

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**TEMA:**

**Diseño de un sistema automatizado de monitoreo y control de  
procesos hídricos en el Rancho El Manzanillo, Isla Santa Cruz.**

**AUTOR:**

**Acosta Guerrero, Juan Pablo**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**TUTOR:**

**Ing. Zamora Cedeño, Néstor Armando M.Sc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**2 de septiembre del 2025**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Acosta Guerrero, Juan Pablo**, como requerimiento para la obtención del título de **ingeniero en electrónica y automatización**.

**TUTOR:**

f. Néstor Zamora C.  
Ing. Néstor Armando Zamora Cedeño. M.Sc.

**DIRECTORA DE LA CARRERA:**

f. Bohórquez  
Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, Ph.D

**Guayaquil, 2 del mes de septiembre del año 2025**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Acosta Guerrero, Juan Pablo**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Diseño de un sistema automatizado de monitoreo y control de procesos hídricos en el Rancho El Manzanillo, Isla Santa Cruz** previo a la obtención del título de **ingeniero en electrónica y automatización**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, 2 del mes de septiembre del año 2025**

EL AUTOR

f. Juan Pablo A.  
Acosta Guerrero, Juan Pablo



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

## AUTORIZACIÓN

Yo, **Acosta Guerrero, Juan Pablo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño de un sistema automatizado de monitoreo y control de procesos hídricos en el Rancho El Manzanillo, Isla Santa Cruz**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, 2 del mes de septiembre del año 2025**

EL AUTOR:

f. Juan Pablo A.  
Acosta Guerrero, Juan Pablo



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

REPORTE COMPILATIO

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**  
magister

### TIC-Acosta-A2025

**< 1%**  
Textos sospechosos

**< 1% Similitudes**  
0% similitudes entre comillas  
< 1% entre las fuentes mencionadas  
0% Idiomas no reconocidos  
11% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: TIC-Acosta-A2025.docx  
ID del documento: 10d1b7dd883a2abdaefa5e68b48970944e4435c  
Tamaño del documento original: 7,52 MB

Depositante: Néstor Armando Zamora Cedeño  
Fecha de depósito: 25/8/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 25/8/2025

Número de palabras: 14.733  
Número de caracteres: 96.632

Ubicación de las similitudes en el documento:

**Fuentes principales detectadas**

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>Trabajo Titulacion_Emanuel Morales.docx</b>   Trabajo Titulacion_Emanue... #e15313 Viene de de mi grupo 34 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (415 palabras)
2	<b>localhost</b>   Arquitectura SCADA para una red de aire comprimido en un proceso ... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/17213/3/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-142.pdf.txt 33 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (381 palabras)
3	<b>TIC Garcia.docx</b>   TIC Garcia #7943ee Viene de de mi biblioteca 31 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (364 palabras)
4	<b>TESIS_MATTHEW LAPO 01.docx</b>   TESIS_MATTHEW LAPO 01 #9ab5f7 Viene de de mi grupo 28 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (351 palabras)
5	<b>repositorio.ucsg.edu.ec</b>   Estudio para el mejoramiento de la red de alumbrado ... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/21679/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIEA-8.pdf 27 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (337 palabras)

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación **“Diseño de un sistema automatizado de monitoreo y control de procesos hídricos en el Rancho El Manzanillo, isla Santa Cruz”**, presentado por el estudiante **Acosta Guerrero Juan Pablo**, fue enviado al Sistema Anti Plagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 1%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

f. Néstor Zamora C.  
Ing. Néstor Zamora Cedeño, Mgtr.

# DEDICATORIA

Este de trabajo titulación está dedicado con un profundo amor a mis abuelitos Hernán Aladino Guerrero y Rosita Yolanda Villalva, que con su ejemplo me mostraron los valores que hoy dirigen mi camino estudiantil. Con especial cariño, dedico este trabajo a mi madre, Sandra Priscila Guerrero Villalva. A ella le agradezco su apoyo constante e incondicional, pues todos mis logros son, en esencia, un reflejo de su invaluable ayuda.

Un agradecimiento muy especial para mis hermanos Carol y André, finalmente a mi tío Diego y mi tía Carmita gracias por acompañarme en cada etapa de mi vida y en mi carrera universitaria.

EL AUTOR

Acosta Guerrero, Juan Pablo

# AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento profundo a mi madre quien ha hecho todo lo posible para poder darnos la educación de calidad, por cada día esforzarse y no rendirse a lo largo de su vida, mi madre quien ha visto que no me falta nada a lo largo de mi vida

Agradezco a mis abuelitos ya que ellos han sido quienes me apoyaron con todos mis estudios colegiales y universitarios y también porque me han enseñado todos los valores los cuales cada día de mi vida los he ido demostrando

Agradezco a todos los docentes y tutores que han conformado a lo largo de mi formación académica para permitirme llegar al final de esta etapa llamada universidad

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mis compañeros Nahomy Rivera, Emanuel Morales, Gender Charcopa, Jesús Guadamu y André Barberán por su apoyo a lo largo de este nuevo logro, también deseo agradecer a esa persona especial que fue mi motivación y no me dejo desistir cuando la recta final se hizo más difícil.

Agradezco a la empresa Electronáutica, Comsatel, Farbem quienes me brindaron la oportunidad de adquirir conocimientos laborales y poder desarrollar todas mis habilidades en calidad del pasante y poder convertirme en un gran profesional.

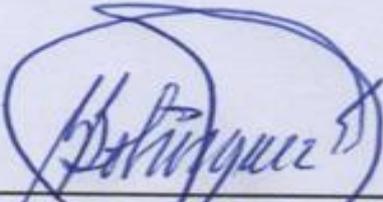
EL AUTOR

Acosta Guerrero, Juan Pablo



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f.   
\_\_\_\_\_  
**Ing. Celso Bayardo Bobórcuez Escobar, Ph.D**  
**DIRECTOR DE CARRERA**

f.   
\_\_\_\_\_  
**Ing. Ricardo Xavier Ubilla Gonzalez, M.Sc.**  
**COORDINADOR DEL ÁREA**

f.   
\_\_\_\_\_  
**Ing. Daniel Bayardo Bobórcuez Heras, M.Sc.**  
**OPONENTE**

# INDICE GENERAL

<b>Capítulo 1: Generalidades Del Trabajo De Titulación.....</b>	<b>2</b>
1.1    Introducción .....	2
1.2    Definición del problema.....	3
1.3    Justificación del problema.....	3
1.4    Objetivos del Problema de investigación.....	4
1.4.1    Objetivo general .....	4
1.4.2    Objetivos específicos.....	4
1.5    Antecedentes .....	4
1.6    Metodología de la investigación .....	5
1.6.1    Contexto técnico para el sistema simulado .....	5
1.6.2    Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	6
1.6.3    Desarrollo del prototipo simulado .....	6
1.6.4    Técnica de análisis de datos .....	6
1.7    Hipótesis.....	7
<b>Capítulo 2: Marco teórico .....</b>	<b>8</b>
2.1    Pretratamiento de aguas residuales .....	8
2.2    Rejillas para aguas residuales.....	9
2.3    Desarenador.....	10
2.4    Pozo de bombeo de aguas residuales .....	11

2.5	Filtro estático parabólico.....	12
2.6	Sedimentador.....	12
2.6.1	Sedimentador primario y secundario .....	12
2.7	Tipos de sistema de bombeo .....	13
2.7.1	Sistemas de bombeo centrífugo .....	13
2.7.2	Sistemas de bombeo sumergibles.....	14
2.8	Sensores y actuadores .....	14
2.8.1	Sensor de nivel de radar .....	16
	Sensor de nivel de radar .....	16
2.8.2	Sensor de conductividad .....	17
2.8.3	Sensor de turbidez.....	17
2.8.4	Sensor de nivel de pH.....	18
2.8.5	Sensor de caudal .....	19
2.9	Válvulas.....	19
2.10	Tanque de reservorio de agua .....	20
2.11	Hardware .....	21
2.11.1	PLC S7 – 1200 .....	21
	PLC S7 - 1200 de Siemens .....	22
2.11.2	HMI (Interfaz Humano Maquina KTP700 BASIC).....	22
2.12	Software .....	23
2.12.1	TIA Portal .....	23
2.12.2	Pasarela inteligente IOT 2040 de Siemens .....	23
2.12.3	Protocolo de comunicación Profinet.....	24

2.12.4	Librería Lsim de Siemens .....	25
2.12.5	Bloques en TIA Portal .....	26
2.12.6	Bloque de organización OB.....	26
2.12.7	Bloque de organización FB .....	28
2.12.8	Lenguaje Ladder .....	29
<b>CAPITULO 3: Diseño y resultados .....</b>		<b>30</b>
3.1	Diagnóstico del sistema hídrico actual del Rancho El Manzanillo.....	30
3.1.1	Descripción del Gasto de Agua en el Rancho El Manzanillo .....	31
3.2	Diseño conceptual del proceso de pretratamiento y tratamiento de agua .	31
3.2.1	Fundamentación Conceptual del Diseño .....	33
3.2.2	Estructura del Sistema Automatizado .....	33
3.2.3	Integración de Tecnologías .....	33
3.2.4	Justificación del Diseño Automatizado .....	34
3.3	Diagramas Funcionales del Sistema de Pretratamiento Hídrico para el Rancho El Manzanillo.....	34
3.4	Diseño de circuito propuesto.....	37
3.4.1	Pretratamiento de aguas residuales .....	37
3.4.2	Tratamiento de agua residuales .....	38
3.5	Creación del proyecto en el software de TIA Portal .....	39
3.6	Creación de cada bloque de programación del PLC en TIA Portal .....	42
3.7	Descripción del Funcionamiento del Sistema de Pretratamiento.....	43
3.8	Programación KOP del pretratamiento .....	44
3.8.1	Marcas usadas del pretratamiento .....	48

3.9	Programación KOP del pretratamiento HMI (Interfaz Hombre-Máquina)	51
3.10	HMI (Interfaz Hombre-Máquina) del pretratamiento .....	54
3.11	Descripción del funcionamiento del sistema del tratamiento .....	54
3.12	Programación KOP del tratamiento .....	55
3.13	Marcas usadas del pretratamiento .....	62
3.14	HMI (Interfaz Hombre-Máquina) del tratamiento .....	63
3.15	Descripción del sistema hídrico luego del sistema automatizado del Rancho El Manzanillo .....	65
3.16	Desglose de Costos de Materiales y Componentes para el Sistema Automatizado de Gestión de Agua .....	66
<b>Conclusiones .....</b>		<b>70</b>
<b>Recomendaciones .....</b>		<b>72</b>
<b>Bibliografía .....</b>		<b>74</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1, pretratamiento de aguas residuales .....	8
Figura 2, rejillas para aguas residuales .....	9
Figura 3, desarenador de flujo horizontal .....	10
Figura 4, pozo de bombeo para aguas residuales .....	11
Figura 5, filtro estatico parabolico .....	12
Figura 6, sedimentador primario y secundario .....	13
Figura 7, bombeo centrifugo .....	13
Figura 8, sistema de bonmbeo sumergible .....	14
Figura 9, sensores .....	15
Figura 10, actuadores .....	15
Figura 11, sensor de nivel de radar .....	16
Figura 12, sensor de conductividad .....	17
Figura 13, sensor de turbidez .....	18
Figura 14, sensor de nivel de pH .....	18
Figura 15, sensor de caudal .....	19
Figura 16, válvulas .....	20
Figura 17, tanque de reservorio de agua .....	21
Figura 18, PLC S7 - 1200 .....	22
Figura 19, HMI (Interfaz Humano Maquina) .....	22
Figura 20, TIA Portal .....	23
Figura 2, IOT 2040 de Siemens .....	24
Figura 22, protocolo de comunicación Profinet .....	25
Figura 23, librería Lsim de Siemenes .....	25
Figura 24, bloques en TIA Portal .....	26
Figura 25, bloques de organización FB .....	28
Figura 26, lenguaje Ladder .....	29
Figura 27, tanques Rancho El Manzanillo .....	30
Figura 28, diagrama de Flujo – Subproceso Pretratamiento .....	35
Figura 29, diagrama de Flujo – Subproceso Tratamiento .....	36
Figura 30, pretratamiento de aguas .....	37
Figura 31, tratamiento de aguas .....	38
Figura 32, imagen con TIA Portal iniciando .....	39
Figura 33, creación del proyecto .....	40
Figura 34, dispositivo PLC .....	40
Figura 35, selección de CPU .....	41
Figura 36, dispositivo HMI .....	41
Figura 37, ventana del TIA Portal donde se enseña los bloques de “Program Blocks o bloques de programa” .....	42
Figura 38, bloques de función del pretratamiento Input .....	44
Figura 39, bloques de función del pretratamiento Output .....	44
Figura 40, bloques de función del pretratamiento InOut .....	44
Figura 41, network 1 / Entrada de agua .....	45
Figura 42, network 1 / Rejilla Gruesa o Rejilla Fina .....	46
Figura 43, network 2 / Desarenador .....	46
Figura 44, network 3 / Filtro estático parabólico .....	47
Figura 45, network 4 / Alarmas, Tanque de reservorio .....	47
Figura 46, bomba de salida .....	48
Figura 47, bloques de animación del HMI Input .....	51

Figura 48, bloques de animación del HMI Output.....	51
Figura 49, bloques de animación del HMI InOut .....	51
Figura 50, bloques de animación del HMI Counter .....	52
Figura 51, válvula Filtro o IEC_Counter / Network 1 .....	52
Figura 52, marca Contador / Network 2 .....	53
Figura 53, marca Contador / Network 2.1 .....	53
Figura 54, HMI del pretratamiento Rancho El Manzanillo. ....	54
Figura 55, bloques de función del tratamiento Input .....	55
Figura 56, bloques de función del tratamiento InOut .....	55
Figura 57, network 1 / Entrada de agua del tratamiento del Rancho El Manzanillo .	56
Figura 58, network 2 .....	56
Figura 59, network 3 .....	57
Figura 60, network 4 .....	58
Figura 61, network 5 .....	59
Figura 62, network 6 .....	59
Figura 63, network 7 .....	60
Figura 64, network 8 .....	60
Figura 65, network 9 .....	61
Figura 66, network 10 .....	61
Figura 67, network 11 .....	62
Figura 68, HMI del tratamiento de agua del Rancho El Manzanillo .....	64
Figura 69, HMI del tratamiento de agua del Rancho El Manzanillo 1.1 .....	64

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1, tabla con los tipos de OB en TIA portal .....	27
Tabla 2, descripción de datos .....	32
Tabla 3, marcas internas usadas en el pretratamiento .....	48
Tabla 4, dirección de salidas digitales usadas en el pretratamiento .....	50
Tabla 5, dirección de entradas digitales usadas en el pretratamiento .....	50
Tabla 6, marcas internas usadas en el tratamiento .....	62
Tabla 7, dirección de salidas digitales usadas en el tratamiento .....	63
Tabla 8, descripción del sistema .....	65
Tabla 9, costos de materiales y componentes .....	66
Tabla 10, costos de materiales y componentes .....	66
Tabla 11, costos de materiales y componentes .....	67
Tabla 12, costos de materiales y componentes .....	68

## Resumen

Este estudio propone el diseño de un sistema automatizado de gestión y monitoreo de agua basado en un PLC Siemens S7-1200 y un sistema SCADA. El sistema, simulado en el Portal TIA, consta de dos etapas: pretratamiento (con rejillas, desarenador y filtro) y tratamiento (con sedimentadores, desinfección con cloro y luz UV). Sensores de nivel, caudal, conductividad, pH, turbidez y radar, junto con actuadores, permiten el control continuo y la supervisión en tiempo real a través de una HMI KTP700. Los resultados de la simulación confirman que este diseño logrará una gestión eficiente, segura y controlable, con una reducción proyectada del 50% en el consumo de agua y los costos operativos, equivalente a un ahorro anual de USD\$4400. Esto facilitará la reutilización de aguas residuales, cumplirá con la política de protección ambiental de las Islas Galápagos y contribuirá a la sostenibilidad ambiental.

**Palabras claves:** Automatización, monitoreo, control, sistema hídrico, PLC, SCADA, sostenibilidad, tratamiento.

## **Abstract**

This study proposes the design of an automated water management and monitoring system based on a Siemens S7-1200 PLC and a SCADA system. The system, simulated in the TIA Portal, consists of two stages: pretreatment (with screens, a grit trap, and a filter) and treatment (with settlers, disinfection with chlorine, and UV light). Level, flow, conductivity, pH, turbidity, and radar sensors, along with actuators, allow for continuous control and real-time monitoring via a KTP700 HMI. Simulation results confirm that this design will achieve efficient, safe, and controllable management, with a projected 50% reduction in water consumption and operating costs, equivalent to annual savings of USD\$4,400. This will facilitate wastewater reuse, comply with the Galapagos Islands' environmental protection policy, and contribute to environmental sustainability.

**Keywords:** Automation, monitoring, control, water system, PLC, SCADA, sustainability, treatment.

# Capítulo 1: Generalidades Del Trabajo De Titulación

## 1.1 Introducción

Este trabajo analiza y propone desarrollar un sistema de tratamiento de aguas residuales óptimo para el Rancho El Manzanillo, el cual es un sitio turístico ubicado en la Isla Santa Cruz, archipiélago de las Islas Galápagos. Actualmente, el rancho enfrenta grandes desafíos en términos de abastecimiento de agua. Durante la época de lluvias se utiliza el agua recolectada en reservorios y cisternas. Sin embargo, La oferta disponible es limitada y no satisface adecuadamente la elevada demanda del lugar

A los visitantes extranjeros se les proporcionan botas para su uso durante la observación de tortugas en su hábitat natural. El negocio cuenta con aproximadamente 500 pares de botas. Las botas que se utilizan entre 3 y 4 veces por semana deben lavarse antes de cada uso.

Este destino turístico ofrece servicios de alimentación, que consumen cantidades significativas de agua para actividades como lavar platos, limpiar ingredientes y otras tareas de cocina.

Como parte de las tareas básicas del Rancho el Manzanillo es el control de plagas, se fumigan pastos y senderos utilizando agua. Además, el agua se utiliza para regar huertos orgánicos y otros procesos relacionados.

Las Islas Galápagos tienen un enfoque de conservación ambiental muy estricto, lo que limita las alternativas de extracción de agua de grietas o uso intensivo de recursos naturales, la reutilización eficiente del agua, especialmente de las aguas residuales, representa una estrategia viable y alineada con los principios de sostenibilidad que rigen en la Isla Galápagos.

El agua es un recurso fundamental para la hacienda y el ecosistema de la isla Santa Cruz, ya que mantiene tanto el proceso de producción como la integridad del entorno natural del que disfrutan los visitantes. El uso responsable y un sistema optimizado del recurso hídrico no solo permitirá reducir los costos operativos, sino

que también contribuirá significativamente a la conservación del frágil equilibrio ecológico que caracteriza a las islas Galápagos.

## **1.2 Definición del problema**

En el Rancho El Manzanillo existe una insuficiencia del suministro de agua durante todo el año debido a que las islas Galápagos no cuenta con fuentes de agua dulce naturales y el problema se aumenta cuando existe una fuerte demanda de visitantes. Este lugar turístico recibe mensualmente a numerosos turistas, lo cual incrementa considerablemente el consumo de agua, tanto para uso sanitario como en actividades operativas.

Rancho El Manzanillo depende casi exclusivamente del agua de lluvia recolectada y del agua externa suministrada por tanqueros, con un costo de entre \$90 y \$120 por unidad a la semana. Rancho El Manzanillo requiere aproximadamente 9,000 galones (34 metros cúbicos) de agua a la semana, suministrados por tres tanqueros, para satisfacer las necesidades básicas del sitio. Actualmente, el control del suministro de agua es deficiente, lo que dificulta la gestión eficiente de los recursos.

## **1.3 Justificación del problema**

Las Islas Galápagos reconocidas por su biodiversidad, enfrentan serios desafíos relacionados con la gestión del agua debido a la ubicación geográfica y las condiciones climáticas; los recursos de agua dulce son limitados, lo cual la presión cada vez es más grande en los ecosistemas y la infraestructura hídrica.

La situación crítica en las islas Santa Cruz donde aproximadamente viven treinta mil personas, no existe ninguna fuente de agua dulce superficial y el suministro de agua depende principalmente del agua de lluvia y de fuentes limitadas de agua subterránea de baja calidad.

En el caso específico de Rancho El Manzanillo, encontramos un uso ineficiente del agua, especialmente en el manejo de aguas residuales. Actualmente, estas aguas residuales se vierten en diversas zonas del rancho sin ningún tipo de tratamiento, ni reutilización, lo que no sólo impacta negativamente al medio ambiente, sino que también ocasiona importantes pérdidas económicas.

