

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



TEMA:

“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL Y MONITOREO DIGITAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA EMPRESA TERRAFÉRTIL S.A.”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de (INGENIERO INDUSTRIAL)

AUTOR:

Wilmer Ivan Catucuago Alcoser

DIRECTOR:

Ing. Víctor Alfonso Erazo Arteaga MSc.

Ibarra-Ecuador

2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	172120896-3	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	CATUCUAGO ALCOSER WILMER IVAN	
DIRECCIÓN:		Tabacundo, Tupigachi	
EMAIL:		wicatucuagoa@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		(02)-213-1288	TELÉFONO MÓVIL: 0998622654

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Diseño de un sistema automático para el control y monitoreo digital de la planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa TERRAFERTIL S.A.”
AUTOR (ES):	CATUCUAGO ALCOSER WILMER IVAN
FECHA:	06 de septiembre de 2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Industrial
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Víctor Alfonso Erazo Arteaga MSc.

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 06 días del mes de septiembre del 2024

Firma:


Nombre: Wilmer Ivan Catucuago Alcoser

C.C: 172120896-3

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 06 de septiembre de 2024

MSc. Víctor Alfonso Erazo Arteaga. Ing.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



MSc. Víctor Alfonso Erazo Arteaga. Ing.

C.C: 171918802-9

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular "DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL Y MONITOREO DIGITAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA EMPRESA TERRAFÉRTIL S.A." elaborado por Wilmer Ivan Catucuago Alcocer, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(D)ng.  MSc.
DOCENTE
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

MSc. Victor Alfonso Erazo Arteaga, Ing.

C.C.: 171918802-9

(f): 

PhD. Robert Mauricio Valencia Chapi, Ing.

C.C.: 100313487-9

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación es un homenaje a mi familia, quienes han sido mi apoyo constante a lo largo de mi camino y me han ayudado a alcanzar mis metas. En especial, a mi madre Yolanda, quien ha trabajado incansablemente para apoyarme en mi carrera universitaria, demostrando una vez más porque es una mujer admirable.

A mi increíble hermano Javier, quien ha sido un compañero y amigo incondicional desde el primer día. Su apoyo siempre ha estado presente en todo momento, y lo considero un modelo a seguir debido a su lucha diaria para superarse. Me esfuerzo por ser tan fuerte y constante como él, y estoy agradecido por tenerlo en mi vida.

Y mi pequeña hermana Rosista, quien siempre me saca una sonrisa y sus ideas ocurrentes. Me esfuerzo por ser un ejemplo positivo para ella. Su presencia en mi vida me ha enseñado la importancia de la familia y del amor incondicional. Por ello, siempre intentaré ser una persona en la que ella pueda confiar y que pueda mirar con orgullo.

Wilmer Ivan Catucuago Alcoser

AGRADECIMIENTO

En este momento de profundo agradecimiento, mi corazón se llena de gratitud hacia aquellas personas que han sido fundamentales en mi vida. Comienzo por agradecer a Dios, quien me ha bendecido con salud y ha protegido a mi familia, mi tesoro más preciado. A mi madre, mi hermano y mi hermana, les agradezco por su amor incondicional y por enseñarme valores como la honradez y la dedicación, que me han dado la fortaleza para seguir adelante y alcanzar mis metas.

También quiero expresar mi gratitud a mis amigos, quienes han sido una bendición en mi vida. Su amistad y apoyo incondicional han sido mi guía en momentos de incertidumbre.

Entre ellos, destaco a Katty, una de mis mejores amigas, quien ha estado presente en los momentos felices y desafiantes de mi vida. Agradezco al Ingeniero Johan Valladares por creer en mí y apoyarme en este proyecto de investigación en TerraFertil S.A. A mi tutor, el Ingeniero Víctor Erazo, le agradezco por su dedicación y guía a lo largo de este proyecto.

Finalmente, quiero agradecer a la Universidad Técnica del Norte por permitirme estudiar la carrera de Ingeniería Industrial, lo que me ha llevado a alcanzar esta meta.

