalla HMI

En la etapa de clarificación, el sistema automatizado controla y monitorea el proceso de sedimentación de los sólidos suspendidos en el agua tratada, asegurando que los contaminantes más grandes sean removidos antes de pasar al siguiente proceso. A través de la pantalla HMI, el operador puede observar en tiempo real el nivel de agua en el clarificador, y el sistema ajusta automáticamente las válvulas de descarga de los lodos para asegurar que el agua clarificada fluya de manera eficiente al siguiente tanque. La HMI también permite visualizar el estado de las bombas de recirculación y controlar el tiempo de sedimentación, lo que asegura que el proceso se lleve a cabo correctamente. Cabe destacar, que en este subproceso el operario solo puede monitorear las variables de este; mientras que el administrador si podrá modificarlas, figura 158.

Figura 158

Diagrama para seguir el subproceso del Clarificador

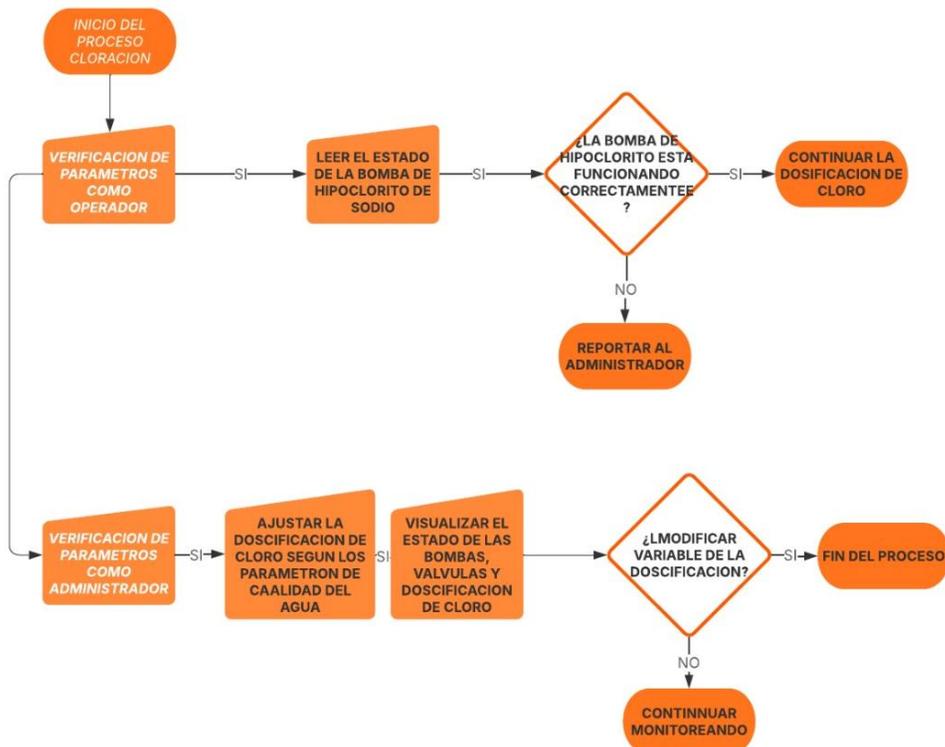


6.6 Ejecución del subproceso de cloración en la pantalla HMI

En la etapa de cloración, la pantalla HMI juega un papel fundamental en el control y monitoreo del proceso de dosificación de cloro, el cual es esencial para la desinfección del agua tratada. A través de la HMI, el operador puede visualizar en tiempo real el estado de la bomba de hipoclorito de sodio, que es la encargada de dosificar el cloro al sistema. El sistema de automatización ajusta la dosificación de cloro en función de los parámetros de calidad del agua establecidos, garantizando que el agua tratada alcance los niveles adecuados de desinfección. Las modificaciones en los valores de dosificación solo pueden ser realizadas por el administrador, quien tiene acceso a los parámetros de control más sensibles, figura 159.