## **1.4 Objetivos del Problema de investigación**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema automatizado de monitoreo y control de procesos hídricos en El Rancho El Manzanillo, isla Santa Cruz, utilizando PLC (Programmable Logic Controller) y SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Describir el sistema actual de manejo y disposición de la distribución del agua en el Rancho El Manzanillo.
2. Investigar diversas tecnologías de automatización y supervisión aplicables al diseño de sistemas (SCADA) con controladores lógicos programables (PLC).
3. Diseñar el sistema SCADA para el monitoreo y control de los procesos hídricos en el Rancho El Manzanillo, especificando sus componentes funcionales y la integración de tecnologías de automatización basadas en PLC
4. Simular el funcionamiento del sistema SCADA automatizado propuesto, evaluando su desempeño frente a diferentes condiciones operativas del entorno virtual.

## **1.5 Antecedentes**

Actualmente, la gestión eficiente del agua se ha convertido en una prioridad global ante el incremento de la demanda y la escasez de recursos hídricos. En las Galápagos donde la estabilidad ambiental es principal, la necesidad de implementar sistemas sostenibles de tratamiento y reutilización de agua es aún más necesario; el manejo inapropiado de aguas residuales puede afectar no solo la salud médica, sino los ecosistemas locales de las islas Galápagos, especialmente en zonas rurales con actividad turística como lo es el Rancho El Manzanillo ubicado en la parte alta de la isla Santa Cruz a 15 kilómetros de la civilización.

El Rancho El Manzanillo, reconocido por su actividad turística ecológico y la conservación en las islas, confronta retos en la administración de sus aguas residuales debido al crecimiento de la actividad turística y productiva, aunque existen normativas ambientales que regulan el tratamiento de aguas negras y grises en las islas Galápagos.

## **1.6 Metodología de la investigación**

Este estudio será de tipo aplicado ya que busca simular un sistema automatizado para un problema real. Asimismo, se desarrolla como una investigación cualitativa o cuantitativa porque se utiliza datos numéricos, simulaciones y parámetros técnicos para diseñar y evaluar el sistema propuesto. Desde el punto de vista del alcance, es una investigación explicativa, ya que no solo describe variables, si no que no busca explicar cómo un sistema automatizado puede mejorar la gestión hídrica en ese contexto específico.

Se empleará un diseño experimental y de simulación computacional, donde se modelará digitalmente el funcionamiento del sistema automatizado a través de softwares especializados en la automatización como TIA Portal

### **1.6.1 Contexto técnico para el sistema simulado**

La presente investigación no incluye la implementación física del sistema automatizado, sino que se enfocara únicamente en la simulación computacional de su funcionamiento. Esta simulación se basará en condiciones reales del Rancho El Manzanillo.

Para la elaboración del modelo virtual, se tomará en cuenta todas las siguientes condiciones técnicas referenciales:

- El tipo de aguas residuales generadas, principalmente de origen domestico como producto de actividades como cocina, sanitarios y lavandería.
- El clima característico de la isla, que alterna entre estación seca y húmeda, afectando la disponibilidad del recurso hídrico.
- Las necesidades hídricas operativas del Rancho El manzanillo, como posible aprovechamiento del agua tratada para riego o uso secundario no potable.

En la simulación se incluirán variables técnicas claves como los niveles de agua en tanques simulados, monitoreados mediante sensores virtuales; el caudal de entrada y salida, medido con sensores de flujo digitales; La activación automatizada de bombas y válvulas controladas por lógica programa en un PLC; sensores de calidad del agua, incluyendo turbidez y PH, representados digitalmente para evaluar el proceso de tratamiento; y un sistema SCADA como herramienta central para la supervisión y el control en tiempo real del sistema simulado. A través del sistema

SCADA, se podrá supervisar en tiempo real el comportamiento del sistema automatizado, además de almacenar un historial con los eventos más relevantes. Este sistema permite configurar alarmas tanto visuales como sonoras, las cuales se activan automáticamente ante situaciones anómalas, como el sobrellenado de tanques, fallas en los sensores o desviaciones en los parámetros de calidad del agua. De esta manera, se logra una representación más realista del funcionamiento operativo del sistema.

### **1.6.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Dado que esta investigación consiste en una simulación técnica y no incluye la recolección de datos en campo ni el uso de instrumentos de medición física, la obtención de información se basará en la observación sistemática del comportamiento del sistema simulado. Se evaluará como responde el modelo ante distintas condiciones de operación.

### **1.6.3 Desarrollo del prototipo simulado**

El proceso incluirá la configuración de sensores virtuales para monitorear diferentes variables; integración de actuadores simulados como bombas y válvulas; y el diseño de una lógica de control que permita respuestas automáticas ante distintos escenarios de funcionamiento

### **1.6.4 Técnica de análisis de datos**

El análisis de datos se realizará a partir de la observación sistemática del funcionamiento del sistema simulado, enfocándose en la verificación del cumplimiento de las condiciones lógicas de operación previamente programadas. Para ello, se utilizarán los registros generados por el entorno SCADA, tales como historial de datos, indicadores de estado de los sensores y actuadores, y gráficos de tendencias de variables.

El sistema será sometido a distintos escenarios operativos simulados, como variaciones en el flujo, niveles extremos de agua, fallas simuladas de bombas o alteraciones en la calidad de agua, todo esto para evaluar su comportamiento. Se analizará si el prototipo responde adecuadamente según los parámetros establecidos,

si las alertas se activan oportunamente y si el control automatizado permite un gestión eficiente y segura del recurso hídrico.

Este análisis será de tipo técnico y cualitativo, centrado en el rendimiento, confiabilidad y funcionalidad del sistema dentro del entorno virtual. Los resultados obtenidos como base para realizar ajustes en la lógica de programación o en el diseño estructural de la simulación

### **1.7 Hipótesis**

El diseño propuesto del sistema de monitoreo automático basado en PLC y supervisado por SCADA permitirá una gestión eficiente, segura y controlable del proceso de tratamiento de agua en Rancho El Manzanillo, Isla Santa Cruz. De esta manera, se garantizará un uso más eficiente de los recursos hídricos bajo diferentes condiciones operativas.

## Capítulo 2: Marco teórico

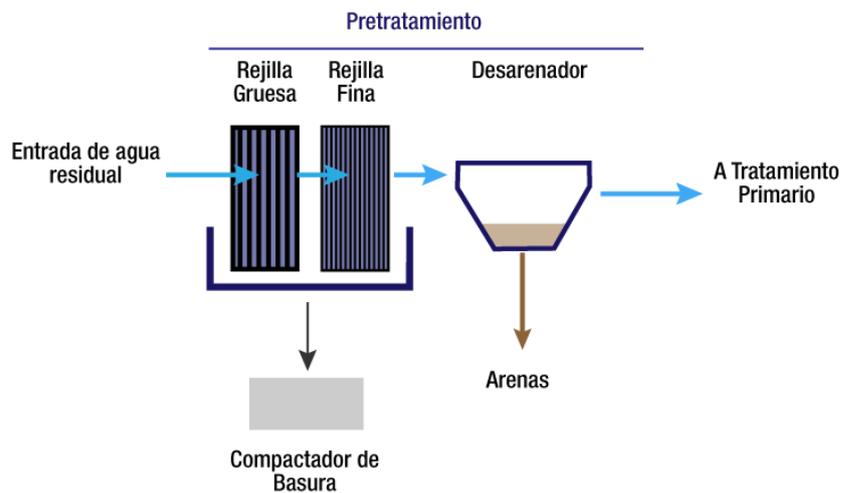
### 2.1 Pretratamiento de aguas residuales

El pretratamiento, o tratamiento primario, es la etapa inicial de una planta de tratamiento de agua y está diseñado para eliminar cualquier material que pueda dañar o afectar los equipos o procesos en etapas posteriores del mismo sistema.

El pretratamiento se utiliza principalmente para atrapar y eliminar aceite, grasa, sólidos no biodegradables, arena, fibras, etc. También elimina algunos sólidos biodegradables y diversos tipos de residuos. El pretratamiento es un proceso necesario para preparar las aguas residuales para su posterior tratamiento, ya sea primario, secundario o por bombeo, como se muestra en la *figura 1*. (Ecodena Guatemala, 2023)

**Figura 1**

Pretratamiento de aguas residuales



*Nota. Imagen que ilustra el proceso del pretratamiento que consiste en la remoción de sólidos gruesos y finos mediante rejillas. Tomado de Septar,2022.*

## 2.2 Rejillas para aguas residuales

Cuando hablamos de la gestión integral y el tratamiento adecuado de las aguas residuales, las mallas de depuración son equipos o infraestructuras que no pueden ignorarse. Su función principal es actuar como la primera barrera de control dentro del sistema, permitiendo el paso del agua, pero interceptando sólidos de gran tamaño que pueden causar graves daños en las etapas posteriores del tratamiento.

Uno de los componentes clave de cualquier planta de tratamiento de aguas residuales es el sistema de pretratamiento, y es aquí donde las mallas desempeñan un papel fundamental como se muestra en la figura 2. Instaladas al inicio del proceso de tratamiento, estas mallas tienen la función de capturar y separar sólidos gruesos y otros materiales de gran tamaño (por ejemplo, plásticos, ramas, piedras) que pueden causar obstrucciones, dañar los equipos o interferir con el funcionamiento normal de la planta de tratamiento. (Instituto del Agua,2024)

### Figura 2

Rejillas para aguas residuales



*Nota. En la imagen se muestran las rejillas de aguas residuales en el pretratamiento. Tomado de Instituto del agua, 2024.de Instituto del agua, 2024.*

### 2.3 Desarenador

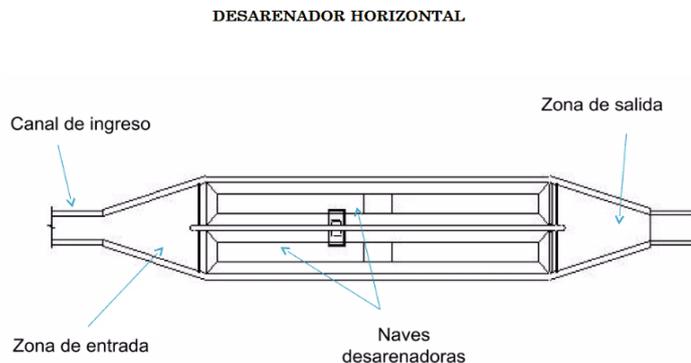
Los desarenadores se utilizan para eliminar los sólidos en suspensión de las aguas residuales líquidas de proceso. Uno de sus principales objetivos es mejorar la calidad de las aguas residuales.

El tratamiento de aguas residuales suele implicar varias etapas para eliminar impurezas y garantizar que el vertido final cumpla con las especificaciones regulatorias. Estas son las etapas: Eliminación de sólidos, eliminación de hidrocarburos, tratamiento químico, detección y emisiones. Cada etapa puede ser realizada por varias unidades de proceso, dependiendo de la complejidad de la operación y de los contaminantes presentes. Los desarenadores se utilizan en la etapa de eliminación de sólidos del tratamiento de aguas residuales, como se muestra en la *figura 3*. (Boss Tech,2021)

Desarenador de flujo horizontal

#### Figura 3

Desarenador de flujo horizontal



*Nota. Dibujo de despiece del desarenador de flujo horizontal y sus partes. Tomado de Boss Tech, 2021.*

## 2.4 Pozo de bombeo de aguas residuales

El funcionamiento del pozo de bombeo se controla mediante un sistema de interruptores de nivel tipo flotador, que determinan el tiempo de funcionamiento de la bomba según los cambios en tiempo real del nivel del agua en el pozo.

Los pozos de bombeo de una sola bomba se controlan mediante tres flotadores de nivel: el primero determina el nivel de parada de la bomba, el segundo inicia el funcionamiento de la bomba y el tercero indica un fallo de la bomba o del sistema mediante una alarma. Los pozos de bombeo de dos bombas contienen un cuarto flotador que actúa sobre la segunda bomba cuando esta no puede descargar toda el agua que entra en el pozo. De igual forma, los pozos de bombeo de dos bombas también están equipados con un sistema de rotación de bombas que permite distribuir el tiempo de funcionamiento de cada una. Este sistema permite almacenar aguas residuales y luego bombearlas al punto de descarga. como se muestra en la *figura 4*. (Netjet,2021)

### Figura 4

Pozo de bombeo para aguas residuales



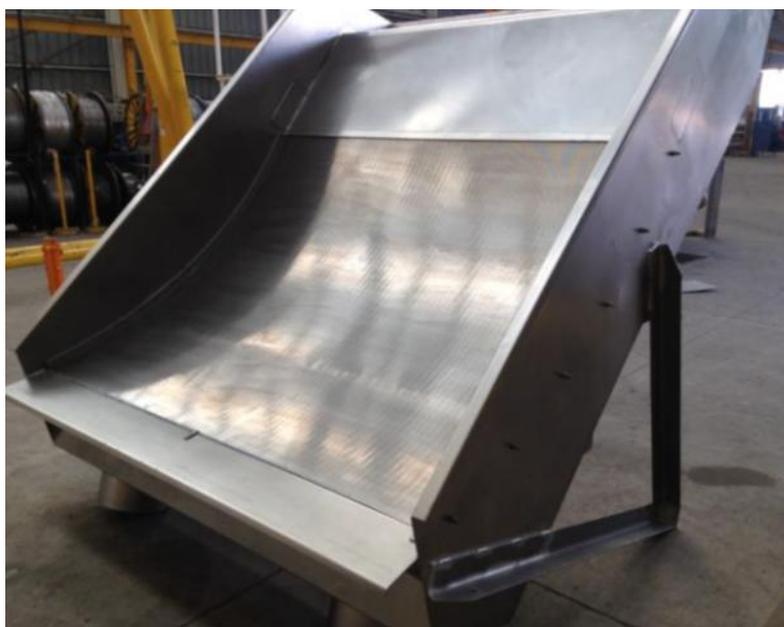
*Nota. Imagen de un pozo de bombeo para aguas residuales, estructura cilíndrica vertical construida en hormigón o material prefabricado, ubicada bajo el nivel del terreno. Tomado de Netjet, 2021.*

## 2.5 Filtro estático parabólico

El filtro parabólico que se muestra en la *figura 5*, se utiliza para filtrar sólidos de aguas residuales o industriales como tratamiento primario en plantas de tratamiento de aguas residuales. Perteneció al grupo de filtros estáticos. Al no contener elementos mecánicos, es muy potente. (DLC,2023).

### Figura 5

Filtro estático parabólico



*Nota. Imagen en vista frontal y lateral de un filtro estático parabólico, compuesto por una rejilla curva con forma de parábola, montada sobre una estructura metálica. Tomado de DLC, 2023.*

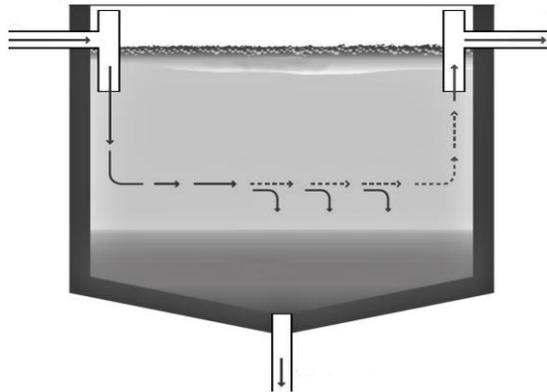
## 2.6 Sedimentador

### 2.6.1 Sedimentador primario y secundario

El tanque de sedimentación es una tecnología que elimina sólidos en suspensión mediante sedimentación. También se denomina clarificador, tanque de sedimentación o tanque de sedimentación, Las aguas residuales fluyen lentamente en el tanque de sedimentación, el lodo se deposita en el fondo y el líquido clarificado flota en la superficie del agua, como se muestra en la *figura 6* (Septar,2020).

## Figura 6

Sedimentador primario y secundario



*Nota. Imagen detallada de un sedimentador primario y secundario utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Tomado de Tilley, E. S.F*

## 2.7 Tipos de sistema de bombeo

### 2.7.1 Sistemas de bombeo centrífugo

Los sistemas de bombas centrífugas son bombas hidráulicas, dispositivos que convierten la energía mecánica en energía cinética o hidráulica aplicando presión a un líquido en movimiento. Las bombas centrífugas pueden aumentar la velocidad de un fluido, lo que permite transportarlo a largas distancias, como se muestra en la *figura 7* (Geohidraulica,2023).

## Figura 7

Bombeo centrífugo



*Nota. “Imagen de una bomba centrífuga con carcasa en voluta, impulsor interno y conexiones de entrada y salida. Tomado de Geohidraulica, 2023.*

### **2.7.2 Sistemas de bombeo sumergibles**

El concepto de diseño de una bomba sumergible consiste en que todo el conjunto (bomba y motor) esté completamente sumergido en el líquido o medio que se procesa. El motor de esta bomba adopta un diseño totalmente sellado y está firmemente integrado en el cuerpo de la bomba. La carcasa sellada que rodea el motor suele estar llena de aceite para evitar la entrada de líquido que pueda causar un cortocircuito, protegiendo así el motor de daños, como se muestra en la *figura 8* (Eddy Pump, 2024)

#### **Figura 8**

Sistema de bombeo sumergible



*Nota. Sistema de bombeo sumergible. Tomado de Eddy Pump, 2024.*

### **2.8 Sensores y actuadores**

Los sensores son vitales porque proporcionan seguridad y garantizan el pleno funcionamiento de los procesos, como se muestra en la *figura 9* (Cybermatics,2023).

## Figura 9

### Sensores



*Nota. Sensores. Tomado de Cybermatics,2023.*

Los actuadores son dispositivos que reciben energía y la convierten en movimiento o fuerza, y son un componente esencial de muchos campos de la tecnología y la ingeniería modernas, como se muestra en la *figura 10* (Perera,2020).

## Figura 10

### Actuadores



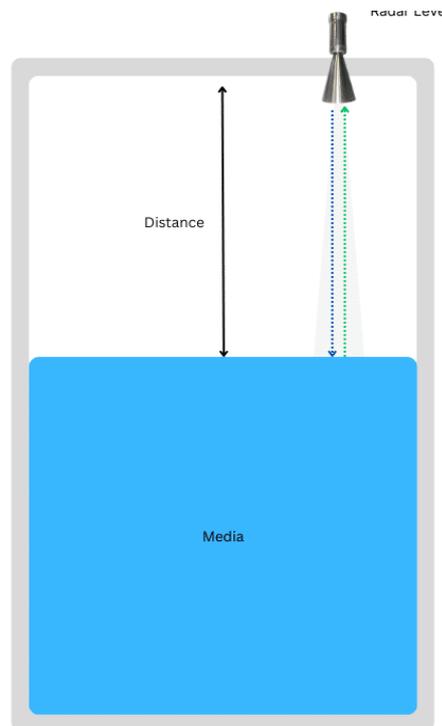
*Nota. Actuadores. Tomado de Perera,2020.*

### 2.8.1 Sensor de nivel de radar

Un sensor de nivel radar es un dispositivo que utiliza tecnología de radar para medir el nivel de una sustancia (ya sea líquida o sólida) en un contenedor, tanque, silo o tolva. Es un dispositivo de medición de nivel continuo que proporciona monitoreo de nivel en tiempo real y sin contacto. Su principio básico de funcionamiento consiste en transmitir un haz de ondas electromagnéticas (microondas) desde el sensor y medir el tiempo que tarda en alcanzar el objetivo y regresar. El tiempo de vuelo se utiliza para calcular la distancia, como se muestra en la *figura 11* (ABM Sensor Technology,2023).

**Figura 11**

Sensor de nivel de radar



*Nota. Sensor de nivel por radar instalado en un tanque de almacenamiento. El sensor mide de manera no invasiva el nivel de líquido mediante ondas de radar. Tomado de ABM Sensor Technology,2023.*

### 2.8.2 Sensor de conductividad

Este es un dispositivo que se utiliza para evaluar la capacidad de un líquido o solución para conducir la electricidad. Esta capacidad está estrechamente relacionada con la presencia de iones disueltos en la solución; cuantos más iones haya, mayor será la conductividad del líquido. Los sensores de conductividad constan básicamente de dos electrodos sumergidos en la solución que se va a medir. Una corriente eléctrica fluye a través de estos electrodos y la solución, y la resistencia medida proporciona una indicación indirecta de la conductividad de la solución, como se muestra en la *figura 12* (Manufactura latam, 2024).