Wilmer Ivan Catucuago Alcoser

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de investigación se enfoca en el diseño y desarrollo de un sistema de control y monitoreo digital para la planta de tratamiento de aguas residuales de Terrafertil S.A., con el objetivo de optimizar el proceso de tratamiento de residuos generados por la planta. Para ello, se presenta una propuesta de mejora que implica la implementación de un sistema de control avanzado, integrando una interfaz hombre-máquina (IHM) para facilitar la interacción con el operador. Se ha realizado una investigación exhaustiva y una recolección sistemática de datos, empleando metodologías de investigación rigurosas, con el fin de obtener resultados precisos y significativos. Estos datos son esenciales para comprender la situación actual y proporcionar una base sólida para el análisis y la toma de decisiones informadas. Los resultados obtenidos, presentados en la matriz de requerimientos implícitos y explícitos, permiten identificar los requisitos de funcionamiento y las expectativas de los usuarios, lo que ha guiado el diseño de un sistema automático de control y monitoreo digital. Este sistema representa un avance significativo hacia la modernización de la planta de tratamiento de aguas residuales, permitiendo una supervisión continua y en tiempo real de los procesos, y mejorando la capacidad de respuesta ante cualquier desviación de los parámetros establecidos.

Palabras clave: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Diseño, Controlador Lógico Programable, Monitoreo, Automático, Manual.

ABSTRACT

The research project focuses on the design and development of a digital control and monitoring system for the wastewater treatment plant of Terrafertil S.A., with the aim of optimizing the treatment process of waste generated by the plant. To this end, an improvement proposal is presented that involves the implementation of an advanced control system, integrating a human-machine interface (HMI) to facilitate interaction with the operator. Extensive research and systematic data collection have been conducted, employing rigorous research methodologies, in order to obtain accurate and meaningful results. This data is essential for understanding the current situation and providing a solid basis for analysis and informed decision-making. The results obtained, presented in the matrix of implicit and explicit requirements, allow the identification of the operating requirements and the expectations of the users, which has guided the design of an automatic digital control and monitoring system. This system represents a significant step towards the modernization of the wastewater treatment plant, allowing continuous and real-time monitoring of the processes, and improving the responsiveness to any deviation from the established parameters.

Key words: Wastewater Treatment Plant. Design, Programmable Logic Controller, Monitoring, Automatic. Manual.

LISTA DE SIGLAS

PTAR. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

TULSMA. Texto unificado de Legislación Seguridad del Ministerio del Ambiente.

COA. Código Orgánico del Ambiente

OPC. Control de procesos de Operaciones

PLC. Controlador Lógico Programable

HMI. Interacción Hombre Maquina

SCADA. Sistema de Control y Adquisición de Datos

NEC. Normativa Ecuatoriana de Construcción

NO / NC. Normalmente Abierto / Normalmente Cerrado

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN EJECUTIVO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE SIGLAS.....	x
CAPITULO I	1
1. GENERALIDADES	1
1.1 Problema de Investigación.....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.2.1 Objetivo General.....	1
1.2.2 Objetivos Específicos.....	1
1.3 Alcance	2
1.4 Justificación.	2
CAPÍTULO II.....	3
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 ¿Qué es Planta de tratamiento de Aguas Residuales?.....	3
2.1.1 Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales	4
2.1.2 Proceso de Tratamiento con Lodos Activados.....	4
2.1.3 ¿Qué son Aguas Residuales?	6
2.2 Control y Automatización Industrial	6
2.2.1 Monitoreo y Control Digital	6
2.2.2 Ventajas.....	6
2.2.3 Desventajas	7
2.2.4 Controladores Automáticos	7
2.2.5 Controlador Lógico Programable (PLC)	8
2.2.6 Módulos DI/DQ -AI/AQ.....	9
2.2.7 Sensores	9
2.2.8 Lenguajes de Programación de PLC.....	10
2.3 Simbología de Programación Ladder.....	11
2.3.1 Tipos de Etiquetas.....	11
2.4 Integración Eficiente de Sistemas SCADA y HMI para la Optimización	12