Figura 159

Diagrama para seguir el subproceso del Cloración

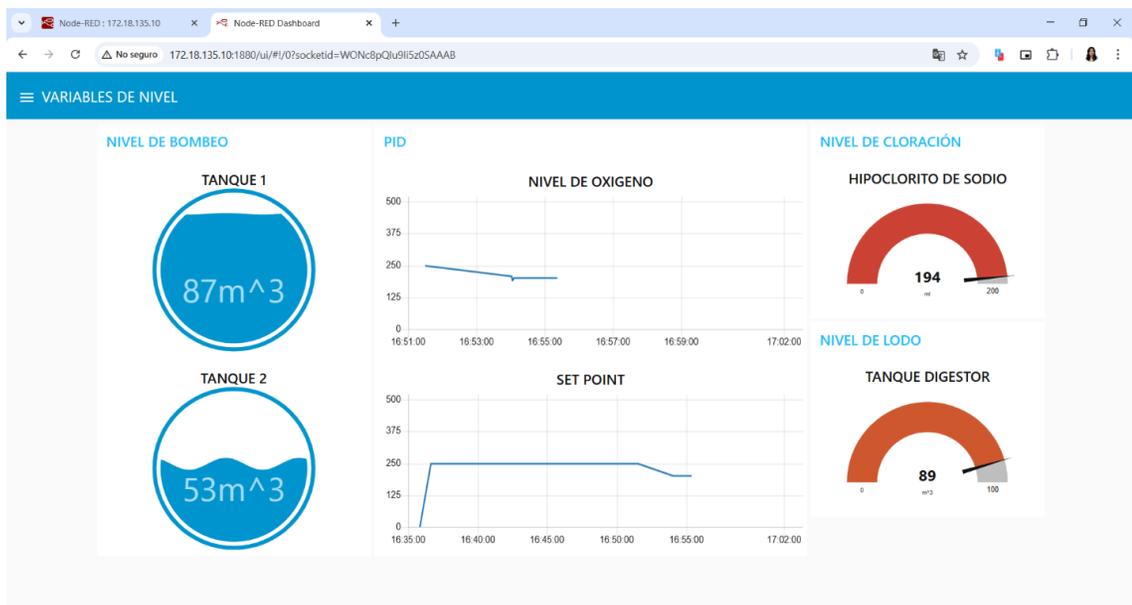


6.7 Ejecución del dashboard para la comunicación con la IOT

Para optimizar la supervisión y control del proceso de tratamiento de agua, se diseñó un **dashboard** que permite la transmisión en tiempo real de todas las variables clave de cada subproceso, como el bombeo, la clarificación, la cloración y el control del oxígeno. Este sistema de monitoreo se implementa mediante el **módulo de comunicación IOT2040**, que se encarga de recolectar los datos de los sensores instalados en la planta y enviarlos a través de **Node-RED** para su visualización en la plataforma centralizada. Gracias a este enfoque, los operadores y administradores tienen acceso remoto y en tiempo real a información crítica sobre los niveles de agua, la dosificación de cloro, las variaciones del oxígeno, y otros parámetros importantes del proceso. Este sistema no solo facilita la supervisión continua de la planta, sino que también permite una rápida toma de decisiones y una respuesta eficiente ante cualquier eventualidad o desviación en los parámetros operativos, mejorando la gestión integral de la planta de tratamiento de agua, figura 160.