#### Figura 12

Sensor de conductividad



*Nota. Sensor de conductividad. Tomado de Manufactura latam, 2024.*

### 2.8.3 Sensor de turbidez

Un medidor de turbidez de agua utiliza principios ópticos para evaluar la cantidad de partículas suspendidas en una muestra de agua, determinando así su opacidad o turbidez. El dispositivo más comúnmente usado es un medidor de turbidez o nefelómetro, como se muestra en la *figura 13* (Intek Nicaragua, 2025)

### **Figura 13**

Sensor de turbidez



*Nota. Sensor de turbidez. Tomado de Intek Nicaragua,2025.*

### **2.8.4 Sensor de nivel de pH**

Un sensor de pH es un dispositivo electrónico usado para medir la acidez o alcalinidad (pH) en un líquido o solución. El sensor contiene un electrodo de vidrio que es sensible a los cambios en el pH. El electrodo consiste en una película delgada recubierta con una solución especial que contiene un electrodo de referencia, que generalmente está hecho de plata o cloruro de plata. Cuando el sensor de pH se sumerge en un líquido, los iones de hidrógeno en el líquido interactúan con el electrodo de referencia, creando una carga eléctrica. El sensor mide esta carga y la convierte en un valor de pH, que se muestra en una pantalla o se envía a un registrador de datos, como se muestra en la *figura 14* (Meacon Co,2024)

### **Figura 14**

Sensor de nivel de nivel de pH



*Nota. Sensor de nivel de Ph. Tomado de Meacon Co,2024.*

### 2.8.5 Sensor de caudal

Un sensor de control de flujo es un dispositivo que monitorea el comportamiento, el volumen y la velocidad del agua que fluye a través de una superficie o tubería durante un período de tiempo específico, como se muestra en la *figura 15*(Ai, & Analytics, 2022).

#### Figura 15

Sensor de caudal



*Nota. Sensor de caudal. Tomado de Ai, & Analytics, 2022.*

### 2.9 Válvulas

Se puede definir una válvula como un instrumento físico el cual se puede utilizar para iniciar, detener o regular la fluidez de un gas o de un líquido, mediante movimientos que abren o cierran, en parte o en totalidad, el paso del fluido. Las válvulas tienen que ser comprendidas dentro del marco de un establecimiento con tuberías, accesorios de confluencia y bombas, como se muestra en la *figura 16* (Borras C,2020).

**Figura 16**

Válvulas



*Nota. Válvulas. Tomado de Borrás C, 2020.*

## **2.10 Tanque de reservorio de agua**

Un tanque es un recipiente que puede almacenar una cantidad específica de agua y servir como depósito. Los tanques se pueden fabricar en una amplia variedad de tamaños, materiales y diseños, según su propósito, ubicación y otras variables. Se utilizan en todos los ámbitos de la actividad humana, desde hogares hasta fábricas y agricultura, ya que garantizan un suministro de agua, como se muestra en la *figura 17* (potableWeb, 2022)

## Figura 17

Tanque de reservorio de agua



*Nota. Tanque de reservorio de agua. Estructura utilizada para almacenar agua potable antes de su distribución. Tomado de potableWeb,2022.*

## 2.11 Hardware

### 2.11.1 PLC S7 – 1200

Los controladores primarios SIMATIC S7-1200 son la alternativa correcta para cuando se quiere automatizar las tareas con una flexibilidad y una eficiencia en la franja de funcionamiento medio-bajo. Poseen una vasta gama de habilidades tecnológicas y de entrada combinadas, además de un diseño específico y que economiza espacio, como se muestra en la *figura 18* (Simatic,2023)

## Figura 18

PLC S7 - 1200 de Siemens



*Nota. PLC S7 – 1200. Tomado de Simatic,2023.*

### 2.11.2 HMI (Interfaz Humano Maquina KTP700 BASIC)

Un HMI o Interfaces Hombre Máquina (Human Machine Interface), es un programa que se utiliza para unir un instrumento con un ser humano. Esto normalmente se utiliza en las fases iniciales de un proceso de gran escala, en el que se controlan desde un monitor todas las máquinas de producción de una fábrica, como se muestra en la *figura 19* (Carranza,2023)

## Figura 19

HMI (Interfaz Humano Maquina)



*Nota. HMI (Interfaz Humano Maquina. Tomado de Carranza,2023.*

## 2.12 Software

### 2.12.1 TIA Portal

TIA Portal es la plataforma de automatización de Siemens para soluciones completas e integradas que optimizan la ingeniería mecánica y la fabricación. Diseñado para simplificar la programación de PLC y otros dispositivos como pantallas HMI, variadores de velocidad y servomotores, TIA Portal combina todas estas herramientas en un solo paquete, eliminando la necesidad de programar por separado para cada dispositivo, como se muestra en la *figura 20* (InfoPLC,2023).

#### Figura 20

TIA Portal



*Nota. TIA portal. Tomado de InfoPLC,2023.*

### 2.12.2 Pasarela inteligente IOT 2040 de Siemens

El Gateway inteligente número 2040, llamado así porque tiene las iniciales IOT en su nombre, es una herramienta que permite la conversación entre fuentes de información, garantizando la fiabilidad y el análisis de los datos antes de enviarlos a quienes corresponden. Es una solución práctica, adecuada para unir y gestionar herramientas en ambientes industriales, como se muestra en la *figura 21* (Siemens, 2023).

## Figura 21

IOT 2040 de Siemens



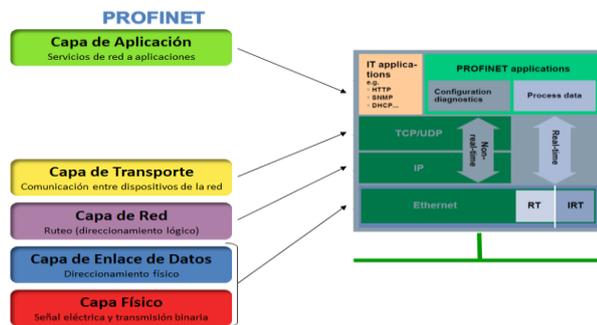
*Nota. IOT 2024 de siemens. Tomado de Siemens, 2023.*

### 2.12.3 Protocolo de comunicación Profinet

Se trata de un protocolo de comunicación que fue concebido por la institución PROFIBUS y que está disponible en forma global, entre otros, por la organización PROFINET International (PI). Está creado con el fin de unir máquinas industriales con diferentes tipos de herramientas de producción, como motores, sensores y otros electrónicos. El protocolo fue concebido para ser ajeno al productor, esto quiere decir que los artefactos de diferentes marcas son capaces de comunicarse entre sí sin dificultades. También, el protocolo se ha perfeccionado para dar una óptima respuesta a través de soluciones novedosas como la identificación automática de herramientas, los diagnósticos avanzados y la recuperación en caso de dificultades, como se muestra en la *figura 22 (PROFIBUS & PROFINET, 2023)*

**Figura 22**

Protocolo de comunicación Profinet



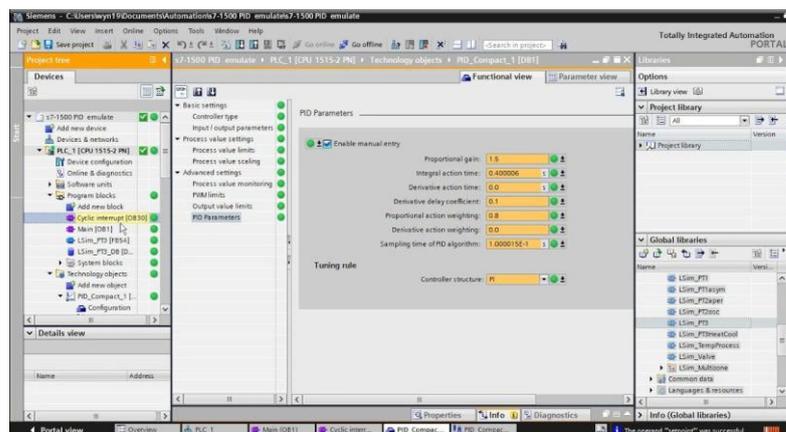
*Nota. Protocolo de comunicación Profinet. Diagrama que muestra la transmisión de datos entre controladores y dispositivos de automatización industrial. Tomado de PROFIBUS & PROFINET, 2023.*

### 2.12.4 Librería Lsim de Siemens

La Librería LSim de la marca Siemens es un elemento de software que, en particular, es de gran utilidad para los sectores de la industria automatizada y la simulación de los procedimientos. A pesar de que en ocasiones se relaciona con la familia de Plant Simulation (antes conocida como Tecnomatix), la librería LSim en si misma tiene una utilización específica: la simulación de los sistemas operados por un CPU S7 de Siemens, como se muestra en la *figura 23* (Siemens, 2021).

**Figura 23**

Librería Lsim de Siemens



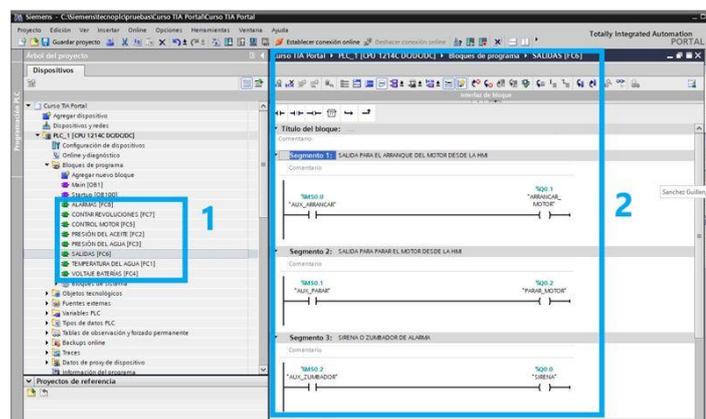
*Nota. Librería Lsim. Tomado de Siemens, 2021.*

## 2.12.5 Bloques en TIA Portal

El empleo de los bloques en TIA Portal tiene como objetivo la organización y la estructura de la información en diferentes partes o procedimientos que se ejecutarán en orden sucesivo. De modo que, será más sencillo seguir el procedimiento para detectar errores y observar la capacidad, como se muestra en la *figura 24* (Tecnopl,2022)

**Figura 24**

Bloques en TIA Portal



*Nota. Bloques en TIA portal, Tomado de Tecnopl, 2022.*

## 2.12.6 Bloque de organización OB

Los bloques de organización (OBs) en TIA Portal son la manera de la interrelación entre el software del usuario y el sistema operativo, puesto que sí, el PLC en sí posee un programa de usuario, y no, no es de windows (y por suerte). Estos grupos de organización son nombrados por el mismo programa operativo en el momento en que se produce un evento específico y posibilitan el control de procedimientos como la ejecución periódica del programa, la ejecución de un programa con una fase cíclica o la resolución de errores, como se muestra en la *tabla 1* (Domínguez, 2022)

**Tabla 1**

Tabla con los tipos de OB en TIA portal

<b>OB de Ciclo</b>	OB 123 o superior
<b>OB de Arranque</b>	OB 100, OB 123 o superior
<b>OB de Alarma de Retardo</b>	OB 20, OB 21, OB 22, OB23, OB123 o superior
<b>OB de Alarma Cíclica</b>	OB 30, OB 31, OB 32, OB 33, OB 34, OB 35, OB 36, OB 37, OB 38, OB 123 o superior
<b>OB de Alarma de proceso</b>	OB 40, OB 41, OB 42, OB 43, OB 44, OB 45, OB 46, OB 47, OB 123 o superior
<b>OB de Error de tiempo</b>	OB 80
<b>OB de Alarma de Diagnóstico</b>	OB 82
<b>OB de Presencia de módulo</b>	OB 83
<b>OB de Fallo de rack</b>	OB 86
<b>OB de Error de programación</b>	OB 121
<b>OB de Alarma horaria</b>	OB 10, OB 11, OB 12, OB 13, OB 14, OB 15, OB 16, OB 17, OB 123 o superior

<b>OB de Alarma de estado</b>	OB 55
<b>OB de Alarma de actualización</b>	OB 56
<b>OB para Alarma específica</b>	OB 57
<b>OB MC-Interpolator</b>	OB 92
<b>OB MC-Servo</b>	OB 91
<b>OB MC-PreServo</b>	OB 67
<b>OB MC-PostServo</b>	OB 95

Nota. Tabla con los tipos de OB en TIA portal. Tomado de Domínguez, 2022.

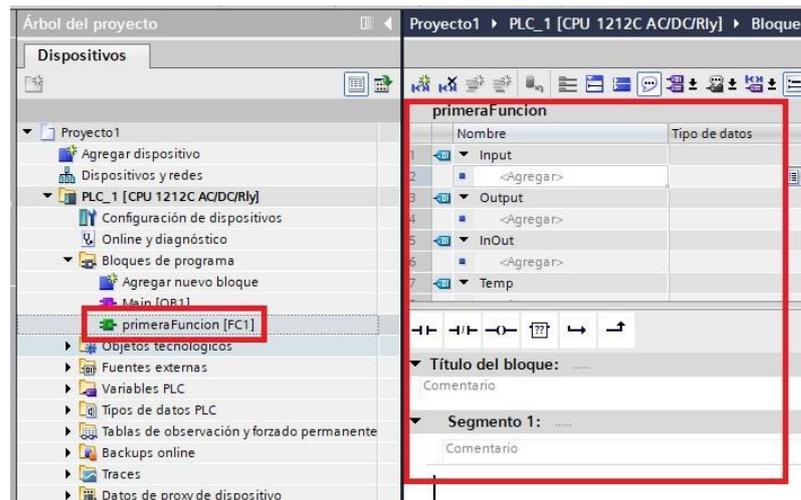
### 2.12.7 Bloque de organización FB

Un Bloque FC (función) en TIA Portal es un bloque de lógica sin memoria que permite ejecutar los códigos programados dentro de la misma. La bondad de una flota de combate es que puedes llamarla en el momento que desees dentro de la franja de tiempo, sea un O, ¡B o inclusive dentro de otra flota de combate!

En la práctica, las FC en TIA Portal se emplean normalmente con el objetivo de encerrar códigos que se repiten. Entra en la mente de un ordenador, y créate una serie de cálculos o recorre un array de cifras (por poner ejemplos) que quieres hacer en repetidas ocasiones durante la programación, y la base del programa es la misma en cada uno de los casos, como se muestra en la *figura 25* (Domínguez, 2022)

**Figura 25**

Bloques de organización FB



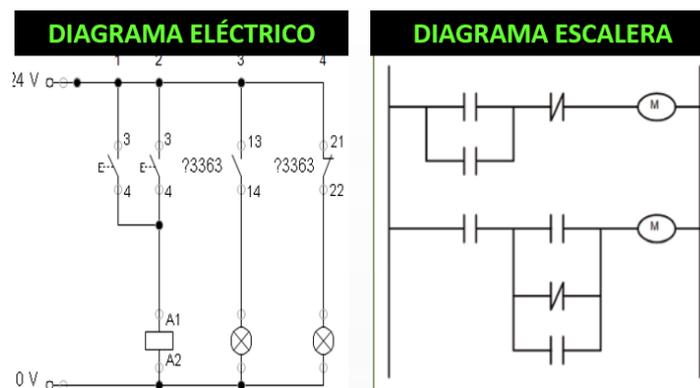
*Nota. Bloques de organización FB. Tomado de Domínguez, 2022.*

## 2.12.8 Lenguaje Ladder

El diseño de los videojuegos en "Lenguaje Ladder" ha venido siendo en la historia la lengua de programación más popular utilizada en los PLCs. La razón más importante por la cual este idioma ha stuck desde los inicios del Plc es porque se tomaron como modelo los diagramas de interruptores que eran familiarizados por los electricistas, como se muestra en la *figura 26*(Abner, 2022)

**Figura 26**

Lenguaje Ladder



*Nota. Lenguaje Ladder. Tomado de Abner, 2022.*

## CAPITULO 3: Diseño y resultados

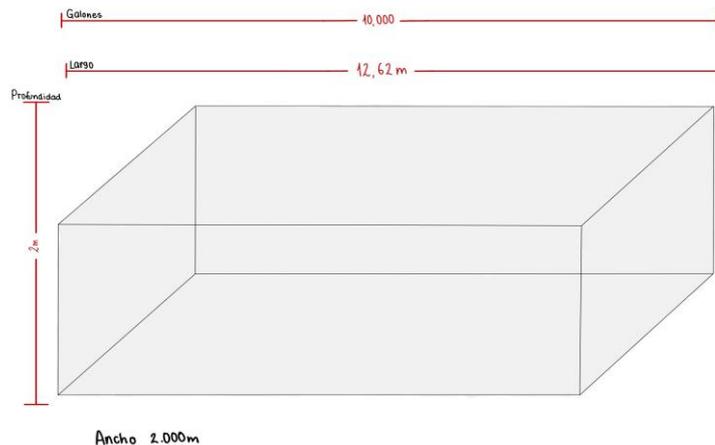
### 3.1 Diagnóstico del sistema hídrico actual del Rancho El Manzanillo

El Rancho El Manzanillo, en la Isla Galápagos, ha instaurado un programa de recolección de agua para abastecer las diferentes necesidades de su labor. Este programa fundamental está compuesto por tres tanques que tienen un tamaño aproximadamente de 10 mil galones. La administración de esta fuente fundamental es importante para las labores diarias del rancho, en particular debido a las particularidades del clima de la isla.

En la época de lluvias, una etapa fundamental para llenar de agua los depósitos de agua en la región, los 3 tanques se proveen con agua de lluvia con éxito. Esta costumbre no únicamente evidencia el ascenso del rancho en la utilización de los recursos naturales presentes, sino que además manifiesta su postura en torno a la sustentabilidad. Sin embargo, en periodos de falta o cuando las lluvias no son lo bastante generosas para llenar la demanda, el establecimiento debe apelar a una solución ajena: la utilización de tanqueros para proveer el agua. Esta medida garantiza la preservación de los trabajos, sin embargo, implica una disposición de logística adicional y un gasto en el rancho, como se muestra en la *figura 27*.

#### Figura 27

Tanques Rancho El Manzanillo



*Nota. Tanques Rancho el Manzanillo. Elaborado por el autor, 2025.*

Una vez que finaliza la época de lluvias en las islas Galápagos, la distribución del agua se vuelve más específica y apta para el consumo. El primer reservorio se utiliza exclusivamente para almacenar agua de lluvia, y el primer tanque del rancho se utiliza en la cocina. Esta agua con mayor grado de calidad para utilizarla en la cocina no es fortuita; se apoya en la existencia de herramientas costosas de acrílico que requieren un tipo de H<sub>2</sub>O que no altere su capacidad ni su extensión de vida. Para asegurar esta superioridad en calidad, el rancho posee un sistema de purificación avanzadas que contiene 3 tipos de filtros: ozono, carbono y UV. Estos filtros son fundamentales para garantizar la correcta operatividad de los dispositivos y, sobre todo, para que el agua sea apta para el consumo de las personas, preservando así los más altos estándares de asepsia y seguridad en la alimentación. Por otro lado, los otros dos tanques se responsabilizan de proveer agua para el resto de las instalaciones del rancho, la cual se reparte en base a los usos previamente planificados que encierran las necesidades del día a día.

En la actualidad, una parte fundamental de la administración del agua en el rancho es que, luego de que la misma sea utilizada, la misma es echada directamente al interior de distintas zonas del terreno. Esto sucede a causa de la falta de un programa de tratamiento o reciclado de aguas negras. Esta circunstancia ofrece una ocasión importante para el Rancho El Manzanillo de ampliar su capacidad hidrófita y reducir su influencia ambiental. La utilización de herramientas para el tratamiento de agua y posteriormente su reutilización podría no sólo reducir la dependencia de suministros externos, sino además instaurar una mayor convicción en el rancho hacia prácticas más sustentables a largo plazo.

### **3.1.1 Descripción del Gasto de Agua en el Rancho El Manzanillo**

La tabla anterior detalla el consumo de agua del Rancho El Manzanillo por temporada. Se estima que el consumo semanal es de aproximadamente 15,000 galones. El consumo mensual aumenta a aproximadamente 60,000 galones, lo que da un consumo anual promedio de 720,000 galones. Esta información es crucial para comprender el consumo de agua del rancho y puede servir de base para futuras estrategias de gestión o conservación del agua, como se muestra en la *Tabla 2*.