2.4.1	Sistema SCADA	12
2.4.2	Sistema HMI	13
2.5	TIA Portal	13
2.5.1	Tipo de Datos	14
2.5.2	Datos binarios y secuencias	14
2.6	Puertas Lógicas	14
2.7	Contexto Legal y Normativo	15
2.7.1	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente... 15	15
2.7.2	Criterios de Calidad de Aguas de uso Agrícola o de Riego..... 15	15
2.7.3	Normativa ecuatoriana de Construcción (NEC)	15
2.7.4	Norma IEC-61131..... 16	16
2.7.5	Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 231	16
CAPÍTULO III.....		17
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1	Metodología de la Investigación..... 17	17
3.1.1	Tipo de Investigación..... 17	17
3.1.2	Método de Investigación..... 17	17
3.1.3	Técnica de Investigación..... 18	18
3.1.4	Instrumentos..... 18	18
CAPITULO IV		19
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	19
4.1	Generalidades de la Institución..... 19	19
4.1.1	Macro Localización	19
4.1.2	Gestión Estratégica	20
4.1.3	Datos Generales	21
4.1.4	Estructura Organizacional..... 21	21
4.1.5	Actividad Principal	23
4.2	Caracterización Actual..... 23	23
4.2.1	Descripción General de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). 23	23
4.2.2	Dimensiones de Almacenamiento de los Taques que Conforman la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).	24
4.2.3	Descripción del Proceso de Lodos Activados en el Tratamiento de Aguas Residuales 24	24

4.2.4	Análisis de Niveles de pH y Temperatura	30
4.2.5	Evaluación del Impacto de Productos de Limpieza.....	32
4.2.6	Medición del Caudal de Aguas Residuales Entrantes a la Planta de Tratamiento	33
4.2.7	Aguas Lluvias	35
4.3	Panel de Control Eléctrico Instalado.....	35
4.3.1	Bombas Instaladas	36
4.3.2	Panel de Control de la PTAR.....	37
4.3.3	Funcionamiento de Modalidad Manual	38
4.3.4	Funcionamiento de Modalidad Automático.....	39
4.3.5	Programa Instalado	40
4.4	Discusión de Resultados	40
CAPÍTULO V		41
5.	DESARROLLO DE PROPUESTA	41
5.1	Análisis	41
5.1.1	La Voz del Usuario	41
5.1.2	Voz del Ingeniero.....	41
5.2	Requerimientos de Funcionamiento	42
5.3	Desarrollo de la propuesta	43
5.3.1	Diagrama Funcional.....	43
5.3.2	Flujo de Proceso Automático y Manual.....	45
5.4	Expresión en Modelo Matemático	46
5.4.1	Interpretación de Puertas Lógicas.....	47
5.5	Simulación	48
5.5.1	Diagrama de potencia	48
5.5.2	Diagrama de mando	48
5.6	Desarrollo Ladder en Siemens TIA Portal.....	48
5.6.1	Definición y uso de Etiquetas Predeterminadas.....	50
5.7	Diseño de Control y Monitoreo Digital	56
5.7.1	Programación de pantalla HMI en Siemens TIA Portal	56
5.8	Manual de Función	58
5.8.1	Pantalla HMI.....	58
5.8.2	Panel de control.....	59
5.9	Elementos para el Sistema de Monitoreo.....	62

5.10	Diseño Tablero Eléctrico	63
5.11	Diagrama de la Planta de Tratamiento.....	63
5.12	Costo de Desarrollo y Materiales.....	65
CONCLUSIONES		67
RECOMENDACIONES.....		67
BIBLIOGRAFÍA		68
ANEXOS		73

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	3
Fig. 2 Esquema conceptual de tratamiento. Adaptado de [5]	3
Fig. 3 Proceso de funcionamiento de lodos activados. Adaptada de [7]	5
Fig. 4 Proceso aeróbico. Adaptada de [10].....	5
Fig. 5 Componentes básicos de un sistema de control. Adaptado de [17]	7
Fig. 6 Sistema de control de lazo cerrado. Adaptado de [19].....	8
Fig. 7 Sistema de control de lazos abiertos. Adaptado de [21].....	8
Fig. 8 Controladores Lógicos Programables PLC's. Adaptado [23]	9
Fig. 9 Principales sensores usados en la industria	9
Fig. 10 Representación de lenguaje Ladder con contactos NO / NC y bobinas. Adaptado de [29]	10
Fig. 11 Diagrama de lenguaje de Bloques. Adaptado de [31]	11
Fig. 12 Simbología Ladder. Adaptada de [32].....	11
Fig. 13 Sistema de comunicación SCADA. Adaptado de [36].....	12
Fig. 14 Sistema de comunicación HMI. Adaptado de [38]	13
Fig. 15 Entorno de la plataforma TIA Portal. Adaptado de [40]	13
Fig. 16 Proceso de automatización.	14
Fig. 17 Concepto de puertas lógicas. Adaptada de [44]	15
Fig. 18 Estructura de la IEC 61131. Adaptado de [48],.....	16
Fig. 19 Reglamentación INEN 231	16
Fig. 20 Logo tipo de la empresa de Terrafertil S.A.	19
Fig. 21 Ubicación Geográfica de la Empresa. Adaptada de [53]	19
Fig. 22 Vista aérea de las Instalaciones Terrafertil S.A.	20
Fig. 23 Planta de tratamientos de aguas residuales inactiva	20
Fig. 24 Estructura Organizacional	22
Fig. 25 Planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Terrafertil S.A.....	23
Fig. 26 Esquema de tratamiento del manual.....	25
Fig. 27 Proceso de tratamiento de aguas residuales.....	26
Fig. 28 Cajas de revisión. Elaboración propia	27
Fig. 29 Tanque de tamizado. Elaboración propia	27
Fig. 30 Tanque de captación. Elaboración propia.....	28
Fig. 31 Tanque de aireación.....	28
Fig. 32 Tanque de sedimentación. Elaboración propia.....	29
Fig. 33 Tanque de residencia. elaboración propia	29
Fig. 34 Tanque de acumulación de cloro. Elaboración propia.	29
Fig. 35 Tanque de lecho de secado. Elaboración propia.....	30
Fig. 36 Tanque de agua procesada. Elaboración propia.	30
Fig. 37 Gráfica de variación de los niveles de pH en el tanque de captación. Elaboración propia.....	31