Figura 160

Dashboard de IOT2040 ya funcional

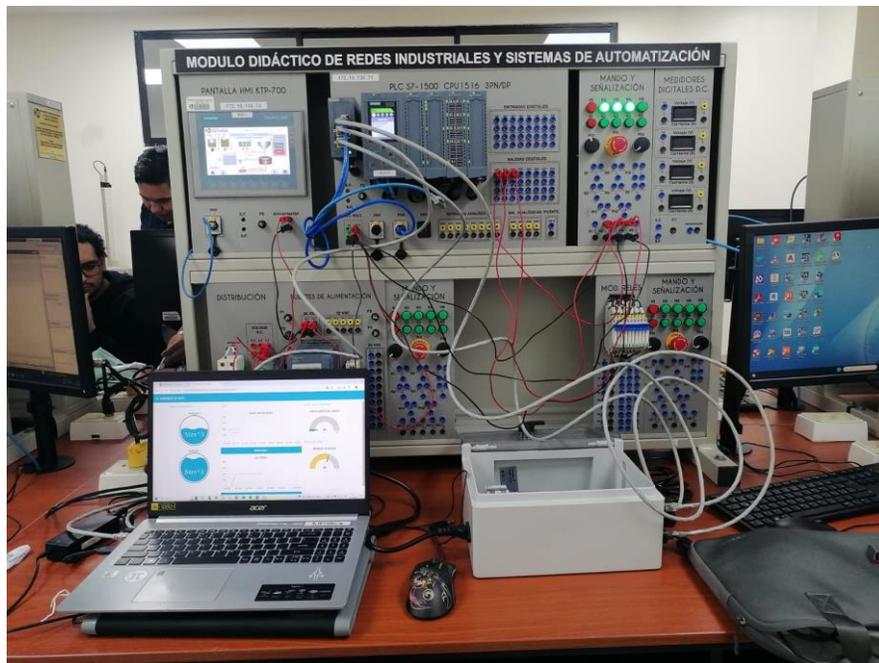


6.8 Puesta en marcha del sistema en el Laboratorio de Automatización 2

A continuación, se detalla la puesta en marcha del proceso completo en el módulo del laboratorio de Automatización II. El sistema fue configurado y probado con éxito, asegurando el funcionamiento integral del proceso. Asimismo, se logró establecer una comunicación efectiva mediante el módulo **IOT2040**, que transmite los datos del proceso a la nube, figura 161.

Figura 161

Puesta en marcha



Se evidencia que el módulo IOT2040 está físicamente encendido, lo que confirma que se encuentra operativo y permite establecer una comunicación efectiva con el PLC, figura 162.

Figura 162

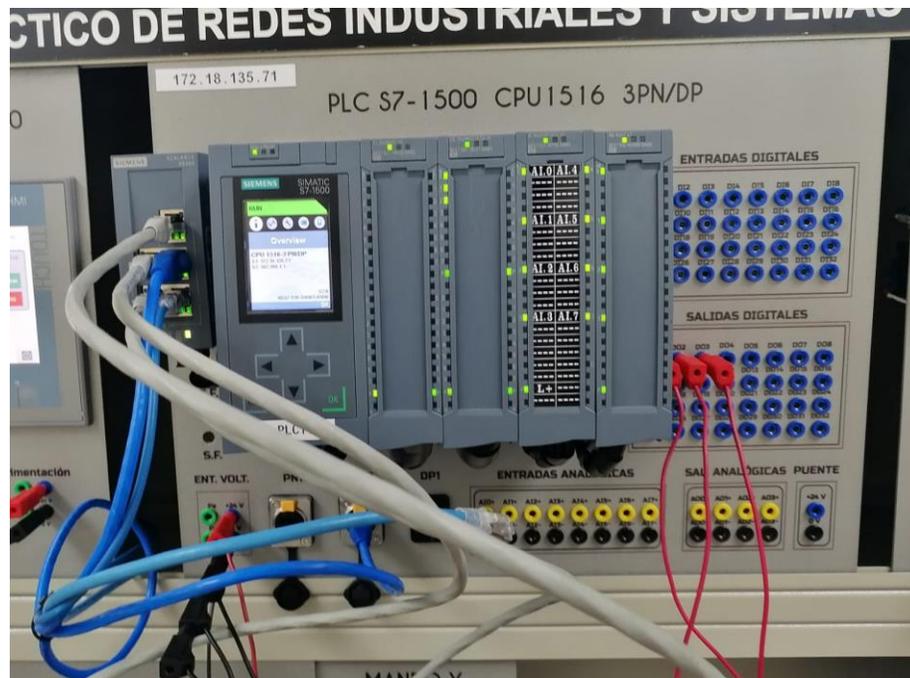
Pasarela inteligente IOT2040 funcional



También se presenta una fotografía que muestra el estado del **PLC** en modo **RUN**, indicando que el programa ha sido cargado correctamente y se encuentra en ejecución, figura 163.