**Tabla 2**

Descripción de datos

<b>Periodo</b>	<b>Gasto aproximado (Galones)</b>	<b>Gasto aproximado (USD)</b>
Semanal	3.000 por cada tanquero x 5 tanqueros = 15,000 galones	120\$ por cada tanquero x 5 tanqueros = 600\$
Mensual	3,000 por 5 tanqueros a la semana x 4 semanas = 60,000 galones	120\$ por 5 tanqueros a la semana x 4 semanas =2.400\$
Anual	3,000 por 20 tanqueros al mes x 12 meses = 720,000 galones	120\$ por 20 tanqueros al mes x 12 meses = 8,800\$

*Nota. Descripción de datos del Rancho el Manzanillo. Elaborado por el autor, 2025.*

### **3.2 Diseño conceptual del proceso de pretratamiento y tratamiento de agua**

El objetivo de este proyecto de investigación es desarrollar un sistema automatizado de monitoreo y control para los procesos hídricos en el Rancho El Manzanillo, en la Isla Santa Cruz, Galápagos. La finalidad de este sistema es optimizar el uso, control y tratamiento de los recursos hídricos mediante tecnologías de automatización industrial, garantizando la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental. El proyecto consta de dos fases principales. La primera fase consiste en el pretratamiento del agua, que consiste en la eliminación de sólidos y sedimentos mediante tamices, desarenadores y filtros.

La segunda fase consiste en el tratamiento del agua, que incluye la desinfección y el control de calidad del agua tratada. Durante la fase de pretratamiento, se instalarán sensores de nivel de agua, caudal, conductividad, pH, turbidez y radar en los desarenadores y las instalaciones de pretratamiento. Durante la fase de tratamiento, que se muestra en el segundo bucle del diagrama, se utilizan sensores de turbidez, radar y nivel para garantizar que el agua cumpla con los parámetros requeridos antes de entrar en el proceso de desinfección con cloro y luz

ultravioleta (UV). Estos sensores están conectados a un sistema de control central basado en PLC y permiten la monitorización mediante una interfaz de usuario local.

### 3.2.1 Fundamentación Conceptual del Diseño

El diseño se sustenta en conceptos de automatización, control de procesos, monitoreo remoto, y tratamiento de aguas, integrando componentes físicos y digitales que permiten una operación continua, segura y eficiente del sistema hídrico. El diseño propuesto contempla la utilización de un PLC S7-1200, una interfaz HMI KTP700, sensores industriales (nivel, caudal, turbidez), actuadores (bombas, válvulas).

### 3.2.2 Estructura del Sistema Automatizado

El sistema se divide en dos etapas principales: pretratamiento y tratamiento, cada una con una función específica para garantizar la calidad del agua.

- **Pretratamiento:** Esta etapa incluye rejillas, desarenador horizontales y filtros parabólicos estáticos para eliminar sólidos y sedimentos. Se utilizan sensores de nivel, caudal y conductividad para monitorizar las propiedades hidráulicas y la presencia de sólidos disueltos.
- **Tratamiento:** En este segundo circuito, el agua pretratada fluye a un nuevo tanque equipado con sensores de nivel, turbidez y radar. Se utiliza desinfección con cloro y luz ultravioleta para garantizar la seguridad del agua para el consumo.
- **Bombeo Automatizado:** Bombas centrífugas y sumergibles, controladas por un PLC basado en los datos recibidos de los sensores, transportan el agua entre las distintas etapas.
- **Alarmas:** Las alarmas suenan en caso de mal funcionamiento, alta turbidez o niveles anormales, protegiendo el equipo y garantizando un funcionamiento confiable.

### 3.2.3 Integración de Tecnologías

- **Automatización Industrial:** A través del uso de TIA Portal para programar el PLC Siemens S7-1200 y configurar la HMI KTP700, permitiendo el control automático de cada etapa del sistema. El proceso de pretratamiento es

gestionado mediante sensores de nivel, caudal y conductividad, que activan o detienen el flujo según las condiciones del agua. En la etapa de tratamiento, sensores de turbidez, radar y nivel controlan el estado del agua antes y durante la desinfección.

- **Protocolos de Comunicación:** El protocolo Profinet se utiliza para establecer una comunicación eficiente y confiable entre sensores, actuadores (bombas y válvulas), PLC y HMI, garantizando el control continuo de todo el sistema.
- **Programación Estructurada:** El procedimiento lógico de control está desarrollado mediante bloques funcionales (FB), bloques de organización (OB) y marcas internas, programados en lenguaje Ladder (KOP). Esto consiente en una organización modular y clara para gestionar las distintas ordenamientos automáticas del sistema, tanto en la fase de pretratamiento como en la de tratamiento.

### **3.2.4 Justificación del Diseño Automatizado**

La elección de un sistema automatizado responde a la necesidad de:

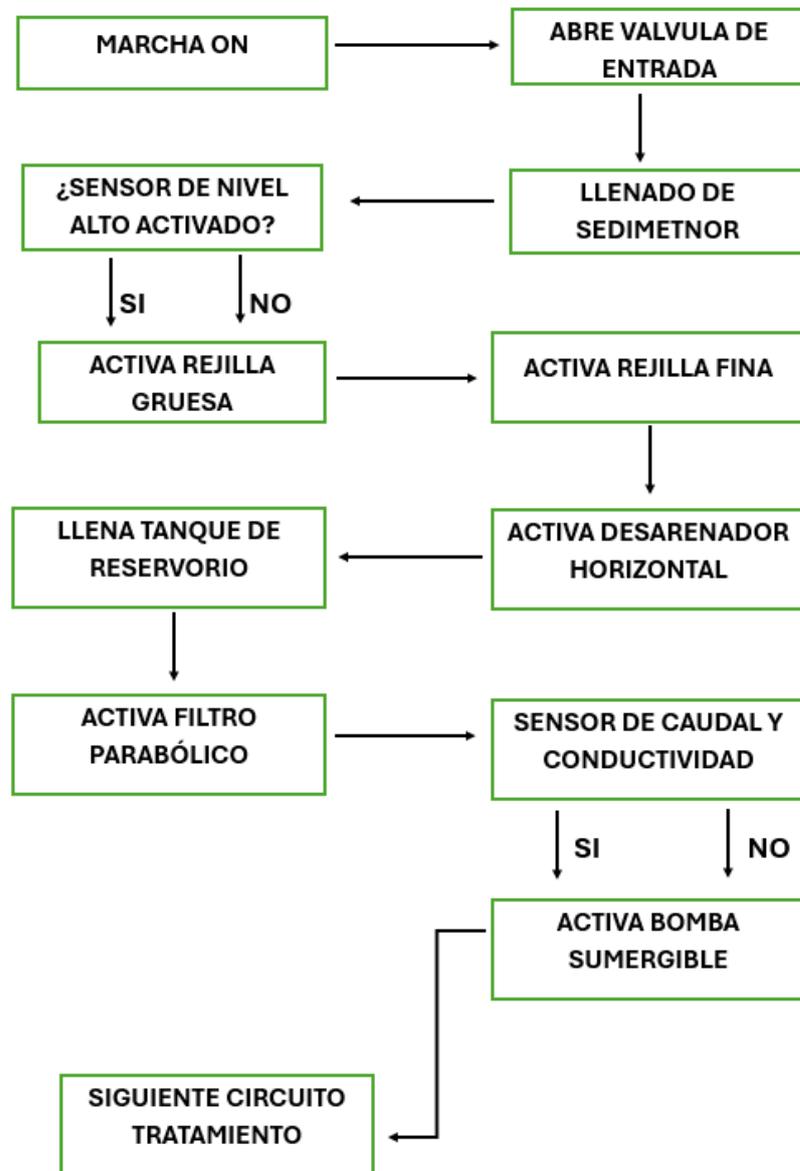
- Aumentar la eficiencia en la gestión del recurso hídrico en zonas rurales.
- Minimizar el riesgo de errores humanos en la operación manual.
- Mejorar la trazabilidad de los datos y la toma de decisiones informada.
- Facilitar la operación del sistema incluso en ausencia de personal técnico calificado.
- Reducir los tiempos de mantenimiento y reacción ante fallas o eventos imprevistos.

### **3.3 Diagramas Funcionales del Sistema de Pretratamiento Hídrico para el Rancho El Manzanillo**

A continuación, se muestra un diagrama de flujo del subproceso del pretratamiento, como se muestra en la *figura 28*.

**Figura 28**

Diagrama de Flujo – Subproceso Pretratamiento

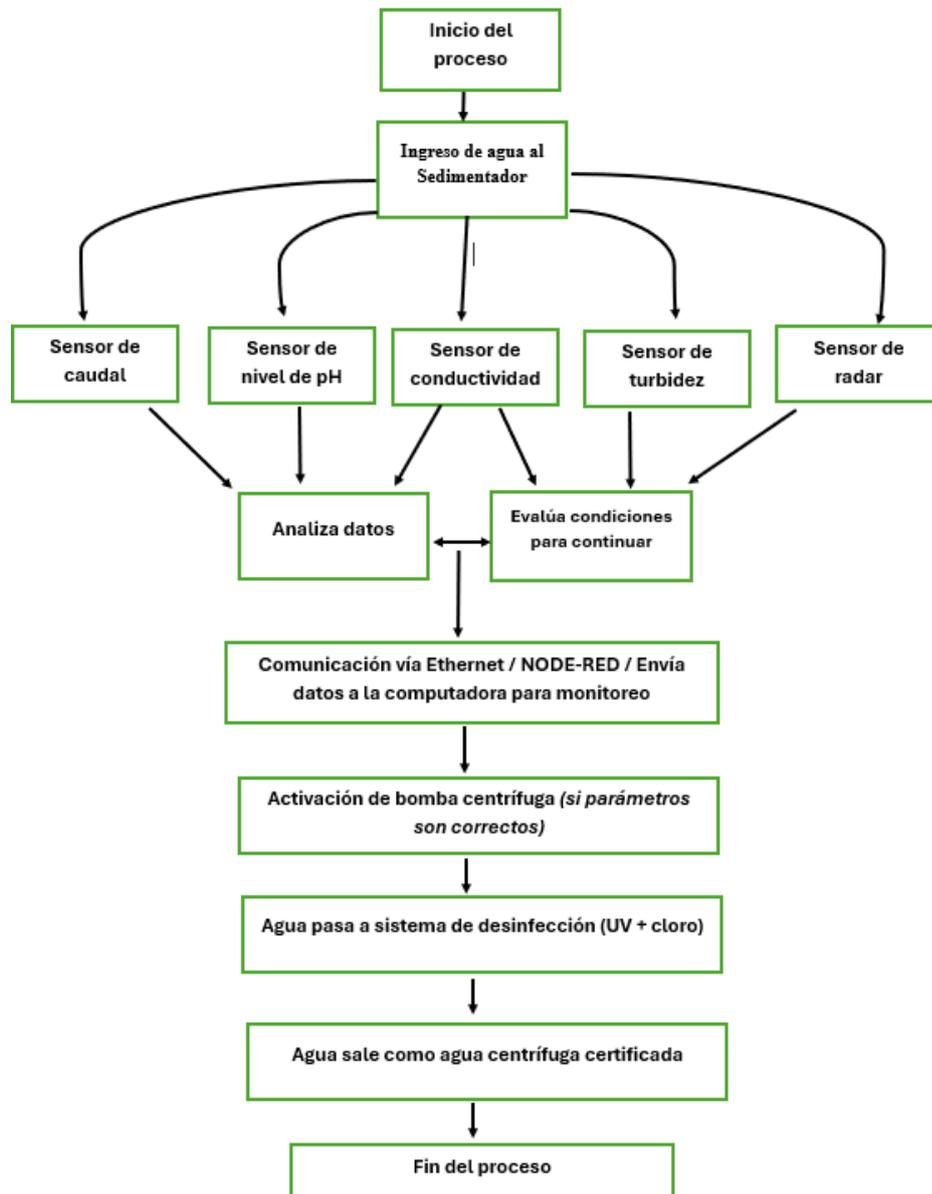


*Nota. Diagrama de flujo- subproceso pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025.*

A continuación, se muestra un diagrama de flujo del proceso del tratamiento, como se muestra en la *figura 29*.

**Figura 29**

Diagrama de Flujo – Subproceso Tratamiento



*Nota. Diagrama de flujo- subproceso tratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

### 3.4 Diseño de circuito propuesto

A continuación, se presentan los circuitos propuestos: uno corresponde al pretratamiento y el otro al tratamiento de agua.

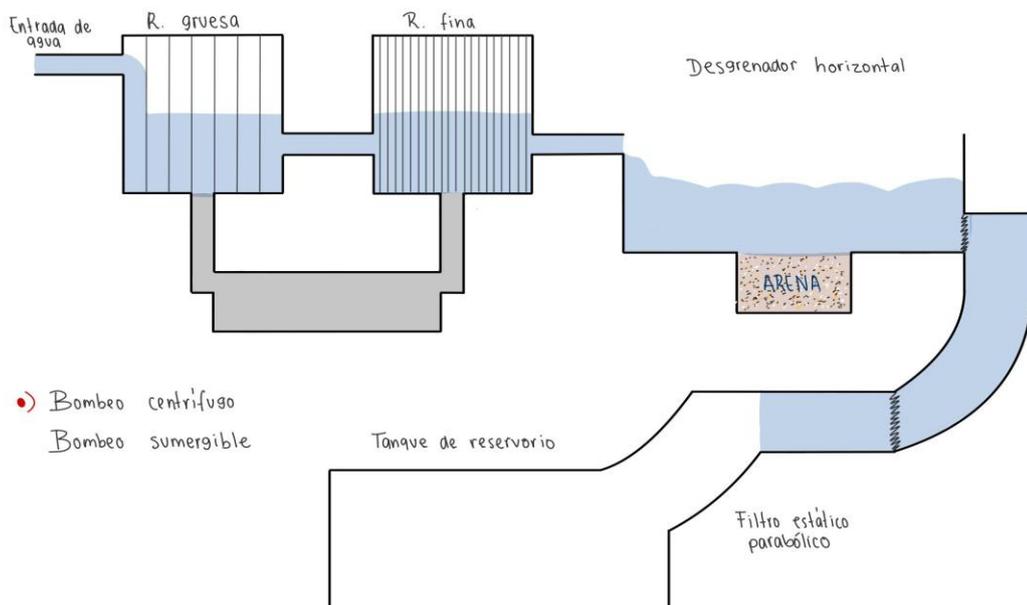
#### 3.4.1 Pretratamiento de aguas residuales

Seguidamente, se muestra el circuito del pretratamiento de aguas residuales para el Rancho El Manzanillo dibujado, como se muestra en la *figura 30*.

**Figura 30**

Pretratamiento de aguas

#### 1 CIRCUITO / Pretratamiento



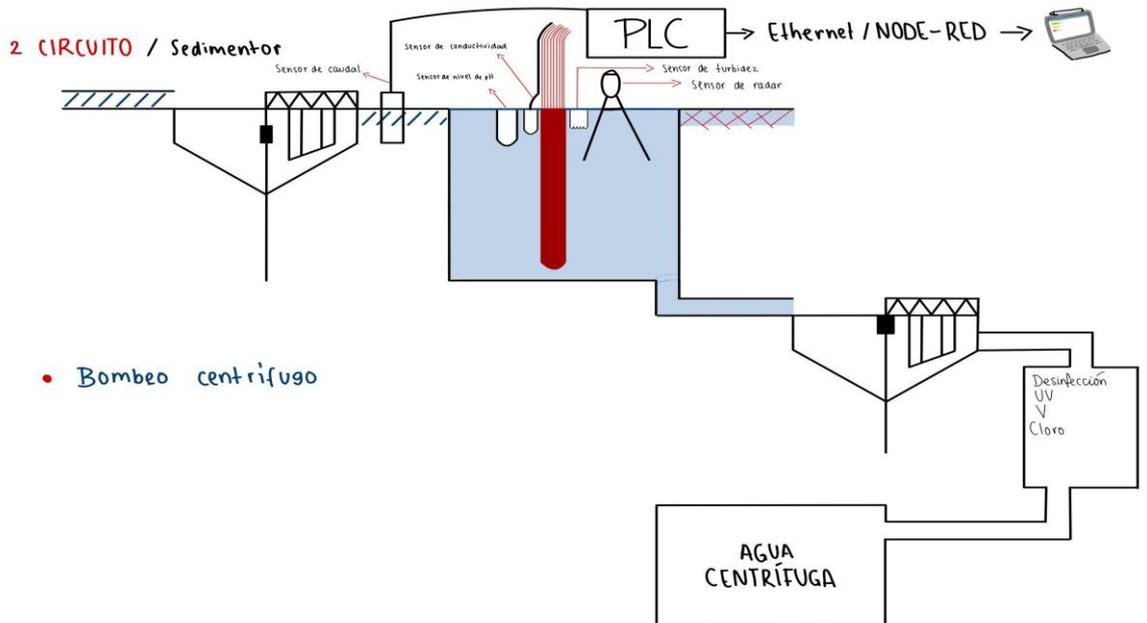
*Nota. Pretratamiento de aguas residuales. Elaborado por el autor, 2025*

### 3.4.2 Tratamiento de agua residuales

Posteriormente se presenta el circuito de tratamiento de aguas residuales para el Rancho El Manzanillo ilustrado, como se muestra la *figura 31*.

**Figura 31**

Tratamiento de aguas



*Nota. Tratamiento de aguas residuales. Elaborado por el autor, 2025*

### 3.5 Creación del proyecto en el software de TIA Portal

El procedimiento para desarrollar un programa con un PLC Siemens S7-1200 en TIA Portal se encuentra dividido en partes iguales. Después, se exponen los pasos:

#### 1. Iniciar TIA portal

Se procede a abrir el software en la computadora como se muestra en la *figura 32*.

**Figura 32**

*Imagen con TIA Portal iniciando*



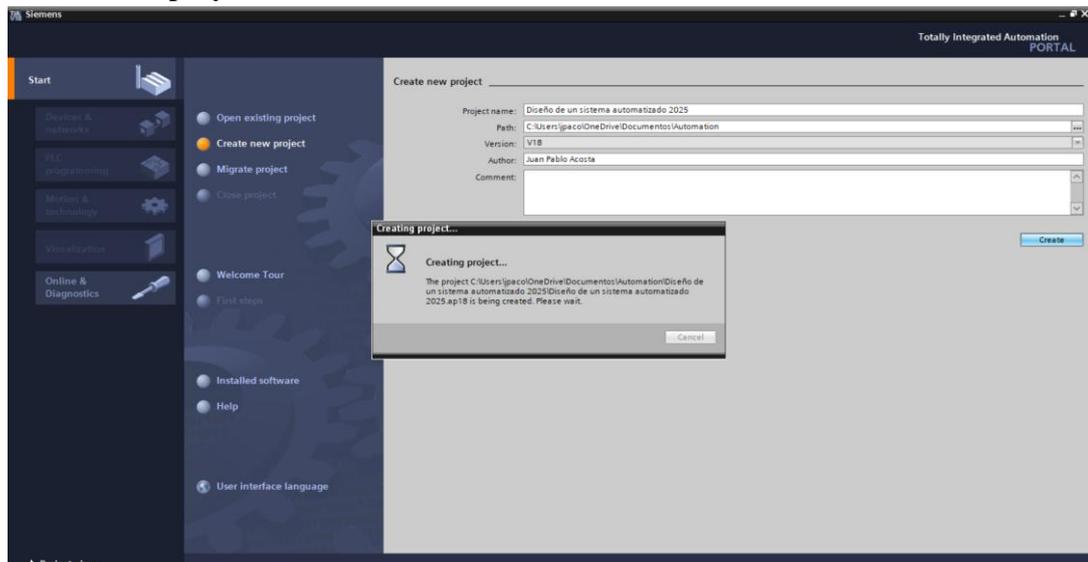
*Nota. Imagen con TIA Portal iniciando, donde se ilustra el inicio del software en la computadora. Elaborado por el autor, 2025*

#### 2. Creacion de un nuevo proyecto

Para comenzar un nuevo proyecto, el usuario debe dirigirse a la pantalla principal, donde localizará el botón 'Crear nuevo proyecto o Create new project'. Al hacer clic en él, se desplegará una ventana que solicitará la introducción del nombre del proyecto, En este caso, el nombre del proyecto que se asignará es 'Diseño de un sistema automatizado 2025, como se muestra en la *figura 33*.