Fig. 38 Grafica de variación de los niveles de pH de la caja de revisión. Elaboración propia.	31
Fig. 39 Grafica de variación de temperatura del tanque de captación	31
Fig. 40 Grafica de variación de temperatura de caja de revisión.....	32
Fig. 41 Dimensiones de la vista lateral del tanque de aireación	33
Fig. 42 Tablero de panel de control instalado.....	36
Fig. 43 Panel de control	37
Fig. 44 Diagrama de función Nivel 0 de la planta de tramonto.....	43
Fig. 45 Diagrama de función de Nivel 1planta de tratamiento	44
Fig. 46 Flujograma de operación de bombas	46
Fig. 47 PLC y módulo de DI / DQ.....	49
Fig. 48 Entorno de desarrollo de programación.....	49
Fig. 49 Entorno de programación Ladder en TIA Portal.....	50
Fig. 50 Asignación de función de TOM Time	52
Fig. 51 Asignaciones funciones NOR-X y SCALE_X.....	52
Fig. 52 Diagrama de conexión de entradas y salidas físicas.....	55
Fig. 53 Entorno de desarrollo HMI.....	56
Fig. 54 Pantalla 1 HMI.....	57
Fig. 55 Pantalla 2 HMI.....	58
Fig. 56 Puerta de gabinete.....	60
Fig. 57 Gabinete con sus respectivos componentes.....	61
Fig. 58 Diseño de tablero eléctrico.	63
Fig. 59 Diseño de la planta de tratamiento	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I TIPOS DE ETIQUETAS.....	12
Tabla II SECUENCIA DE DATOS BINARIOS.....	14
Tabla III INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	21
Tabla IV CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)	24
Tabla V DIMENSIONES Y CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LOS TANQUES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	24
Tabla VI PRODUCTOS DE LIMPIEZA USADOS EN LA PLANTA USADOS.	32
Tabla VII CANTIDAD DE AGUAS LLUVIA ENTRANTE.....	35
Tabla VIII ELEMENTOS DEL PANEL DE CONTROL	36
Tabla IX BOMBAS INSTALADAS	37
Tabla X DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL PANEL DE CONTROL	38
Tabla XI MATRIZ DE REQUERIMIENTOS IMPLÍCITOS Y EXPLÍCITOS	42
Tabla XII MODELO MATEMÁTICO	47
Tabla XIII VARIABLES BOOLEANAS	50
Tabla XIV ASIGNACIÓN DE FUNCIONES DE TEMPORIZACIÓN Y NORMALIZACIÓN DE VARIABLES	53
Tabla XV ASIGNACIÓN DE LAS ENTRADAS DIGITALES	53
Tabla XVI ASIGNACIÓN DE LAS ENTRADAS ANALÓGICAS	54
Tabla XVII ASIGNACIÓN DE LAS SALIDAS	54
Tabla XVIII BOTONES DE LA PANTALLA HMI	58
Tabla XIX PANEL FISCO DE CONTROL	59
Tabla XX REQUERIMIENTOS PARA EL PANEL DE CONTROL	62
Tabla XXI CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS	62
Tabla XXII COSTO DE DESARROLLO DL PROGRAMA.....	65
Tabla XXIII COSTO DE MATERIALES.....	65
Tabla XXIV COSTO DE DESARROLLO Y MATERIALES	66