Figura 163

PLC en run copilado y cargada la información



VII CRONOGRAMA

En la figura 164 y 165 se observa el diagrama de Gantt de las actividades que se llevaron a cabo entre el periodo 64 y el periodo 65 para el desarrollo del proyecto, como se puede observar, las actividades de programación en el PLC, el diseño de HMI y el diseño del dashboard son las actividades más críticas y de cuales se invirtió más tiempo.

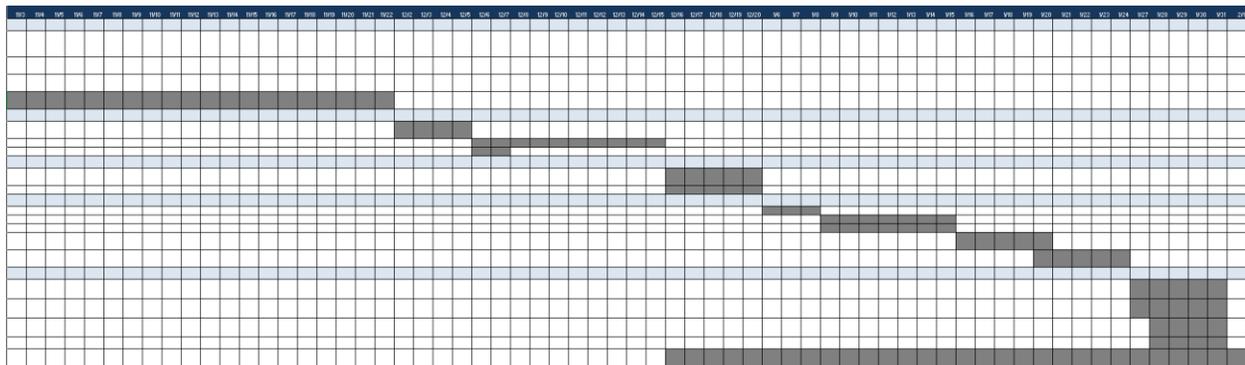
Figura 164

Diagrama de Gannt de actividades para realizar el proyecto (parte 1)

Tareas	Responsable	Inicio	Fin	Días	Estado	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	10	11	12	13
Investigación y planificación																																								
Investigación previa sobre los subprocesos que conforman una PTAR mediante el proceso de todos Activado.	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	1-oct	9-oct	8	Completada																																			
Planificar la redacción y estructura del documento del anteproyecto	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	10-oct	15-oct	5	Completada																																			
Definición de los objetivos del proyecto de Titu	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	16-oct	18-oct	2	Completada																																			
Elaboración del anteproyecto de Titulación	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	19-oct	22-nov	34	Completada																																			
Desarrollo																																								
Análisis de variables a utilizar para automatizar los subprocesos de una PTAR	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	2-dic	5-dic	3	Completada																																			
Diseño de las pantallas HMI	Betsie Bermeo Maita	6-dic	15-dic	9	Completada																																			
Selección del sensor de O2 para el PID del	Pablo Banderas Alcivar	6-dic	7-dic	1	Completada																																			
Implementación de Hardware																																								
Familiarización con los equipos del Laboratorio de Auto 2 de la URS	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	16-dic	20-dic	4	Completada																																			
Selección de tarjeta SD de 32 bit para modulo	Betsie Bermeo Maita	16-dic	20-dic	4	Completada																																			
Desarrollo del software																																								
Programación KOP del proceso de bombeo	Betsie Bermeo Maita	6-ene	8-ene	2	Completada																																			
Programación del PID del reactor de aireacion	Pablo Banderas Alcivar	9-ene	15-ene	6	Completada																																			
Programación KOP del proceso de clarificación	Betsie Bermeo Maita	9-ene	15-ene	6	Completada																																			
Programación KOP del proceso de cloración	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	16-ene	20-ene	4	Completada																																			
Desarrollo del dashboard para realizar comunicación con el modulo 307340	Betsie Bermeo Maita	20-ene	24-ene	4	Completada																																			
Prueba y depuración																																								
Pruebas del sistema en el laboratorio de Auto 2	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	27-ene	31-ene	4	Completada																																			
prueba de los 2000 para enviar las variables del plc al dashboard	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	27-ene	31-ene	4	Completada																																			
Identificación de errores	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	28-ene	31-ene	3	Completada																																			
Documentación y Presentación																																								
Presentación del Proyecto de Titulación	Pablo Banderas Alcivar Betsie Bermeo Maita	16-dic	1-feb	47	Completada																																			