**Figura 33**

### Creación del proyecto



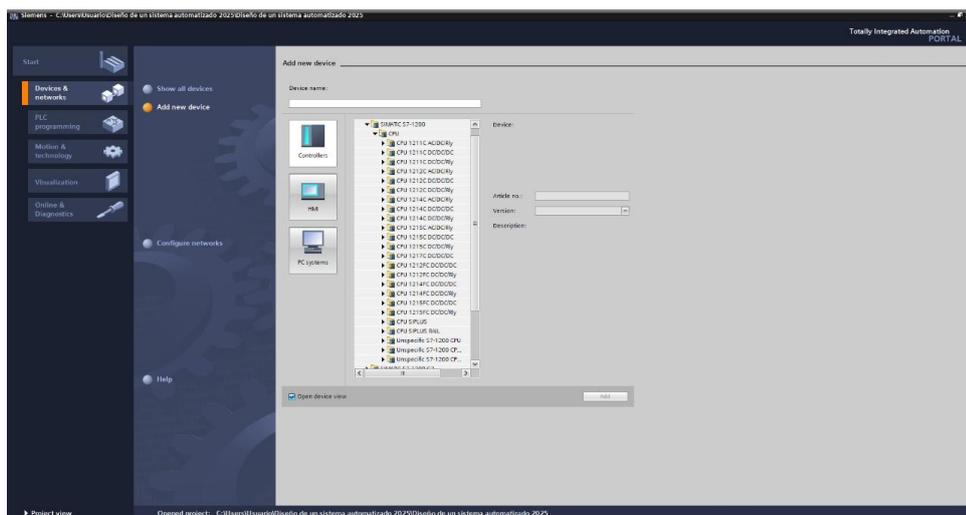
*Nota. Creacion del proyecto, donde se ilustra la creacion del proyecto en TIA Portal. Elaborado por el autor, 2025*

### 3. Selección del dispositivo PLC

Una vez creado el proyecto, el siguiente paso consiste en seleccionar el tipo de controlador a utilizar; en este caso, se empleó el PLC S7-1200 para las tareas de control, como se muestra en la *figura 34*.

**Figura 34**

### Dispositivo PLC



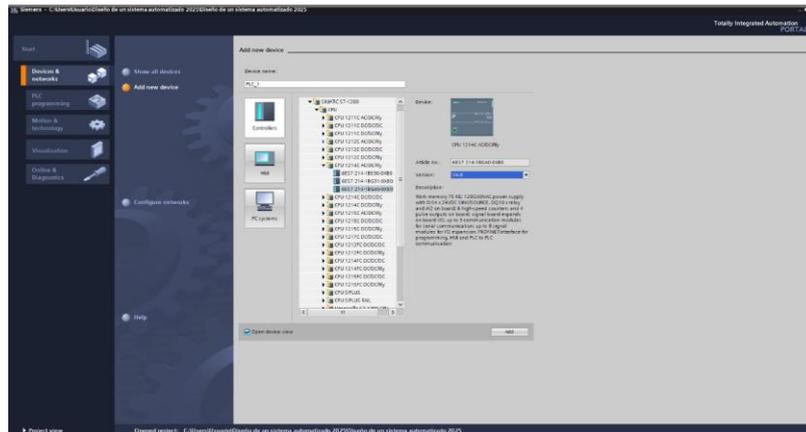
*Nota. Dispositivo de PLC, donde se ilustra la eleccion del dispositivo PLC. Elaborado por el autor, 2025.*

#### 4. Selección de CPU

Con base en la imagen, se optó por el CPU 1214C DC/DC/RLY como controlador, utilizando el modelo de software 4.0 para el dispositivo, como se muestra en la *figura 35*.

**Figura 35**

Selección de CPU



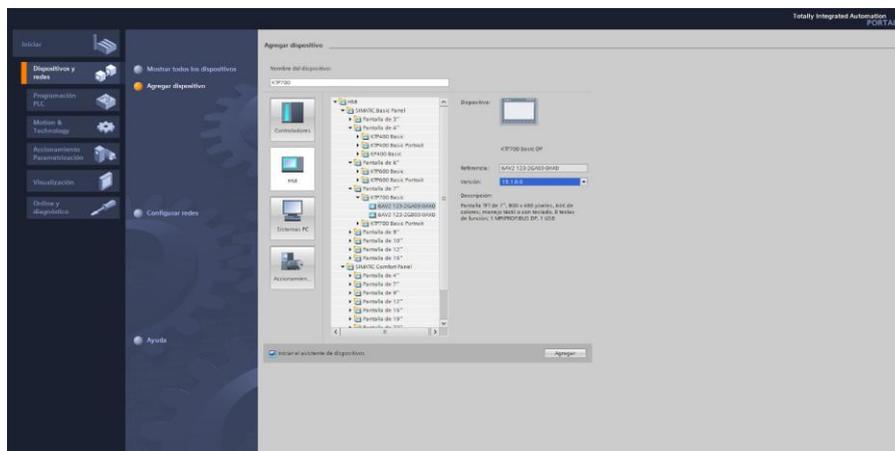
*Nota. Selección CPU, donde se ilustra la elección del CPU que se usara en el proyecto. Elaborado por el autor, 2025*

#### 5. Selección del dispositivo HMI

Para la visualización del proceso, se utilizó el panel HMI KTP700 Basic, junto con su modelo y versión correspondientes, como se muestra en la *figura 36*.

**Figura 36**

Dispositivo HMI



*Nota. Disposición de HMI, donde se ilustra la elección del dispositivo HMI. Elaborado por el autor, 2025*

### 3.6 Creación de cada bloque de programación del PLC en TIA Portal

A continuación, se procedió a implementar la programación utilizando el lenguaje KOP, empleado de forma específica en el presente proyecto de titulación. En esta sección se integran todos los bloques que conforman el programa, incluyendo los bloques funcionales (FB), la interrupción cíclica (Cyclic Interrupt), el bloque principal (Main), el bloque LSim, así como los bloques de datos (DB) donde se almacenan los valores utilizados. Cada uno de estos elementos está diseñado para gestionar de forma independiente un subproceso particular, como se muestra en la *figura 37*.

**Figura 37**

Ventana del TIA Portal donde se enseña los bloques de “Program Blocks o bloques de programa”



*Nota. Ventana del TIA Portal donde se enseña los bloques de “Program Blocks o bloques de programa”, donde se ilustra el panel de control de todos los dispositivos que voy a utilizar. Elaborado por el autor, 2025*

- **Main [OB1]:** Es el bloque principal del programa, donde se integran todos los demás bloques para coordinar y controlar el funcionamiento general de los distintos subprocesos del sistema.
- **Bloques FB [FB]:** Estos bloques se encargan de gestionar de forma individual cada subproceso, permitiendo que el sistema funcione de manera modular y ordenada.

- **LSim [FB]:** Corresponde al bloque de la librería LSim, que trabaja junto al PID para garantizar su correcto desempeño y conexión con el entorno simulado o real.
- **Bloques DB:** Son los bloques de datos donde se almacenan tanto las variables utilizadas en cada FB como la información relacionada con el sistema IoT.

### 3.7 Descripción del Funcionamiento del Sistema de Pretratamiento

El proceso comienza con un depósito donde se guardan las aguas sucias que vienen del Rancho El Manzanillo. Después, el agua entra en el circuito y cuando se pone en marcha el sistema, se abre una válvula que deja pasar el líquido hacia la primera parte de filtrado.

La primera etapa tiene dos rejillas en serie: una rejilla gruesa y otra fina. El agua pasa a través de ambas rejillas, las cuales detienen los desechos y sólidos suspendidos de tamaños diferentes.

Una vez que el agua ha pasado por las dos rejillas, una segunda válvula de control se abre para dejar que pase hacia el desarenador horizontal. En este lugar, se acaba el tratamiento de desarenador, donde se quitan las partículas más pesadas por decantación.

Al fin, el agua limpia en el lodo es enviada a un filtro pequeño y curvo. Cuando pasa por este filtro una nueva válvula se abre para dejar que el agua vuelva al tanque, lista para el paso siguiente llamado "Círculo 2 / Sedimentario"

### 3.8 Programación KOP del pretratamiento

En esta sección se presenta la programación en lenguaje KOP que se desarrolló para control del pretratamiento, como se muestra en la *figura 38, 39 y 40*.

**Figura 38**

Bloques de función del pretratamiento Input

PRETRATAMIENTO									
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Input				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	PRESENCIA AGUA	Bool	false	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	NIVEL ALTO	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	NIVEL BAJO	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	TURBIDEZ ALTA 1	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	TURBIDEZ ALTA 2	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	NIVEL ALTO POZO	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	NIVEL BAJO POZO	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

*Nota. Bloques de función del pretratamiento Input, donde se ilustra los bloques de entrada que se usara en el pretratamiento de agua. Elaborado por el autor, 2025*

**Figura 39**

Bloques de función del pretratamiento Output

PRETRATAMIENTO_DB_1						
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...
9	Output				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	VALVULA REJILLA GRUESA	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	VALVULA REJILLA FINA	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	VALVULA FILTRO	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	VALVULA DESCARGA POZO	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	BOMBA DE POZO	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	BOMBA SALIDA	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	VALVULA ENTRADA DE AGUA	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

*Nota. Bloques de función del pretratamiento Output, donde se ilustra los bloques de salida que se usara en el pretratamiento de agua. Elaborado por el autor, 2025*

**Figura 40**

Bloques de función del pretratamiento InOut

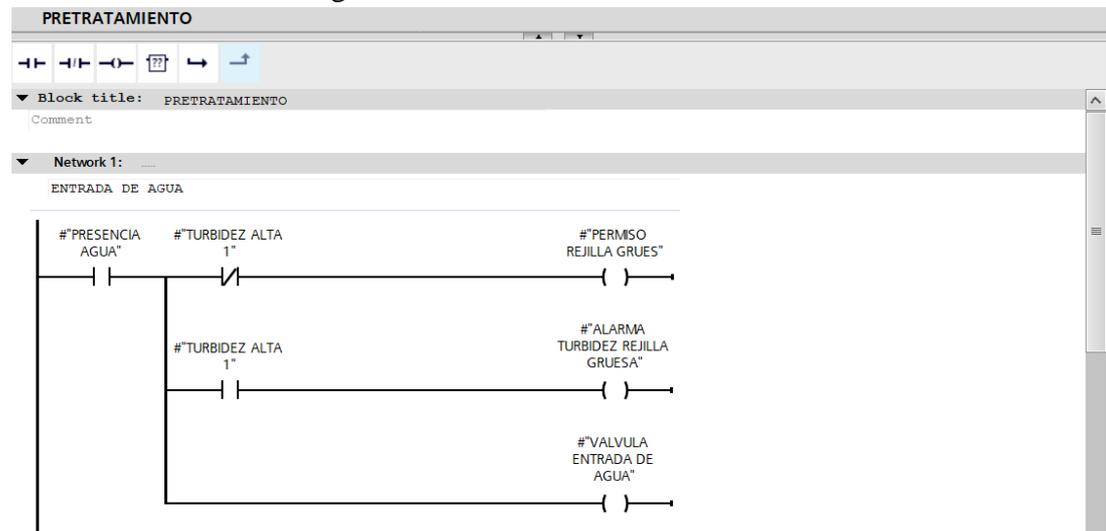
PRETRATAMIENTO									
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setp...	
17	InOut				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	PERMISO REJILLA GRUES	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	PERMISO REJILLA FINA	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	POZO DESARENADOR	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	ALARMA TURBIDEZ REJILLA GRUESA	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	ALARMA TURBIDEZ REJILLA FINA	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23	ALARMA LLENO TANQUE	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24	marcareset	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25	ALARMA TANQUE LLENANDOSE	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

*Nota. Bloques de función del pretratamiento InOutput, donde se ilustra los bloques de InOut que se usara en el pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

En esta sección del bloque "Pretratamiento", la lógica de control de la planta de tratamiento de agua se implementa en lógica de escalera. La presencia de agua y el estado del sensor de turbidez determinan si se activa la malla gruesa. Si la turbidez es alta, se abre el flujo hacia la malla; de lo contrario, se abre el flujo hacia la entrada del pozo. Esta lógica garantiza que el agua con impurezas visibles se filtre primero, optimizando así el proceso antes del bombeo, como se muestra en la *figura 41*.

**Figura 41**

Network 1 / Entrada de agua

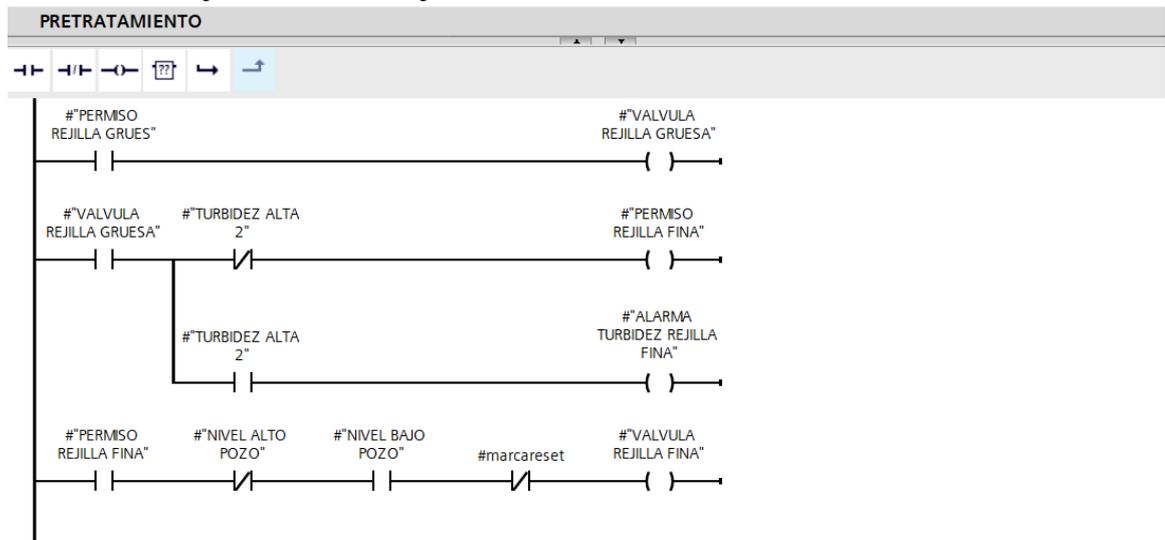


*Nota. Network 1 / Entrada de agua, donde se ilustra la entrada del proceso 1 del pretratamiento de agua. Elaborado por el autor, 2025*

En esta sección del bloque *pretratamiento*, se controla el funcionamiento de la rejilla gruesa y el sistema de bombeo. Las salidas *rejilla\_gruesa 1* y *rejilla\_gruesa 2* se activan cuando se detecta la condición de turbidez alta, permitiendo que el agua pase por filtrado. Si se cumplen las condiciones de nivel bajo *nivel\_bajo* y ausencia de turbidez, se activa la salida *bomba\_pozo* para continuar con el bombeo del agua tratada. Esta lógica garantiza que el sistema opere de forma secuencial, priorizando la filtración cuando sea necesaria antes de bombear el agua al siguiente proceso, como se muestra en la *figura 42*.

**Figura 42**

Network 1 / Rejilla Gruesa o Rejilla Fina

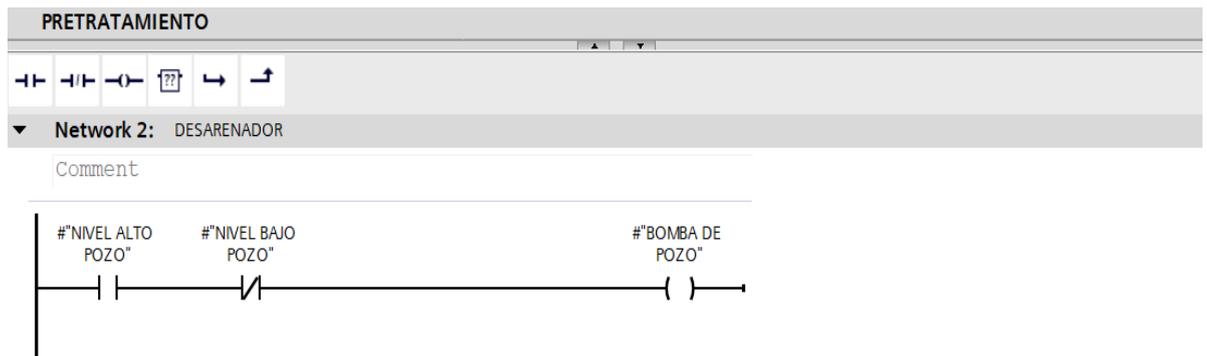


*Nota. Network 1 / Rejilla gruesa o Rejilla Fina, donde se ilustra el funcionamiento de las rejilla fina y gruesa y el ingreso de las turbidez del agua en el proceso de pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

En la red 2 "desarenador", la bomba del pozo *bomba\_de\_pozo* se activa cuando el nivel alto del pozo está presente y al mismo tiempo se detecta un nivel bajo, indicando que el sistema debe extraer agua, como se muestra en la *figura 43*.

**Figura 43**

Network 2 / Desarenador



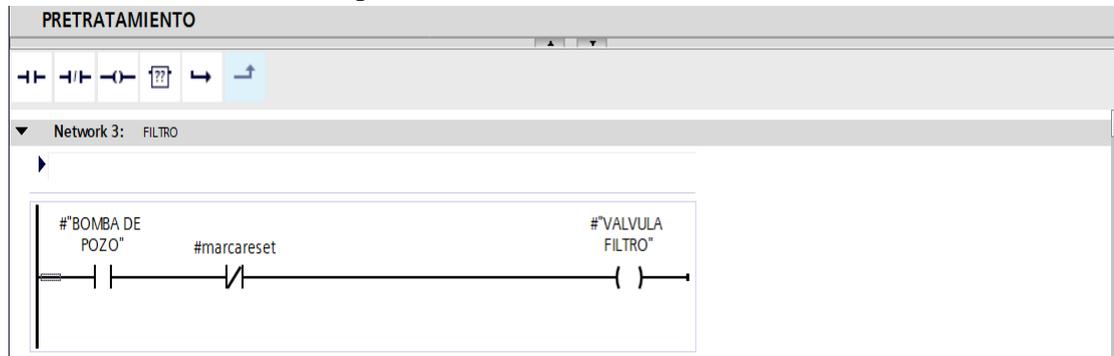
*Nota. Desarenador, donde se ilustra el funcionamiento del desarenador cuando el agua ingresa. Elaborado por el autor, 2025*

En la red 3 la lógica controla la apertura de la válvula del filtro *valvula\_filtro*. Esta se activa cuando la *bomba\_de\_pozo* está en funcionamiento y no está presente la señal de *marcareset*, lo que indica que no hay condición de reinicio o parada de emergencia. De esta forma, la válvula se abre únicamente cuando hay flujo de agua

proveniente del pozo y el sistema está en condiciones normales de operación, como se muestra en la *figura 44*.

**Figura 44**

Network 3 / Filtro estático parabólico

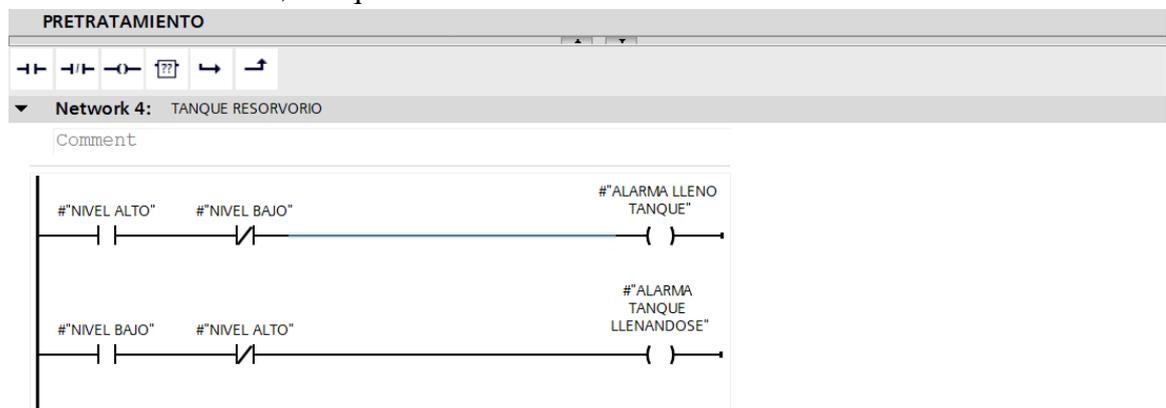


*Nota. Network 3 / Filtro estático parabólico, donde se ilustra el funcionamiento del filtro estático parabólico que ingresa el agua del desarenador. Elaborado por el autor, 2025*

En esta lógica se evalúan condiciones de nivel de un tanque mediante dos contactos: "nivel alto" y "nivel bajo". La primera línea activa la salida "alarma lleno tanque" cuando se detecta nivel alto y no hay nivel bajo, lo cual indica que el tanque está lleno. La segunda línea activa la salida "alarma tanque llenándose" cuando se detecta nivel bajo y no hay nivel alto, indicando que el tanque aún se está llenando. Esta lógica se utiliza para generar alarmas de estado del tanque y facilitar su monitoreo en sistemas automatizados, como se muestra en la *figura 45*.