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Tabla de muestras de niveles de pH.....	74
Anexo 2 Tabla de nivel lluvias	75
Anexo 3 Diagrama de bloques en el Logo.....	76
Anexo 4 Diagrama de potencia.....	78
Anexo 5 Diagrama de control.....	79
Anexo 6 Diagrama Ladder.....	80
Anexo 7 Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales	85
Anexo 8 Dimensiones de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	86
Anexo 9 Desarrollo de ecuaciones de BOOL.....	87
Anexo 10 Simulación de ecuaciones de BOOL en puertas lógicas	92
Anexo 11 Criterios de calidad de agua	94

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Problema de Investigación.

La empresa TERRFERTIL S.A., posee con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), debido a la ausencia de una conexión cercana al alcantarillado para el drenaje de sus aguas residuales generadas en sus diferentes procesos productivos. Se han identificado tres problemas en los procesos de tratamiento los cuales se describen a continuación:

En el proceso de captación de las aguas residuales, de las diferentes áreas productivas, no existe un control adecuado del ingreso hacia el tanque de tamizado, lo que no permite saber la cantidad de aguas residuales que se están generando en las diferentes áreas por día.

Otro punto importante que también se ha observado, que no disponen de un control sobre los tiempos de retención en el proceso de remoción de carga orgánica (Tratamiento biológico), si este cumple con el tiempo que el agua debe permanecer en la unidad de tratamiento para que las reacciones biológicas actúen en los tiempos de retención indicados. Esto implica que la inspección para este proceso se lo hace de manera directa o manual, haciendo que operarios tenga un contacto directo con dichas sustancias.

Finalmente, la empresa TerraFertil S.A., puede que no esté cumpliendo con los parámetros de la Norma Ambiental de Descarga de Efluentes: Recursos Aguas.

Por el motivo de no llevar un control sobre la salida del agua tratada al finalizar todos los procesos de limpieza. Según la TULSMA, es requisito que los lixiviados producidos en rellenos sanitarios cumplan con las normas y parámetros de calidad establecidos para su disposición final en el cuerpo receptor adecuado, y, además, su vertido en fuentes de agua deberá respetar los límites máximos autorizados por la legislación ambiental, para garantizar la protección de la calidad del agua y prevenir su contaminación [1].

Según [2], promueve el tratamiento y reutilización de aguas residuales, siempre que se cumplan los estándares de calidad necesarios y no se ponga en riesgo la salud pública. En caso de no poder conectarse a la red de alcantarillado, el tratamiento debe efectuarse de manera que no contamine ni dañe las fuentes receptoras, incluyendo suelos y ecosistemas locales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseño de un sistema de control y monitoreo digital de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) por medio de la instalación de equipos de medición para un mayor control en el proceso de purificación de las aguas residuales en la empresa Terrafertil S.A.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado actual de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

- Caracterizar los parámetros de las aguas residuales para la aplicación del control y monitoreo.
- Diseñar la propuesta de sistema automático de control y monitoreo digital para la planta de tratamiento de aguas residuales.

1.3 Alcance

El alcance del proyecto abarca el diseño de un sistema de control y monitoreo digital para la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en Terrafertil S.A. El objetivo es lograr un proceso de purificación más preciso y eficiente con un sistema de control y monitoreo que incluirá una interfaz HMI (Interfaz Hombre-Máquina) para facilitar la supervisión y el control por parte de los operadores. Este proyecto se presentará como un diseño para la empresa Terrafertil S.A.

1.4 Justificación.

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema de control y monitoreo digital para una planta de tratamiento de aguas residuales, que registra el comportamiento los procesos de limpieza de las aguas residuales generadas de las diferentes áreas productivas. Se busca mejorar el rendimiento continuo, a partir de nuevas tecnologías para la recopilación de datos y el manejo de la planta, teniendo un control automático.

Con el fin que se pueda operar de manera remota, y se disminuya la intervención de los operarios, con la planta, y solo en caso de que sea necesario como el mantenimiento preventivo.

Para este proyecto de sistema automático busca implementar nuevos componentes como sensores para el monitoreo del tanque de aireación, así como recopilar lecturas del proceso del tratamiento cuando se encuentra en marcha. Con este diseño se quiere generar una mayor eficiencia en los procesos, y la inhabilitación de actividades manuales.