Figura 165

Diagrama de Gannt de actividades para realizar el proyecto (parte 2)



VIII PRESUPUESTO

Debido a que la ejecución del proyecto se realizara en un entorno simulado y que se encuentra dentro de los límites presupuestarios, se ha tomado en cuenta posibles gastos generados de las horas de trabajo invertidas en el desarrollo y presentación del proyecto, además de documentos requeridos para la presentación y validación del proyecto, estos valores se detallaran en la tabla 4, sumando un estimado de \$ 374,40.

Tabla 4

Presupuesto estimado para el desarrollo del Proyecto de Titulación

Detalle	Cantidad	Valor unit	Valor total
Horas de ingeniería	120	2,87	\$344,40
Material de trabajo	1	30,00	\$30,00
Valor total	41	32,81	\$374,40

IX CONCLUSIONES

Se llevó a cabo el diseño y simulación de un proceso automatizado de tratamiento de aguas residuales, integrando tecnologías modernas como el PLC, el HMI y el módulo IOT2040. Este trabajo permitió desarrollar un sistema funcional y comprensible, que ofrece una visión integral del proceso así asegurando tener un monitoreo y control efectivo de sus etapas principales.

La programación en lenguaje KOP realizada en TIA Portal permitió automatizar cada subproceso del tratamiento de aguas residuales mediante la implementación de bloques específicos. Se utilizaron bloques Cyclic Interrupt para los controles PID, bloques FB para gestionar los subprocesos de forma independiente, y bloques DB para almacenar y transmitir los datos. Este desarrollo aseguró que las operaciones se ejecuten de manera sincronizada y eficiente, cumpliendo los objetivos planteados.

La interfaz gráfica creada a través del HMI proporcionó un entorno amigable para el usuario, permitiendo el monitoreo y la operación de todas las fases del proceso de manera intuitiva. Además, la implementación de un Dashboard mediante el módulo IOT2040 permitió transmitir datos a la nube, lo que garantiza la supervisión remota, reforzando el enfoque hacia tecnologías de la Industria 4.0.

En general, la simulación del proceso de tratamiento de aguas residuales cumplió satisfactoriamente los objetivos planteados, integrando todas las etapas en un sistema automatizado funcional. Este proyecto no solo representa una contribución significativa al ámbito académico, sino que también refuerza las competencias de los estudiantes, preparándolos para los desafíos tecnológicos actuales y promoviendo soluciones sostenibles, con miras a un futuro más avanzado y tecnológico.

X RECOMENDACIONES

En base a la simulación planteada, se recomienda ampliar el alcance del proyecto integrando más subprocesos de tratamiento, como la filtración avanzada o la gestión de lodos de una manera más detallada. La incorporación de estas etapas permitiría simular un sistema más completo y realista, lo cual no solo brindaría a los usuarios una mayor comprensión de los procesos, sino que también destacaría la importancia de implementar soluciones sostenibles que reduzcan el impacto ambiental y mejoren la calidad del agua tratada.