**Figura 45**

Network 4 / Alarmas, Tanque de reservorio

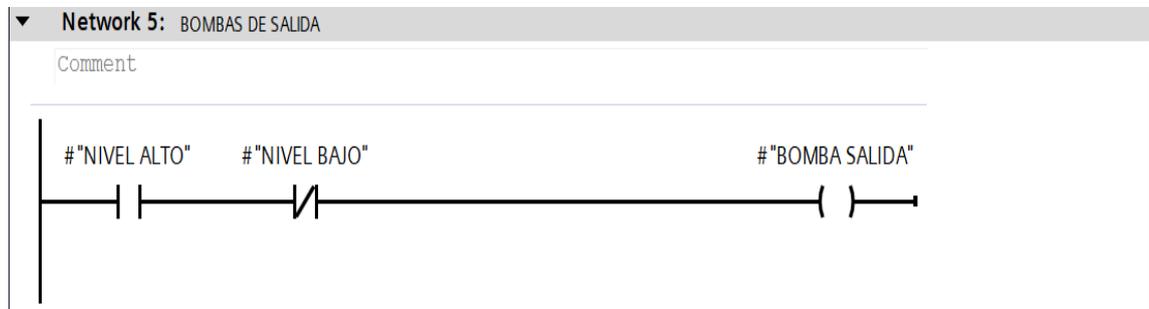


*Nota. Alarmas del tanque de reservorio, donde se ilustra el tanque de reservorio con los sensores de nivel alto y bajo y las alarmas necesarias para el tanque. Elaborado por el autor, 2025*

La lógica consiste en dos condiciones en serie: la primera es que esté activado el sensor de "nivel alto", y la segunda es que no esté activado el sensor de "nivel bajo" (es decir, el contacto está normalmente cerrado en este caso). Esto significa que la bomba solo se activará cuando el tanque tenga suficiente líquido (nivel alto) y aún no haya bajado al nivel mínimo (nivel bajo). Si ambas condiciones se cumplen, se energiza la salida "bomba salida", permitiendo que la bomba funcione. Esta lógica evita que la bomba funcione en seco y asegura que solo se vacíe el tanque cuando hay suficiente contenido, como se muestra en la *figura 46*.

**Figura 46**

Bomba de salida



*Nota. Bomba de salida, donde se ilustra la bomba de salida del agua hacia el proceso de tratamiento. Elaborado por el autor, 2025.*

### 3.8.1 Marcas usadas del pretratamiento

A continuación, las marcas internas usadas en el PLC del pretratamiento, como se muestra en la *tabla 3,4 y 5*.

**Tabla 3**

Marcas internas usadas en el pretratamiento

Marcas	Detalle de marca
%M0.0	Presencia de agua (True)
%M0.1	Nivel Alto de tanque (False)
%M0.2	Nivel Bajo de tanque (True)
%M0.4	Turbidez Rejilla Gruesa (False)
%M0.5	Turbidez Rejilla Fina (False)

%M0.6	Nivel Alto Pozo (True)
%M0.7	Nivel Bajo Pozo (True)
%M40.0	Permiso Rejilla Fina (True)
%M40.2	Permiso Rejilla Gruesa (True)
%M40.3	Pozo Desarenador
%M40.4	Alarma turbidez rejilla gruesa
%M4.5	Alarma turbidez rejilla fina
%M40.6	Alarma lleno tanque
%M40.7	Alarma llenando tanque
%M10.0	Marca25porciento
%M10.1	Marca 60porciento
%M10.2	Marca95porciento
%MW10	Marca contador
%MB20	Clock_Byte
%M20.0	Clock_10Hz
%M20.1	Clock_5Hz
%M20.2	Clock_2.5Hz
%M20.3	Clock_2Hz
%M20.4	Clock_1.25Hz
%M20.5	Clock_1Hz
%M20.6	Clock_0.625Hz
%M20.7	Clock_0.5Hz

%M21.0	Marca reset
--------	-------------

*Nota. Marcas usadas en el pretratamiento, donde se ilustra las marcas internas utilizadas en el PLC para el pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

**Tabla 4**

Dirección de salidas digitales usadas en el pretratamiento

<b>Marcas</b>	<b>Detalle de marca</b>
%Q0.1	Válvula de rejilla gruesa (True)
%Q0.2	Válvula de rejilla fina (False)
%Q0.3	Válvula de filtro (False)
%Q0.5	Válvula de descarga (False)
%Q0.0	Motor Bomba (False)
%Q0.7	Bomba de salida (True)
%Q0.6	Válvula entrada de agua (True)

*Nota. Dirección de salidas usadas en el pretratamiento, donde se ilustra las direcciones utilizadas en el PLC para el pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

**Tabla 5**

Dirección de entradas digitales usadas en el pretratamiento

<b>Marcas</b>	<b>Detalle de marca</b>
%I0.1	Paro
%I0.0	Marcha

*Nota. Dirección de entradas usadas en el pretratamiento, donde se ilustra las direcciones de entradas digitales para el PLC del pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

### 3.9 Programación KOP del pretratamiento HMI (Interfaz Hombre-Máquina)

A continuación, se presenta la programación en lenguaje KOP que se desarrolló para control del pretratamiento HMI (Interfaz Hombre - Maquina), como se muestra en la *figura 47, 48, 49 y 50.*

**Figura 47**

Bloques de animación del HMI Input

BLOQUE ANIMACION HMI									
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Input				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	VALVULA FILTRO	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	clock1	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	clock2	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

*Nota. Bloques de funcionamiento del HMI, donde se ilustra los bloques de entrada de la animación del HMI del pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

**Figura 48**

Bloques de animación del HMI Output

BLOQUE ANIMACION HMI									
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
5	Output				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	25 por ciento	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	60 por ciento	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	95 por ciento	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

*Nota. Bloques de funcionamiento del HMI, donde se ilustra los bloques de la salida de la animación del HMI del pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

**Figura 49**

Bloques de animación del HMI InOut

BLOQUE ANIMACION HMI									
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
9	InOut				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	MARCA CONTADOR	Int	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	marcareset	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	bomba marca	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

*Nota. Bloques de funcionamiento del HMI, donde se ilustra los bloques de InOut de la animación del HMI del pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

**Figura 50**

Bloques de animación del HMI Counter

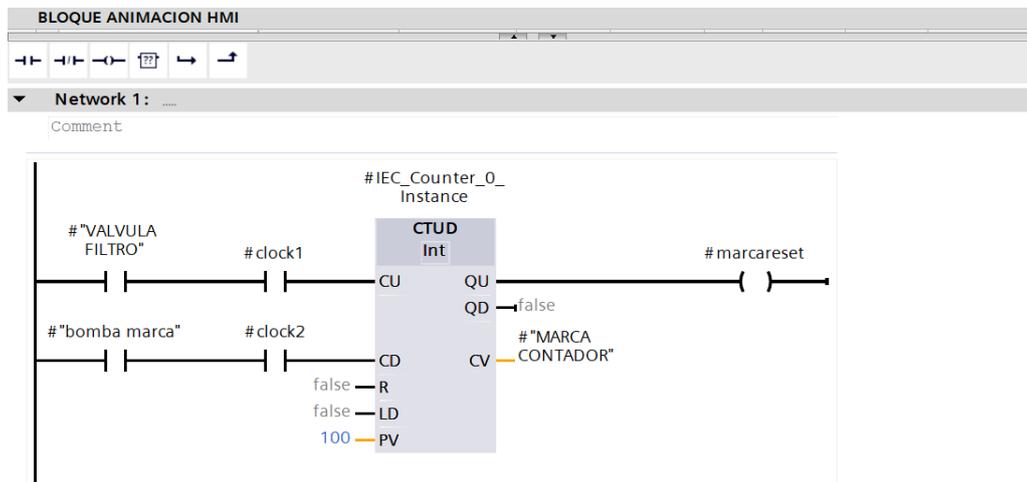
BLOQUE ANIMACION HMI									
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
13	▼ Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	▶ IEC_Counter_0_Insta...	CTUD_INT		Retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

*Nota. Bloques de funcionamiento del HMI, donde se ilustra los bloques del counter de la animación del HMI del pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

Se utiliza un *contador de incremento y decremento (ctud)*. El conteo se incrementa cuando se activa la condición *valvula filtro* junto con la señal de reloj *#clock1*, y se decrementa cuando está activa la señal *bomba marcha* junto con *#clock2*. El contador tiene un valor de preset de 100, y cuando el conteo llega a ese valor, se activa la salida *Q*, la cual a su vez activa la marca *marca\_contador*. Esta lógica permite controlar un proceso en base a eventos acumulativos, como por ejemplo ciclos de funcionamiento o pulsos temporizados, como se muestra en la *figura 51*.

**Figura 51**

Válvula Filtro o IEC\_Counter / Network 1



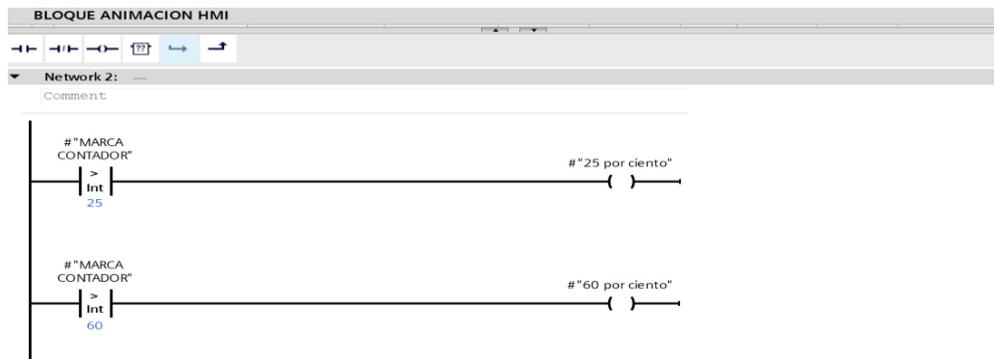
*Nota. IEC\_Counter 1, válvula filtro y bomba marca, donde se ilustra Elaborado por el autor, 2025*

En la primera línea del programa, el 25 % de las salidas se activan cuando la señal del marcador del contador está activa, lo que puede indicar una operación de bajo nivel o un estado inactivo en la HMI. En la segunda línea, también se utiliza la señal del marcador del contador, pero con una condición adicional: el 60 % de las

salidas se activan solo cuando el 25 % de las salidas están desactivadas, lo que evita que ambas salidas se activen simultáneamente y establece una prioridad entre ambos estados, como se muestra en la *figura 52*.

**Figura 52**

Marca Contador / Network 2

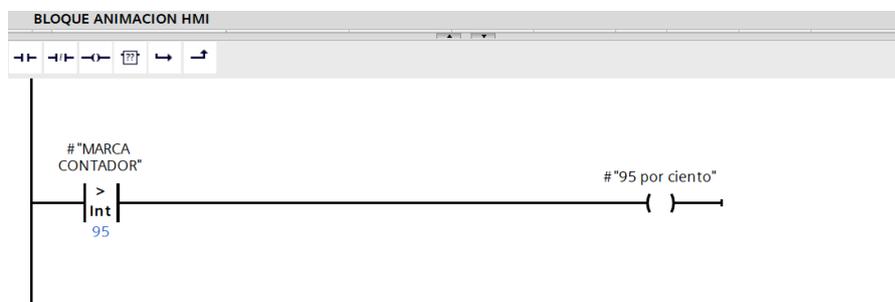


*Nota.* Marcas del contador, Network 2, donde se ilustra el tanque de reservorio de la HMI del proceso de pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025

Se utiliza la condición de entrada *Marca Contador*, representada por un contacto normalmente abierto. Cuando esta señal está activa, se habilita la salida booleana "95 por ciento", lo que indica que, bajo esta condición, el sistema activa una animación o estado en la HMI que representa un 95% de operación. Esta lógica permite mostrar visualmente en la interfaz del operador que el equipo ha alcanzado un nivel alto de funcionamiento, posiblemente como parte de una simulación o representación de carga máxima del sistema, como se muestra la *figura 53*.

**Figura 53**

Marca Contador / Network 2.1



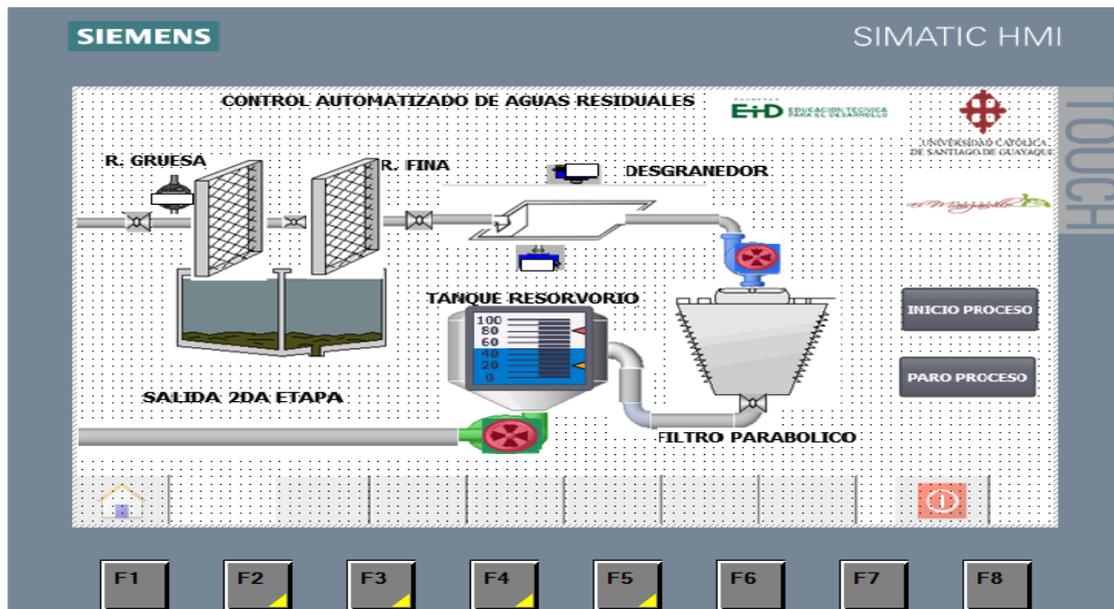
*Nota.* Marca contadora 2.1, donde ilustra el incremento y decremento del tanque de reservorio del pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025

### 3.10 HMI (Interfaz Hombre-Máquina) del pretratamiento

La imagen visualiza la pantalla de visualización y control HMI del programa de pretratamiento, esta pantalla da la capacidad de observar y controlar de forma remota la condición de los componentes fundamentales del procedimiento, como se muestra en la *figura 54*.

**Figura 54**

HMI del pretratamiento Rancho El Manzanillo.



*Nota. HMI del pretratamiento del Rancho El Manzanillo, donde se ilustra el proceso general del pretratamiento del Rancho El Manzanillo en el HMI simulado en TIA Portal. Elaborado por el autor, 2025*

### 3.11 Descripción del funcionamiento del sistema del tratamiento

El agua ingresa al circuito dos del sistema de tratamiento. En este punto, el proceso se inicia con un sedimentador primario que tiene la función de remover la arena y otros sedimentos provenientes del circuito de pretratamiento. Esta etapa crucial garantiza que el agua esté libre de partículas gruesas antes de pasar a la siguiente etapa.

Posteriormente, el agua se dirige a un tanque de almacenamiento equipado con diversos sensores para monitorear sus propiedades. Estos sensores incluyen pH, caudal, conductividad, turbidez y radar. Estos dispositivos recopilan la información necesaria para el control del proceso y determinan la calidad del agua en tiempo real.

Después de que los sensores registran los datos, el agua ingresa a un tanque de sedimentación secundario para completar el proceso. Una vez finalizada esta etapa, el líquido se transfiere a un segundo tanque de almacenamiento para su desinfección manual. Aquí, se añaden los productos químicos necesarios, como el cloro, para ajustar el nivel de pH y garantizar que el agua sea potable.

Finalmente, una vez añadidos los productos químicos y finalizada la desinfección, se abre una válvula manual para permitir que el agua fluya hacia el depósito final, desde donde se distribuye.

### 3.12 Programación KOP del tratamiento

En esta sección se presenta la programación en lenguaje KOP que se desarrolló para control del pretratamiento, como se muestra en la *figura 55* y *56*.

**Figura 55**

Bloques de función del tratamiento Input

TRATAMIENTO									
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Input				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	SENSORCAUDAL	Bool	false	Non-ret...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

*Nota. Bloques de función del tratamiento Input, donde se ilustra los bloques de entrada que se usara en el tratamiento de agua. Elaborado por el autor, 2025*

**Figura 56**

Bloques de función del tratamiento InOut

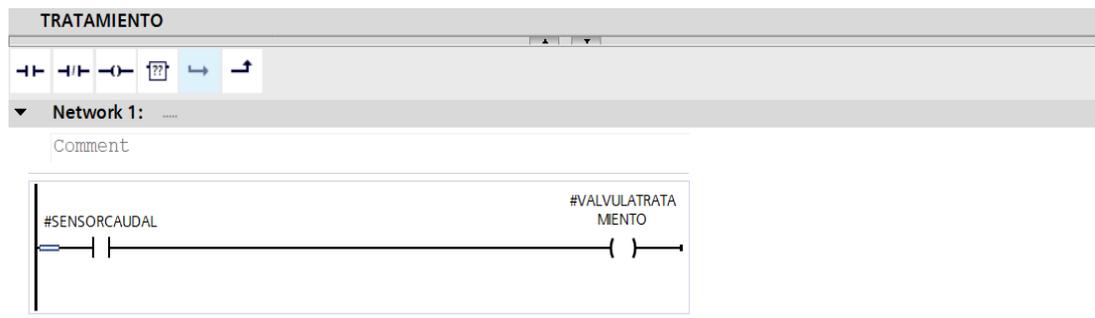
TRATAMIENTO									
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
5	InOut				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	VALVULATRAMIENTO	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	NORMALIZADOSIEMENS	Int	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	ESCALADOSIEMENS	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	NORMALIZADOPACE	Int	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	ESCALADOPACE	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	NORMALIZADOTURBI...	Int	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	ESCALADOTURBIDEZ	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	ALERTA PH EN NIVEL ...	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	ALERTA CONDUCTVID...	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	ALERTA TURBIDEZ INC...	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	NORMALIZADO RADAR	Int	0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	ESCALADO RADAR	Real	0.0	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	ALERTA TANQUE BAJO...	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	ALERTA BAJO NIVEL D...	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	CLOCK3	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	CLOCK4	Bool	false	Non-retain	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

*Nota. Bloques de función del tratamiento InOut, donde se ilustra los bloques de InOut que se usara en el pretratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

En la red 1 del bloque de tratamiento, la lógica dicta que la válvula de tratamiento solo se abrirá cuando el sensor de flujo detecte un flujo de agua. Esto asegura que la válvula solo se active si hay flujo, evitando activaciones innecesarias y optimizando la operación del sistema, como se ilustra en la *figura 57*.

### **Figura 57**

Network 1 / Entrada de agua del tratamiento del Rancho El Manzanillo



*Nota. Network 1, entrada de agua del tratamiento, donde se ilustra la entrada de agua al tratamiento de agua en el segundo circuito. Elaborado por el autor, 2025*

En la red 2 hay un proceso que normaliza y escala una señal medida. Primero, el bloque *norm\_x* cambia el número entero de la variable *normaldosiemens*, cuyo rango es de 0 a 27639, a un valor real entre 0 y 1. Después, este número pasa por el bloque *scale\_x*, que lo cambia a un rango físico de 2.0 a 2000.0 poniendolo en la variable *escaladosiemens*. De esta manera el sistema entiende bien la señal del sensor y la ajusta a las unidades físicas que se necesita para su control, como se ve en la *figura 58*.