Este modelo se lo puede aplicar en esta industria debido a que, en todos sus procesos productivos, requieren el uso de agua, lo cual generan aguas residuales y tiene como destino la planta de tratamiento.

Con la implantación del control monitoreo se podrán identificar los niveles de pH que se están generando en las diferentes áreas productivas, así como el monitoreo de los tiempos de retención y el comportamiento de las bacterias, en los diferentes tanques que la conforman y con el cumplimiento de la normativa al finalizar el proceso de purificación.

La remoción de sustancias no deseadas de las aguas residuales, incluyendo contaminantes como DBO, DQO, bacterias y materiales tóxicos. Este término se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos, mientras que Tratamiento de Aguas Residuales es el término preferido para abarcar tanto líquidos como lodos [3].

La efectividad en la remoción de contaminantes en una planta de tratamiento es crucial para cumplir con los requisitos ambientales, reducir costos y proteger el medio ambiente, mediante el control de parámetros como DBO, bacterias y otros factores, y el cumplimiento de normas y regulaciones de calidad ambiental.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo ofrece información utilizada para desarrollar el presente proyecto de investigación, proporcionando una estructura conceptual con teorías y conceptos que sirven como base para comprender y explicar el tema en cuestión. Es esencial, ya que proporciona la información necesaria para desarrollar de manera conceptual y sólida, el proyecto de investigación. Esta base teórica actúa como punto de partida para contextualizar y definir términos clave, estableciendo una conexión importante entre el proyecto y el conocimiento, lo que enriquece la calidad y la amplitud de la investigación y el desarrollo.

2.1 ¿Qué es Planta de tratamiento de Aguas Residuales?

Según [4], son instalaciones diseñadas para el tratamiento de aguas residuales que eliminan contaminantes presentes en el agua estas pueden ser de origen domésticas o industriales, estas instalaciones se conforman a partir de un sistema de ingeniería que emplean operaciones físicas, químicas y biológicas con el propósito de eliminar o disminuir la contaminación del agua.

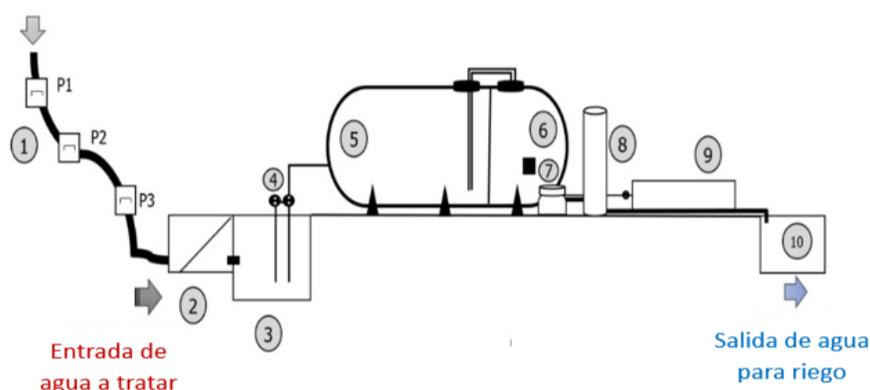


Fig. 1 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Nota: Ilustración de la planta de tratamiento aguas residuales. Adaptada de Terrafertil S.A.

La podemos considerar como un conjunto de tanques, que cada uno cumple con una función principal. Todo este conjunto tiene el propósito de receptor las aguas residuales que son producidas por diferentes industrias lo cual, por una serie de procesos, las aguas residuales pueden volver a ser reutilizadas.