Aunque los resultados de la simulación fueron satisfactorios, se recomienda implementar un prototipo físico del proceso en el laboratorio. Esto permitiría realizar pruebas experimentales en condiciones reales, evaluar la precisión del control de variables como el nivel, el caudal, ph y el oxígeno disuelto, y verificar la eficacia del sistema programado.

Se sugiere utilizar los datos obtenidos del prototipo físico para identificar oportunidades de mejora en la programación del sistema, como optimizar los parámetros del control PID, ajustar los tiempos de operación de las válvulas, blowers y bombas, y analizar el desempeño del módulo IOT2040 en la transmisión de datos hacia la nube.

Finalmente, se recomienda incorporar tecnologías emergentes como la inteligencia artificial o el aprendizaje automático en futuras simulaciones, con el objetivo de prever patrones de operación y optimizar el consumo de energía en la planta. Esto permitiría avanzar hacia soluciones más eficientes y sostenibles en el ámbito de la automatización de procesos industriales.

XI REFERENCIAS

- ACUATECNICA. (28 de Junio de 2020). *ACUATECNICA*. Obtenido de <https://acuatecnica.com/plantas-de-tratamiento-para-aguas-residuales/>
- BIBDIGITAL. (2024). *Diseño e implementación del sistema de automatización de la planta de tratamiento de agua Los Álamos y sus tanques de distribución*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2024, de bibdigital: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16317>
- Bioingepro. (14 de Marzo de 2022). *¿Qué es un Sedimentador Secundario?* Obtenido de <https://bioingepro.com.ar/2022/03/14/que-es-un-sedimentador-secundario/>
- Bouraiou, A. (2021). Supervision and Monitoring of Photovoltaic Systems Using Siemens PLC and HMI. *Digital Technologies and Applications*.
- DAKROX. (19 de Marzo de 2020). Obtenido de Bloques FB y FC en PLCs Siemens.: <https://dakrox.com/aprende/plc-siemens/bloques-fb-y-fc/>
- DSPACE ESPOL. (2024). *Automatización y Control Operacional de la Planta de Tratamiento*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2024, de dspace: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/39152>
- DSPACE UPS. (2024). *Automatización del proceso de tratamiento de aguas residuales en TECNOVA S.A.* Recuperado el 12 de Noviembre de 2024, de dspace: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4118>
- El Universo. (27 de Agosto de 2024). *Los Merinos, planta tratamiento que será la solución para el norte de Guayaquil, registra avance del 49,6 % y estaría operativa en 2026*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2024, de El Universo: <https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/planta-los-merinos-tratamiento-aguas-residuales-guayaquil-operaciones-2026-emapag-nota/>

El Universo. (20 de Agosto de 2024). *Planta Las Esclusas ya opera al 100 % y beneficia a más de un millón de personas de 13 parroquias de Guayaquil, según Emapag*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2024, de El Universo:

<https://www.eluniverso.com/guayaquil/comunidad/planta-las-esclusas-ya-opera-al-100-y-beneficia-a-mas-de-un-millon-de-personas-de-13-parroquias-de-guayaquil-segun-emapag-nota/>

GSL Industrias. (2 de Junio de 2021). Obtenido de PLC S7 1200:

<https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/plc-s7-1200-siemens>

impulso_06. (2023). *¿Qué es Tía Portal y porque es tan importante en la industria?* Obtenido de

<https://impulso06.com/que-es-tia-portal-y-porque-es-tan-importante-en-la-industria/>

INCIBE. (16 de Febrero de 2017). Obtenido de Características y seguridad en PROFINET:

<https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/caracteristicas-y-seguridad-profinet>

INEC. (2023). *Encuesta de Agua Potable y Alcantarillado 2022*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2024, de ecuadorencifras:

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

[inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2022/Agua_potable_alcantarillado/PRESENTACION_APA_2022_VFINAL.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2022/Agua_potable_alcantarillado/PRESENTACION_APA_2022_VFINAL.pdf)