### **Figura 58**

Network 2

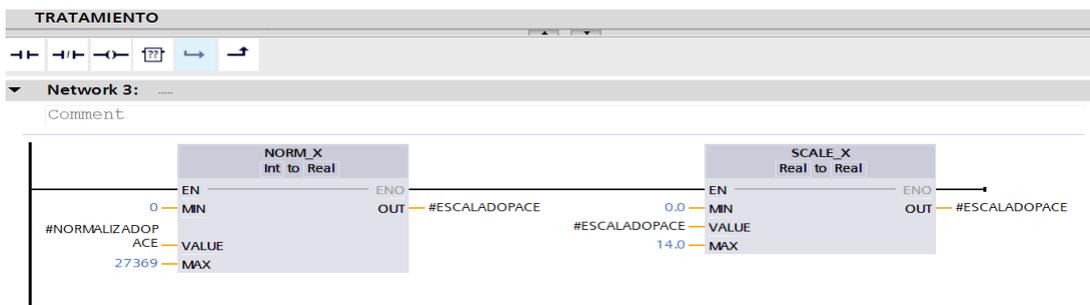


Nota. Network 2, donde se ilustra el proceso que normaliza y escala una señal medida. Elaborado por el autor, 2025

En la red 3 se hace la transformación y escalado de la señal de la variable *normalizadopace*. Primero, el bloque *norm\_x* cambia el número entre 0 y 27639 en uno real entre 0 y 1, guardándolo en el variable *escaladopace*. Luego, el bloque *scale\_x* coge ese número normalizado y lo pasa a un rango físico que va desde 0.0 hasta 14.0, poniéndolo otra vez en *escaladopace*. Esto deja que la señal se entienda bien porque usa unidades físicas que se usan para mirar y controlar el sistema como se enseña en la *figura 59*.

### Figura 59

#### Network 3



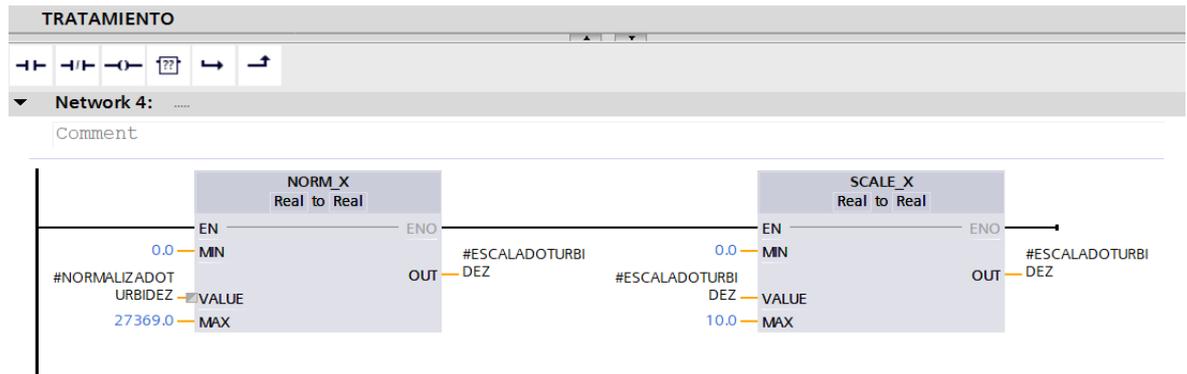
Nota. Network 3, donde se ilustra la transformación y escalado de la señal de la variable. Elaborado por el autor, 2025

El Network 4 enseña un cambio de datos por medio de dos partes lógicas. Primero, el bloque *norm\_x* pone en el rango entre 0.0 y 1.0 un valor de agua turbia, que viene por la variable *#normalizadoturbidex* con un valor de 27369.0. Después, el resultado de esta acción es movido al bloque *scale\_x*, que toma ese número puesto en

rango normal y lo cambia a un nuevo rango entre 0.0 y 10.0 antes de darle a la variable de salida *#escaladoturbidez* como se mira en la *figura 60*.

**Figura 60**

Network 4

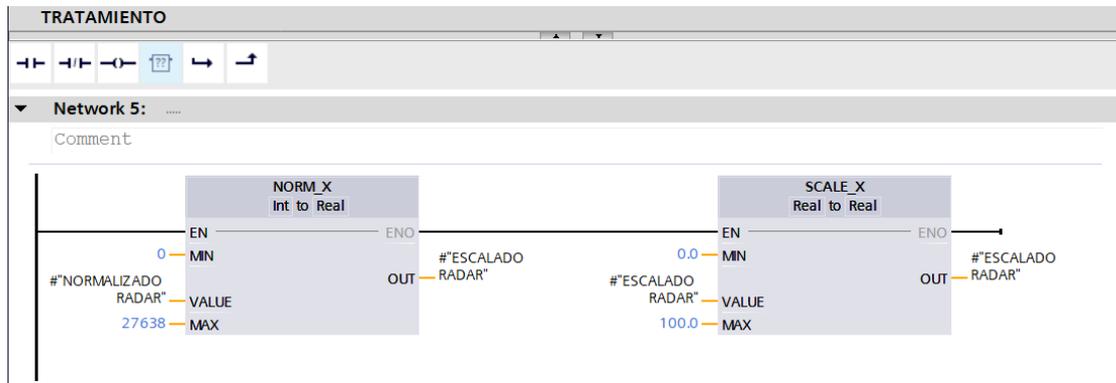


*Nota. Network 4, donde se ilustra un cambio de datos por medio de dos partes lógicas. Elaborado por el autor, 2025*

El Network 5 exhibe una procedimiento similar al anterior, sin embargo aplicable a una magnitud de un sensor de radares. En primer lugar, un número entero del artefacto, llamado *#normalizado\_radar*, es normalizado por el grupo *norm\_x*. Se precisa que el valor inicial *value* se encuentra en una franja de 0 a 27,8, y el fragmento lo transforma a una magnitud real entre 0.0 y 10.0. Luego, la consecuencia de esta normalización es trasladada al grupo de trabajo *scale\_x*, el cual lo escala a una nueva escala, de 0.0 a 10.0, antes de reservarlo para ser asignado a la variable de entrada, que también es llamada *#escalado\_radar*. Este estilo de programación es usual en la automatización de plantas para uniformar la medición de los sensores, haciendo más fácil su entendimiento y utilización por parte del sistema de control, como se puede ver en la *figura 61*.

**Figura 61**

Network 5

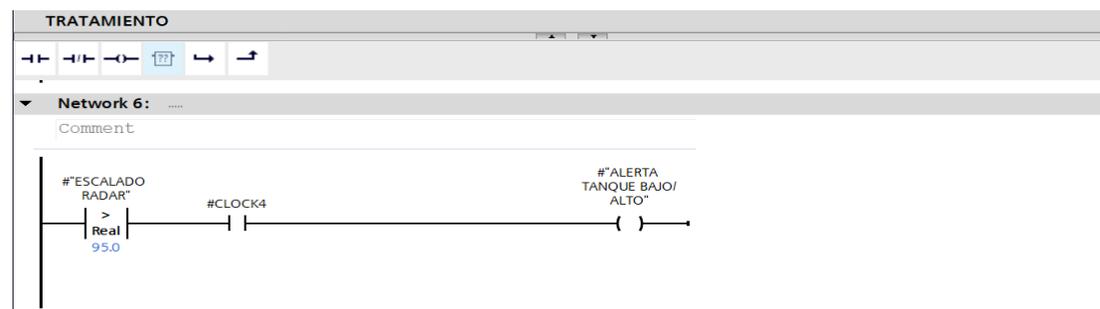


*Nota. Network 5, donde se ilustra un cambio de datos a una magnitud de un sensor de radar para el tanque de reservorio. Elaborado por el autor, 2025*

El sistema de alerta 6 exhibe una alerta que se activa en el momento en que la capa del reservorio sobrepasó una frontera fundamental. Utilizando la medida del radar *#escalado\_radar*, el sistema confronta si este es mayor a 95.0. Si las circunstancias se dan, se activa un signal intermedio *#clock4* el cual, en conjunto, da la señal de alerta, denominada *#alerta\_tanque\_bajo/alto*, como se muestra en la *figura 62*.

**Figura 62**

Network 6



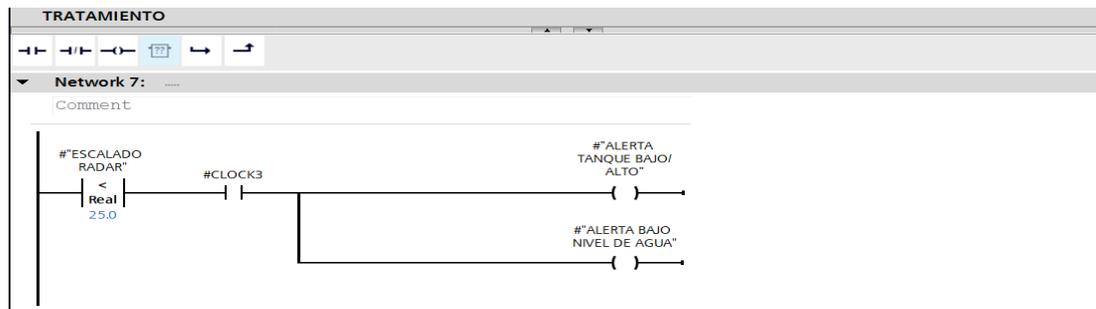
*Nota. Network 6, donde se ilustra una alerta que se activa en el momento en que la capa del reservorio sobrepasó una marca indicada Elaborado por el autor, 2025*

El sistema de alerta 7 es una alarma que se activa en el momento en que el reservorio de agua de un tanque es demasiado diminuto. El programa hace una comparación del valor del detector de radar *#escalado\_radar* y, en el caso en el

que este sea inferior a 25.0, activa una señal intermedia `#clock3` la cual, en combinación con dos alarmas, hace referencia a la condición bajo de agua `#alerta_bajo_nivel_de_agua` y se muestra en la *figura 63*.

**Figura 63**

Network 7

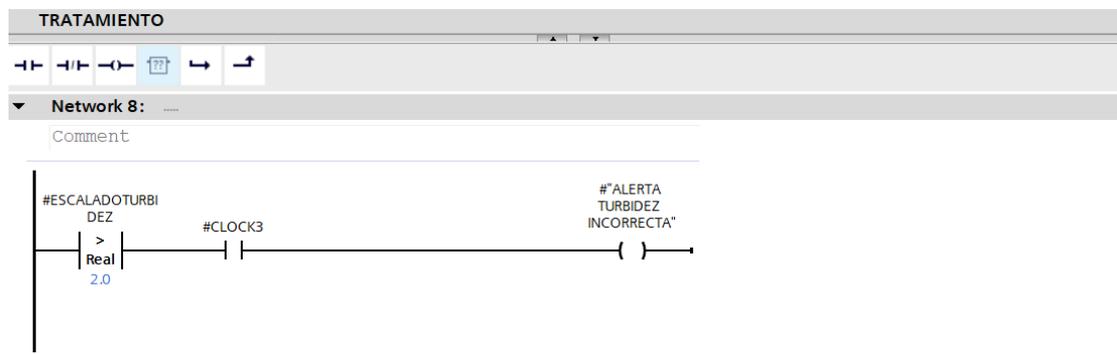


*Nota. Network 7, donde se ilustra un sistema de alarma que se activa en el momento en el que el tanque de reservorio es demasiado bajo. Elaborado por el autor, 2025*

El sistema de alerta número 8 es una alarma que se activa en el momento en que la contaminación por turbidez sobrepase una marca determinada. Se hace una comparación del valor de la turbidez, guardado en `#escaladoturbidez`, y en el caso en el que este número sea mayor a 2.0, se activa una señal intermedia `#clock3` la cual enciende la alerta `#alerta_turbidez_incorrecta`, como es posible ver en la *figura 64*.

**Figura 64**

Network 8

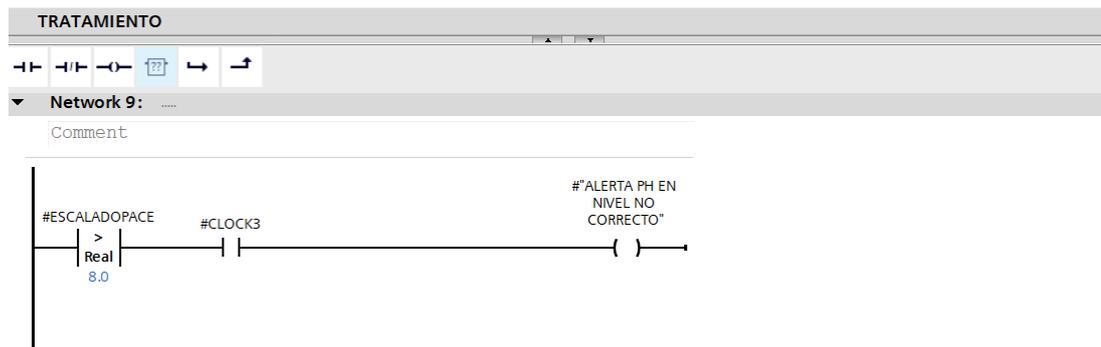


*Nota. Network 8, donde se ilustra la activación de una alarma de turbidez, sobre pase lo indicado en la programación. Elaborado por el autor, 2025*

El Network 9 es un sistema de alerta que se activa en el momento en que el nivel de pH de un fluido es demasiado alto. El sistema hace una comparación del valor de pH *#escaladpace* y, si este es mayor a 8.0, activa una señal intermedia *#clock3* la cual enciende la alarma *#alerta\_ph\_en\_nivel\_no\_correcto*, como es posible ver en la *figura 65*.

**Figura 65**

Network 9

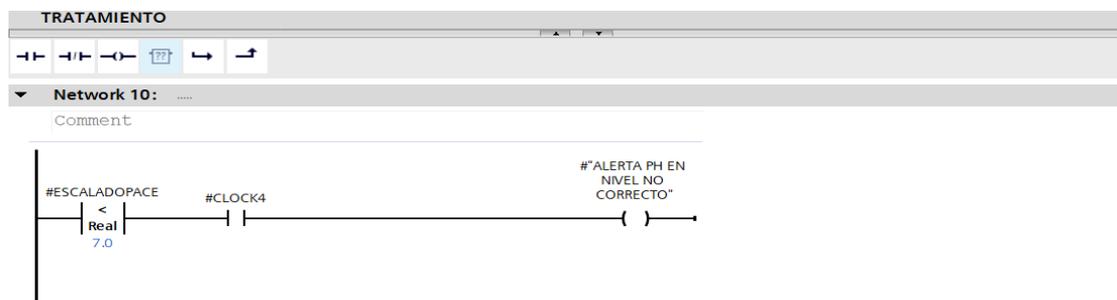


*Nota. Network 9, donde se ilustra un sistema de alarma que se activa en el momento en el que el nivel de valor de pH de fluido es demasiado alto. Elaborado por el autor, 2025*

El sistema de alarma 10 es una alerta que se produce cuando el nivel de pH de un fluido es inferior a 7.0. Si el valor de pH *#escaladpace* es inferior al límite en cuestión, se activa una señal intermedia *#clock4* la cual, a su vez, enciende la alarma *#alerta\_ph\_en\_nivel*, como se muestra en la *figura 66*.

**Figura 66**

Network 10

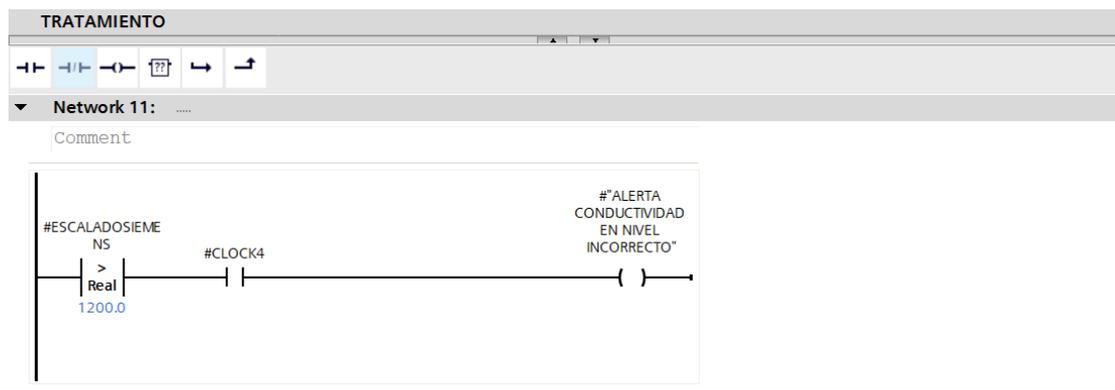


*Nota. Network 10, donde se ilustra una alarma que se produce por el nivel de pH. Elaborado por el autor, 2025*

El Network 11 es un sistema de alerta que se activa en el momento en que la capacidad de conducción de un fluido es demasiado alta. El sistema encuentra la diferencia de valor entre la conductividad *#escaladosiemens* y, si este es mayor a 1200.0, activa una señal intermedia *#clock4* la cual enciende la alarma *#alerta\_conductividad\_en\_nivel\_incorrecto*, como se muestra en la *figura 67*.

**Figura 67**

Network 11



*Nota. Network 11, donde se ilustra el proceso si la alarma se activa si la conductividad del agua supera el umbral de 1200.0. Elaborado por el autor, 2025*

### 3.13 Marcas usadas del pretratamiento

A continuación, las marcas internas usadas en el PLC del tratamiento, como se muestra en la *tabla 6* y *7*.

**Tabla 6**

Marcas internas usadas en el tratamiento

Marcas	Detalle de marca
%M50.0	Sensorcaudal
%M50.1	Valvula tratamiento
%MW60	Normalizado siemens
%MW70	Normalizado radar
%MW80	Normalizado ph

%MW90	Normalizado turbidez
%MD100	Escalado siemens
%MD110	Escalado radar
%MD120	Escalado ph
%MD130	Escalado turbidez
%M1.0	Alerta tanque
%M1.1	Alerta ph
%M1.2	Alerta siemens
%M1.3	Alerta turbidez
%M1.4	Alerta bajo nivel de agua

*Nota. Marcas usadas en el tratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

**Tabla 7**

Dirección de salidas digitales usadas en el tratamiento

<b>Marcas</b>	<b>Detalle de marca</b>
%Q2.0	Enclavamiento proceso

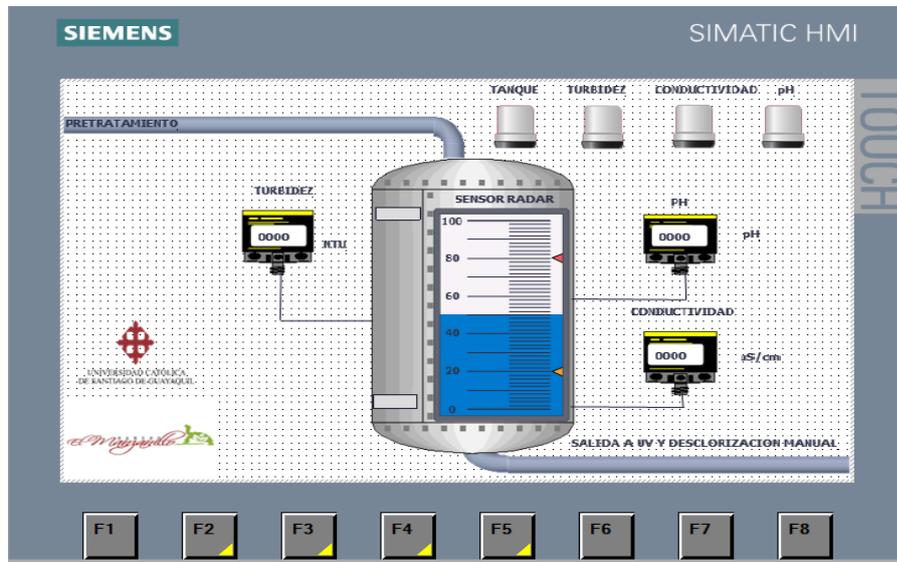
*Nota. Dirección de salidas usadas en el tratamiento. Elaborado por el autor, 2025*

### **3.14 HMI (Interfaz Hombre-Máquina) del tratamiento**

Las imágenes visualizan las pantallas de control HMI del programa de tratamiento, esta pantalla le da la capacidad de observar y controlar de forma remota la condición de los componentes fundamentales del procedimiento, como se muestra en la *figura 68 y 69*.