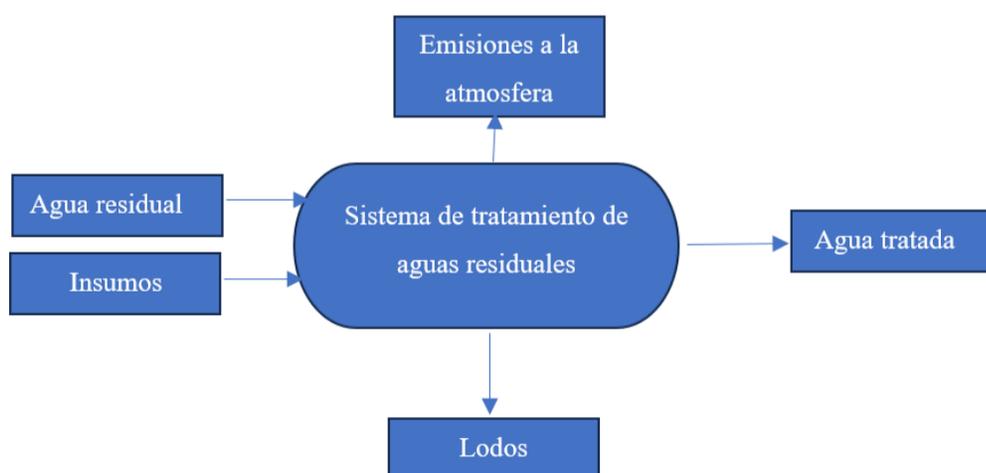


Fig. 2 Esquema conceptual de tratamiento. Adaptado de [5]

2.1.1 *Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales*

El proceso de tratamiento se conforma de fases para garantizar la remoción de contaminantes en el agua antes de su liberación en entornos. “Su propósito es descomponer la materia orgánica en el influente mediante un tratamiento inicial físico (pretratamiento y tratamiento primario) seguido de un proceso de purificación biológica en el tratamiento secundario” [6]. El tratamiento consta de varias fases que se detallan a continuación:

- **Suministro de agua cruda:** En este proceso consiste en el almacenamiento temporal de las aguas provenientes de las diferentes áreas productivas o generadas por actividad humana.
- **Tamizado:** Este proceso implica la eliminación de contaminantes sólidos donde existe una malla laminada de acero inoxidable con perforación de 1,5mm que remueven partículas. Lo cual permite el traspaso de las aguas residuales, sin partículas de 1,5mm.
- **Homogenización:** Las aguas residuales que están almacenadas en el tanque de captación sin partículas menores a 15mm son transportadas hacia el tanque de aireación de manera automática para su siguiente proceso.
- **Remoción de carga orgánica:** Suministra la cantidad exacta de oxígeno que requiere el proceso de biodegradación, el fluyente mediante aireación por medio de burbujas finas. Al finalizar el proceso de aireación las aguas son transportadas hacia del tanque de sedimentación.
- **Fase de sedimentación:** En este proceso se encarga en la separación con un sistema de inyección para el retorno de los lodos y natas hacia el tanque de aireación.
- **Fase de clorado:** Esta fase consiste en suministrar cloro, como desinfectante, con el fin de eliminar los microorganismos que se encuentren presentes en el agua clarificada.
- **Secado de los lodos:** Por parte de los lodos retorna al tanque de aireación y seguido al tanque de homogenización y al lecho de secado.

2.1.2 *Proceso de Tratamiento con Lodos Activados*

Los lodos activados se realizan en un tanque de aireación, donde el aire se suministra a las aguas residuales. Los microorganismos suspendidos en agua se adhieren a la materia orgánica para alimentarse. El agua se oxigena cuando se le da aire, lo que permite que los microorganismos aerobios crezcan y se reproduzcan.

Tras el suministro de oxígeno a las bacterias aeróbicas presentes en las aguas servidas o residuales, estas son transferidas a un tanque destinado a la sedimentación, donde se separan los lodos activados del agua tratada. En este punto, si existe la presencia de lodos, estos se recirculan al tanque de aireación. En el proceso de tratamiento, los excesos de lodos activados pueden ser eliminados o tratados para su reutilización. Estos lodos se pueden espesar y deshidratar para disminuir su peso. El proceso de tratamiento de se puede deducir en la Figura 3.