InfoPLC. (11 de Mayo de 2023). *¿Qué es TIA Portal de Siemens?* Obtenido de

<https://www.infopl.net/descargas/107-siemens/software-step7-tiaportal/tia-portal/3459-que-es-tia-portal-siemens>

Ingeniería, C. (14 de Diciembre de 2020). *¿Qué es un sistema de lodos activados?* Obtenido de

<https://blog.cbr-ingenieria.com.mx/que-es-un-sistema-de-lodos-activados>

Instituto del Agua. (2024). *Planos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales: Guía Completa para su Diseño y Funcionamiento*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2024, de institutodelagua: <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/planos-de-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residualesaguas-residuales/>

Jorge, L. R. (15 de Diciembre de 2020). *iAgua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>

kilurtech. (1 de Diciembre de 2015). *Qué son los variadores de frecuencia*. Obtenido de <https://www.kilurtech.com/variadores-de-frecuencia-en-quito/>

Leizuofa. (11 de Agosto de 2024). *Descripción general de los PLC de SIEMENS: S7-1500, S7-1200, S7-400, S7-300*. Obtenido de <https://www.plchmis.com/es-articulos.html/aprendizaje-de-programaci%C3%B3n-de-plc/descripci%C3%B3n-general-de-los-plc-de-siemens-s7-1500-s7-1200-s7-400-s7-300-r133/>

Lorenzo, A. R. (1 de Junio de 2023). Obtenido de Redes Profinet: Características, analizadores y seguridad: <https://www.mytra.es/blog-post/redes-profinet>

Manzanares-Maldonado, A. (20 de Abril de 2018). Obtenido de SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA DOSIFICACIÓN: https://www.researchgate.net/profile/David-Agudelo-Gutierrez/publication/334045358_EL_MODELO_DE_GESTION_DE_LA_ORGANIZACION_QUE_CREA_CONOCIMIENTO_EN_LAS_EMPRESAS_SOCIALES_COMMUNITARIAS_DE_MEXICO_APROXIMACIONES_TEORICAS/links/5d13c3f6299bf1547c821826/EL-MODE

Ministerio del Ambiente, A. y. (07 de Marzo de 2017). *Las descargas de aguas residuales son controladas por el Ministerio del Ambiente*. Obtenido de

<https://www.ambiente.gob.ec/las-descargas-de-aguas-residuales-son-controladas-por-el-ministerio-del-ambiente/>

Mitau Joaquin, G. d. (2006). DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MEZCLADORA (80 kg/semana) Y DOSIFICADORA (1 kg) DE POLVOS FINOS (café, cacao, azúcar, leche, etc.), Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO. *ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO*.

Palacios Moris , A. D., & Morillo Gaínza , J. S. (2023). *Automatización de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante la modernización de los sistemas de control de aireación y bombeo para incrementar la eficiencia de la planta*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2024, de dspace:

<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/60536>

Páliz Pulles, L. L. (2004). Control automático de un prototipo dosificador industrial de pintura de caucho. 7-8.

PickData. (11 de Mayo de 2020). *Node-RED, la herramienta de programación visual para el Internet of Things*. Obtenido de <https://www.pickdata.net/es/noticias/node-red-programacion-visual-iot>

Prodetecs. (24 de Octubre de 2023). *Cómo funciona un dosificador proporcional*. Obtenido de

<https://prodetecs.com/2023/10/24/como-funciona-un-dosificador-proporcional/>

QBProfe. (25 de Marzo de 2023). Obtenido de Configuración del hardware PLC S7 1500

SIEMENS: [https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-](https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/configuracion-del-hardware-plc-s7-1500-siemens/)

[industrial/configuracion-del-hardware-plc-s7-1500-siemens/](https://www.qbprofe.com/automatizacion-instrumentacion-industrial/configuracion-del-hardware-plc-s7-1500-siemens/)

RelePro. (16 de Junio de 2024). Obtenido de Los autómatas S7-1500: Un Vistazo a sus Características Destacadas: <https://relepro.com/blog/los-automatas-s7-1500-un-vistazo-a-sus-caracteristicas-destacadas.html>

Romero, A. E. (2019). Apuntes para el uso básico del PLC S7-1200 para las asignaturas del área de Automatización Industrial.