**Figura 68**

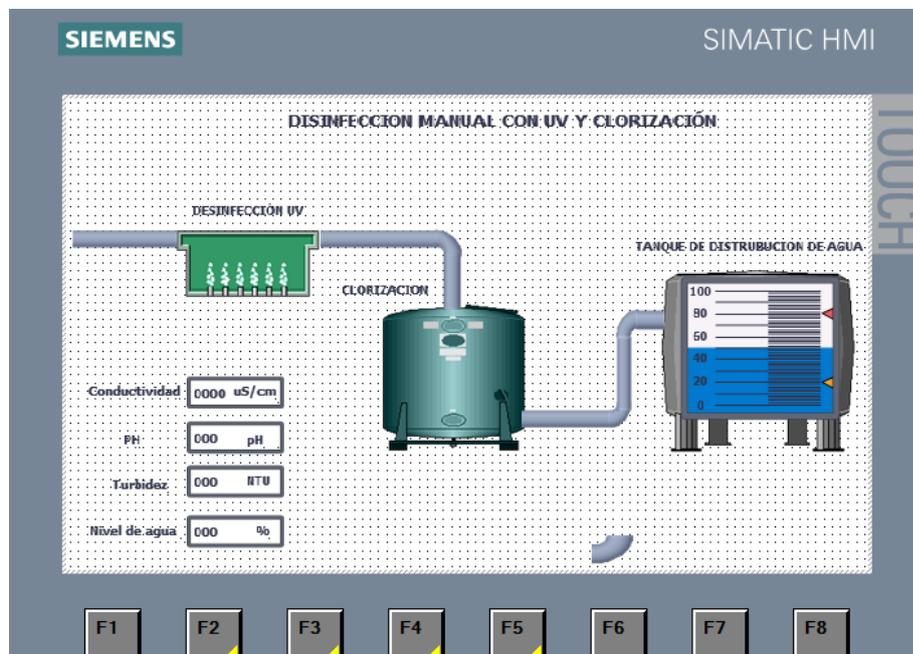
HMI del tratamiento de agua del Rancho El Manzanillo



*Nota.HMI del tratamiento, donde se ilustra el funcionamiento del tratamiento en la pantalla HMI. Elaborado por el autor, 2025*

**Figura 69**

HMI del tratamiento de agua del Rancho El Manzanillo 1.1



*Nota.HMI del tratamiento, donde se ilustra el funcionamiento del tratamiento en la pantalla HMI. Elaborado por el autor, 2025*

### 3.15 Descripción del sistema hídrico luego del sistema automatizado del Rancho El Manzanillo

La siguiente tabla detalla el ahorro de agua proyectado y los beneficios económicos de implementar un sistema de tratamiento y optimización de agua en Rancho El Manzanillo. Presenta las cifras actuales de consumo de agua (en galones) y los gastos asociados (en dólares) en comparación con un escenario proyectado que logra una reducción del 50%. Se proporciona una estimación del consumo y ahorro de agua semanal, mensual y anual para demostrar que la inversión en este sistema no solo contribuirá al desarrollo sostenible al reducir el consumo de agua a la mitad, sino que también reducirá significativamente los costos operativos del rancho. En definitiva, esta tabla subraya el valor de adoptar tecnologías eficientes para la gestión de los recursos hídricos, como se muestra en la *tabla 8*.

**Tabla 8**

Descripción del sistema

<b>Periodo</b>	<b>Gasto Antes (Galones)</b>	<b>Cálculo Gasto Después (Galones)</b>	<b>Gasto Antes (USD) (50% Ahorro)</b>	<b>Cálculo Gasto Después (USD)</b>
Semanal	15,000 galones	7,500 galones	600\$	300\$
Mensual	60,000 galones	30.000 galones	2.400\$	1200\$
Anual	720,000 galones	360.000 galones	8.800\$	4400\$

*Nota. Descripción del sistema al 50%. Elaborado por el autor, 2025.*

### 3.16 Desglose de Costos de Materiales y Componentes para el Sistema Automatizado de Gestión de Agua

Este proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de automatización para la gestión integral del agua en el Rancho El Manzanillo, ubicado en la Isla Santa Cruz. El objetivo principal es optimizar el uso del recurso hídrico mediante el monitoreo en tiempo real de variables clave (como flujo y nivel de agua) y el control automático de procesos (como el bombeo y la distribución). La implementación de un PLC Siemens S7-1200 como cerebro del sistema garantizará una solución robusta, fiable y de alto rendimiento, optimizando la eficiencia en las operaciones hídricas del rancho y contribuyendo a la conservación del agua y a la sostenibilidad ambiental en un ecosistema tan sensible como el de Galápagos.

#### 1. Controlador Lógico Programable (PLC)

**Tabla 9**

Costos de materiales y componentes

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango de precio estimado (por unidad)</b>
S7-1200 (CPU)	Controladores de alto rendimiento para tareas de automatización complejas.	300 – 400\$

*Nota. Costos de materiales y componentes. Elaborado por el autor, 2025.*

#### 2. Componentes de Sensores y Monitoreo

**Tabla 10**

Costos de materiales y componentes

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango de precio estimado (por unidad)</b>
Sensor de nivel de agua	Mide la altura o nivel de un líquido en tanques, pozos o reservorios. Hay tipos ultrasónicos, de flotador,	Flotador: \$5 - \$50 Ultrasónico/Capacitivo: \$150 - \$600+

	capacitivos.	
Sensor de Nivel de pH	Mide la acidez o alcalinidad (pH) del agua, crucial para la calidad en agricultura o consumo.	\$20 - \$350 (Electrodos económicos hasta sondas industriales con transmisor).
Sensor de Caudal	Mide el volumen o tasa de flujo de agua que pasa por una tubería en un tiempo determinado.	\$6 - \$300+
Sensor de Turbidez	Mide la claridad del agua, detectando partículas suspendidas que la enturbian.	\$20 - \$400+ (Sensores básicos para Arduino hasta turbidímetros portátiles o de laboratorio).

*Nota.* Costos de materiales y componentes. *Elaborado por el autor, 2025.*

### 3. Componentes de Actuación y Distribución de Agua

**Tabla 11**

Costos de materiales y componentes

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango de precio estimado (por unidad)</b>
Bombas de Agua Sumergibles	Para extraer o mover grandes volúmenes de agua de pozos, tanques o ríos.	\$44 - \$161
Tuberías de PVC	Conducen el agua a través del sistema de riego y distribución	\$0.5 - \$146 (por metro o sección)
Conexiones y Accesorios PVC	Codos, tes, uniones, reductores, etc., necesarios para la instalación de las tuberías.	\$1 - \$10 (por pieza)

*Nota. Costos de materiales y componentes. Elaborado por el autor, 2025.*

#### 4. Componentes de Conectividad y Energía

**Tabla 12**

Costos de materiales y componentes

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango de precio estimado (por unidad)</b>
Cableado Eléctrico Exterior	Cables resistentes a la intemperie para la alimentación y comunicación de los dispositivos.	\$0.40 - \$2.55 (por metro)
Paneles Solares Pequeños	Suministran energía renovable para alimentar los componentes electrónicos del sistema.	\$42 - \$140 (por panel pequeño)
Baterías Recargables (Gel/AGM)	Almacenan la energía solar para asegurar el funcionamiento continuo, incluso sin sol.	\$114 - \$360 (por batería)
Controlador de Carga Solar	Regula la carga de las baterías desde los paneles solares para protegerlas.	Incluido en kits solares o \$20 - \$100+ (por separado)

*Nota. Costos de materiales y componentes. Elaborado por el autor, 2025.*

El costo total de implementación del sistema de pretratamiento y tratamiento de agua en el Rancho El Manzanillo se estima en USD 80,000, considerando instrumentación avanzada, bombas con variadores de frecuencia, PLC/HMI, SCADA, tableros eléctricos, comunicaciones, obra civil, instalación, capacitación y logística insular. En un escenario ambicioso, donde además de sustituir la compra de agua se logran ahorros significativos por eficiencia energética, optimización en el uso de químicos, reducción de mano de obra y prevención de sanciones ambientales, se proyecta un ahorro anual cercano a USD 20,000, lo que permite alcanzar la recuperación de la inversión en aproximadamente 4 años, consolidando al proyecto como una alternativa viable tanto en el plano económico como ambiental.

## Conclusiones

El estudio ha logrado satisfactoriamente su objetivo general de diseñar un sistema automatizado de monitoreo y control de procesos hídricos en el Rancho El Manzanillo, utilizando PLC y SCADA.

Se cumplieron los objetivos específicos, incluyendo la descripción del sistema hídrico actual, la investigación de tecnologías de automatización aplicables, el diseño detallado del sistema SCADA con especificación de componentes y la simulación exitosa de su funcionamiento en un entorno virtual, evaluando su desempeño bajo diversas condiciones operativas.

Las simulaciones por computadora del sistema de automatización, basadas en un PLC Siemens S7-1200 y monitoreadas por SCADA en el Portal TIA, validaron la hipótesis de que el diseño propuesto permitiría una gestión eficiente, segura y controlable del proceso de tratamiento de agua de Rancho El Manzanillo. Los resultados de la simulación demostraron la capacidad del sistema para optimizar el uso del agua en diversas condiciones de operación. Impacto positivo en la gestión de los recursos hídricos y el ahorro de costos: El diseño de la automatización aborda los desafíos del suministro insuficiente de agua y el alto costo del suministro externo de agua.

Los resultados de la simulación indican que el consumo de agua y los costos operativos del rancho se reducirán significativamente en un 50%, lo que se traducirá en un ahorro semanal de 7,500 galones (de 15,000 a 7,500 galones) y \$300 (de \$600 a \$300), lo que totaliza \$4,400 (de \$8,800 a \$4,400) al año. Mejora de la Sostenibilidad Ambiental: Al incorporar el tratamiento y la reutilización de aguas residuales que actualmente se vierten sin procesar, el sistema propuesto contribuye a minimizar el impacto ambiental negativo y se alinea con las estrictas políticas de conservación ambiental de las Islas Galápagos.

El sistema automatizado, aceptado por la necesidad de desarrollar la eficiencia, minimizar errores humanos, optimizar la trazabilidad de datos y facilitar la operación, indica el potencial para reducir los tiempos de mantenimiento y reacción

ante fallas, ofreciendo un control continuo y en tiempo real a través del SCADA y su alarma.

## Recomendaciones

- Dada la validación del diseño y la hipótesis a través de la simulación, se recomienda como paso fundamental la implementación física del sistema automatizado en el Rancho El Manzanillo. Esto permitirá confirmar los beneficios proyectados en un entorno real y ajustar cualquier variable no contemplada en la simulación.
- Antes de una implementación a gran escala, se sugiere establecer un sistema piloto para validar el funcionamiento y la eficiencia del tratamiento de agua bajo condiciones operativas reales del rancho. Se debe conservar un monitoreo continuo de las medidas de calidad del agua tratada (pH, turbidez, conductividad) para afirmar que cumplan con las reglas locales y sean idóneas para los usos secundarios propuestos.
- Es crucial desarrollar un programa de capacitación para el personal del Rancho El Manzanillo sobre la operación, monitoreo y mantenimiento del nuevo método automatizado. Esto garantizará una transición fácil y el uso eficaz de las tecnologías implementadas, quitando la dependencia de personal técnico especializado externo a largo plazo.
- Aunque la tesis menciona paneles solares para la conectividad y energía, se encomienda profundizar en la optimización energética de todo el método de bombeo y tratamiento. Examinar la integración de más fuentes de energía renovable podría reducir aún más los costos operativos y endurecer el compromiso del rancho con la sostenibilidad ambiental.
- Se sugiere cumplir un análisis de costo-beneficio más minucioso y a largo plazo que rodee los costos de instalación, mantenimiento, vida útil de los dispositivos y los ahorros proyectados. Esto brindará un enfoque financiero más completa para futuras inversiones y justificaciones del plan.
- Piense la posibilidad de elevar la disposición del agua tratada para usos adicionales, examinando tecnologías de tratamiento terciario si fuera necesario. Esto podría abrir nuevas oportunidades para el uso del agua

reciclada, sometiendo aún más la dependencia del agua de lluvia y el abastecimiento externo.

## Bibliografía

- Abner, C. (2022, septiembre 11). Introducción al Lenguaje Ladder. carlosabneryt.com. <https://carlosabneryt.com/introduccion-al-lenguaje-ladder/>
- Ai, & Analytics. (2022, enero 3). Cómo funciona un sensor de caudal del agua. Enteldigital.cl. <https://enteldigital.cl/blog/c%C3%B3mo-funciona-un-sensor-de-caudal-del-agua>
- Bomba centrífuga, ¿Qué es y qué ventajas tiene? (2023, marzo 21). Geohidraulica. <https://geohidraulica.com/bomba-centrifuga-que-es-y-que-ventajas-tiene/>
- Borrás, C. (2020, mayo 22). ¿Qué es una válvula y para qué sirve? - caloryfrio.com. Caloryfrio.com; Caloryfrio. <https://www.caloryfrio.com/sanitarios/tuberias-accesorios/que-es-una-valvula-y-para-que-sirve.html>
- Carranza, C. (2023, enero 3). ¿Qué es un HMI? (Interfaz Hombre Máquina). Automatización. <https://automatizaciones.mx/que-es-un-hmi-y-para-que-sirve-interfaz-hombre-maquina/>
- Desarenadores de agua: Qué son y cómo funcionan. (2021, junio 4). Boss Tech. <https://bosstech.pe/blog/que-son-desarenadores-agua/>
- Distron. (2024, enero 10). Cómo funciona un medidor de turbidez del agua. Distron. <https://distron.es/como-funciona-medidor-de-turbidez-del-agua/>
- Domínguez, A. (2022, diciembre 20). En esta lección voy a explicarte qué es un FC en TIA Leer más. Programacionmultidisciplinar.com; Abel Domínguez. <https://www.programacionmultidisciplinar.com/curso-de-tia-portal/fc-vs-fb-tia-portal/>
- Domínguez, A. (2022, noviembre 15). Bloques de Organización (OB) en TIA Portal. Programacionmultidisciplinar.com; Abel Domínguez.

<https://www.programacionmultidisciplinar.com/curso-de-tia-portal/bloques-de-organizacion/>

Equipo Grupo Sinelec. (2021, febrero 4). ¿Qué es Node-RED y para qué sirve? Gruposinelec.com. <https://blog.gruposinelec.com/actualidad/que-es-node-red-y-para-que-sirve/>

Filtro parabólico. (2023, mayo 24). DLC. <https://dlc.cl/equipamiento/sistemas-de-desbaste/filtro-parabolico/>

InfoPLC. (11 de Mayo de 2023). ¿Qué es TIA Portal de Siemens? Obtenido de <https://www.infoplcn.net/descargas/107-siemens/software-step7-tiaportal/tiaportal/3459-que-es-tia-portal-siemens>

Joy, A. T. (2023, febrero 10). Que es un Actuador - Tipos y Aplicaciones. Tameson.es. <https://tameson.es/pages/actuador>

Latam, M. (2024, marzo 21). ¿Qué es un sensor de conductividad y cuáles son sus aplicaciones? Manufactura Latam. <https://www.manufacturalatam.com/es/noticias/que-es-un-sensor-de-conductividad-y-cuales-son-sus-aplicaciones>

Lo que necesita saber sobre las bombas sumergibles. (2024, septiembre 18). EDDY Pump; EDDY Pump Corporation. <https://eddyump.com/es/educacion/lo-que-necesita-saber-sobre-las-bombas-sumergibles/>

Mendez, I. (2022, marzo 14). ¿Qué es un Sedimentador Secundario? Bioingepro. <https://bioingepro.com.ar/2022/03/14/que-es-un-sedimentador-secundario/>

PROFINET: ¿Qué es y cómo funciona? - Cursos Centro de Entrenamiento Internacional de PROFIBUS & PROFINET. (2023, noviembre 15). Cursos Centro de Entrenamiento Internacional de PROFIBUS & PROFINET. <https://profibus.com.ar/profinet-que-es-y-como-funciona/>

Radar level sensor working principle. (2023, November 24). ABM Sensor Technology. <https://abmsensor.com/what-is-a-radar-level-sensor/>

Rejillas para Aguas Residuales: La Solución Eficaz para el Tratamiento del Agua. (2024, enero 17). Instituto del Agua. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/rejillas-para-aguas-residualesaguas-residuales/>

Sensores. (2021, junio 25). SDI Industrial. <https://sdindustrial.com.mx/blog/sensores/>

SIMATIC IOT2000. (2023, julio 24). Siemens España. <https://www.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/pcs-industriales/iot-gateways/iot-2000.html>

SIMATIC S7-1200. (2023, julio 24). Siemens México. <https://www.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html>

SIOS. (2021). Siemens.com. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109479491/simatic-library-library-motion-control-sinamics-%E2%80%93-lmcsina?dti=0&dl=en&lc=es-DO>

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., & Schertenleib y Christian Zurbrügg (EAWAG/SANDEC), R. (s/f). SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! Sswm.info; seecon international gmbh. Recuperado el 14 de agosto de 2025, de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/sedimentador>

Tipos de bloques en TIA Portal descripción y funcionamiento. (2022, junio 17). tecnopl. <https://www.tecnopl.com/tipos-de-bloques-en-tia-portal-descripcion-y-funcionamiento/>

Tratamiento Primario y Secundario de Aguas Residuales -. (2020b, agosto 7).

SEPTAR. <https://septar.com.mx/index.php/tratamiento-primario-y-secundario-de-aguas-residuales/>

Web, R. (2022, agosto 31). ¿Para qué sirve un tanque reservorio de agua? Rotoplas

Centroamérica; Rotoplas. <https://rotoplascentroamerica.com/para-que-sirve-un-tanque-reservorio-de-agua/>

¿Qué es un sensor de pH y cómo funciona? (2024, agosto 19). Meacon Co.,Ltd.

<https://es.meaconsensor.com/training/what-is-a-ph-sensor-how-does-it-work>

¿Que es un sistema de pretratamiento? (2023, febrero 22). Ecodena Guatemala.

[https://ecodena.com.gt/que-es-un-sistema-de-](https://ecodena.com.gt/que-es-un-sistema-de-pretratamiento/?srsltid=AfmBOorpkv30rjsKHXtfSYHrZdwnBbGxmg3QK)

[pretratamiento/?srsltid=AfmBOorpkv30rjsKHXtfSYHrZdwnBbGxmg3QK](https://ecodena.com.gt/que-es-un-sistema-de-pretratamiento/?srsltid=AfmBOorpkv30rjsKHXtfSYHrZdwnBbGxmg3QK)

[Yxfev9-PTr7vF8h4GcU](https://ecodena.com.gt/que-es-un-sistema-de-pretratamiento/?srsltid=AfmBOorpkv30rjsKHXtfSYHrZdwnBbGxmg3QK)

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Acosta Guerrero, Juan Pablo** con C.C: #1501104556 autor del trabajo de titulación: **Diseño de un sistema automatizado de monitoreo y control de procesos hídricos en el Rancho El Manzanillo, Isla Santa Cruz** previo a la obtención del título de **Ingeniero en electrónica y automatización** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 2 de septiembre del 2025

f. Juan Pablo A.

Nombre: **Acosta Guerrero, Juan Pablo**

C.C: **1501104556**

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Diseño de un sistema automatizado de monitoreo y control de procesos hídricos en el Rancho El Manzanillo, Isla Santa Cruz		
<b>AUTOR(ES)</b>	Acosta Guerrero, Juan Pablo		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Zamora Cedeño, Néstor Armando M.Sc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad Técnica Para El Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Electrónica y Automatización		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Electrónica y automatización		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	2 de septiembre del 2025	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	76
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Diseño electrónico, sistema automatizado, control.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Automatización, monitoreo, control, sistema hídrico, PLC, SCADA, sostenibilidad, tratamiento, TIA Portal		

**RESUMEN/ABSTRACT** (150-250 palabras): Este estudio propone el diseño de un sistema automatizado de gestión y monitoreo de agua basado en un PLC Siemens S7-1200 y un sistema SCADA. El sistema, simulado en el Portal TIA, consta de dos etapas: pretratamiento (con rejillas, desarenador y filtro) y tratamiento (con sedimentadores, desinfección con cloro y luz UV). Sensores de nivel, caudal, conductividad, pH, turbidez y radar, junto con actuadores, permiten el control continuo y la supervisión en tiempo real a través de una HMI KTP700. Los resultados de la simulación confirman que este diseño logrará una gestión eficiente, segura y controlable, con una reducción proyectada del 50% en el consumo de agua y los costos operativos, equivalente a un ahorro anual de USD\$4400. Esto facilitará la reutilización de aguas residuales, cumplirá con la política de protección ambiental de las Islas Galápagos y contribuirá a la sostenibilidad ambiental.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-96-793-3429	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:jpacostague@hotmail.com">jpacostague@hotmail.com</a> Juan.acosta@cu.ucsg.edu.ec
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Ricardo Xavier Ubilla González M. Sc.	
	<b>Teléfono:</b> + 593-99 952 8515	
	<b>E-mail:</b> ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		