Sarcos, A. (10 de Junio de 2024). Obtenido de Tia portal - bloques: https://es.slideshare.net/slideshow/tia-portal-bloques-plc-siemens_____-pdf/269606155

SATOSHI. (23 de Marzo de 2020). Obtenido de Lenguaje Ladder y conceptos fundamentales: <https://www.opiron.com/lenguaje-ladder-y-conceptos-fundamentales/>

Septar. (2022). Obtenido de <https://septar.com.mx/index.php/equipos-para-pretratamiento-de-aguas-residuales/>

Sicma21. (11 de Octubre de 2021). *Qué es un HMI y sus características*. Obtenido de <https://www.sicma21.com/que-es-un-hmi-y-como-funciona/>

SIEMENS. (Marzo de 2017). *Library for Controlled*. Obtenido de file:///C:/Users/CA/Downloads/79047707_LSim_DOC_V3_0_0_en.pdf

Siemens. (2020). Obtenido de Tiposde Bloques en TIA Portal. Conozcalos diferentes bloques utilizables en TIA Portal: <https://es.scribd.com/document/729343651/4-Tipos-de-Bloques-en-TIA-Portal>

Siemens. (2022). *Industry Mall*. Recuperado el 14 de Enero de 2025, de SIMATIC HMI, KTP700 Basic: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AV2123-2GB03-0AX0>

Siemens. (2024). *Rendimiento, apertura, capacidad de expansión- SIMATIC IOT2040*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2024, de

<https://www.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/pcs-industriales/iot-gateways/iot-2000.html>

Simenes. (27 de Marzo de 2017). Obtenido de Control en lazo cerrado de los sistemas controlados simulados en el S7-1500 con el PID_Compact V2:

https://support.industry.siemens.com/cs/document/79047707/control-en-lazo-cerrado-de-los-sistemas-controlados-simulados-en-el-s7-1500-con-el-pid_compact-v2?dti=0&lc=es-CL

SPA, A. (30 de Julio de 2022). Obtenido de <https://manantial.cl/2022/07/30/filtro-estatico-serie-ftt-tipo-parabolico/>

Steven, H. (2019). Obtenido de Programación en Ladder, herramientas y sintaxis de programación: <https://es.scribd.com/document/416430822/Semana-6-Programacion-Ladder>

TecnoPLC. (s.f.). Obtenido de Tipos de bloques en TIA Portal descripción y funcionamiento:

<https://www.tecnopl.com/tipos-de-bloques-en-tia-portal-descripcion-y-funcionamiento/>

Tilley, E. (11 de Diciembre de 2018). *SSWM - SEDIMENTOR*. Obtenido de

https://www.google.com/search?q=sedimentador+primario+aguas+residuales&rlz=1C1CHZN_esEC1044EC1045&oq=sedimentor+primario+&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqCQgBEAAYDRiABDIGCAAQRRg5MgkIARAAGA0YgAQyCQgCEAAYDRiABDIJCAMQA BgNGIAEMgkIBBAAGA0YgAQyCAgFEAAYFhgeMggIBhAAGBYHjIIC

Tilley, E. (15 de Diciembre de 2018). *TECNOLOGIA DEL PRETRATAMIENTO*. Obtenido de

SSMW: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento-del-sistema/tratamiento-semi/tecnolog%C3%ADas-de-pretratamiento>

Valdivielso, A. (2024). *iagua*. Obtenido de ¿Qué es un sistema de lodos activados?:

<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-sistema-lodos-activados>

Yagual Ramirez, M. (2019). *Universidad Estatal de Milagro*. Obtenido de UNIVERSIDAD

ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA:

<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4840>

Zarate, J. (29 de Abril de 2013). *Carcamo de bombeo*. Obtenido de

<https://es.slideshare.net/slideshow/13496237-carcamosdebombeo/20228317>