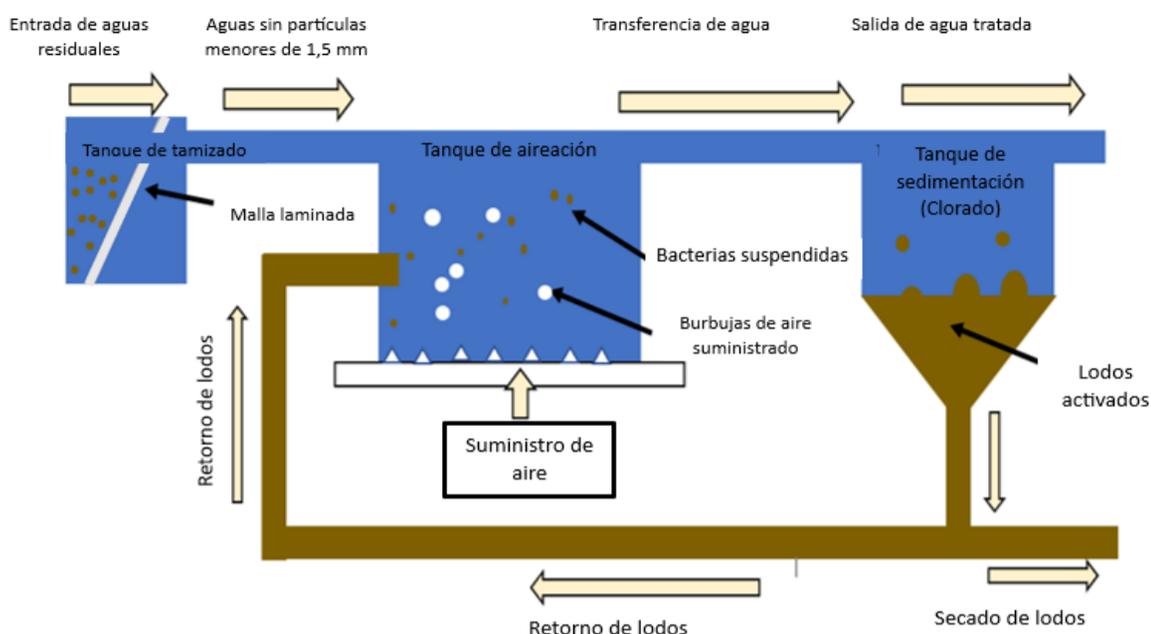


Fig. 3 Proceso de funcionamiento de lodos activados. Adaptada de [7]

Según A. Fernández et al., el sistema de lodos activados es un proceso en el cual las bacterias aeróbicas se encuentran en el reactor o tanque de aireación, donde reciben oxígeno, formando así flóculos los cuales absorbe materia orgánica y descompone la materia orgánica presente. Posteriormente, se realiza una sedimentación para separar los flóculos del agua tratada, durante este proceso, parte del lodo se recircula para mantener una alta concentración de microorganismos en el reactor, mientras que se purga el exceso de organismos [8, p. 31].

2.1.2.1 Digestión Anaeróbica

Es un proceso biológico en que los microorganismos en ausencia de oxígeno descomponen la materia orgánica produciendo principalmente metano y dióxido de carbono, la digestión se realiza en un ambiente cerrado. Según L. Acosta et al., afirman que es proceso microbiológico y bioquímico de fermentación microbiana sin oxígeno que produce una suspensión acuosa, o lodo, que contiene los microbios que descomponen los desechos orgánicos, y una mezcla de gases, principalmente dióxido de carbono y metano, conocida como biogás. [9, p. 3].

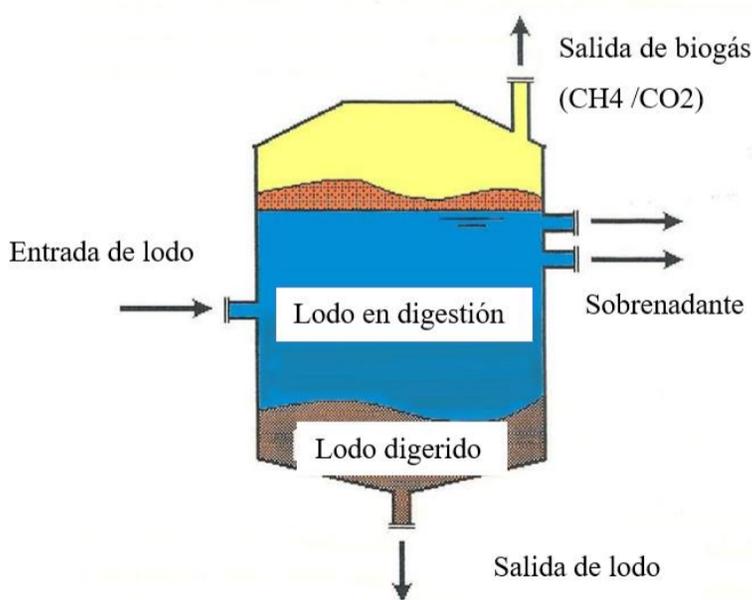


Fig. 4 Proceso aeróbico. Adaptada de [10]

2.1.2.2 Digestión Aeróbica

El microorganismo que descompone la materia orgánica con la presencia de oxígeno en un proceso biológico.

Principalmente los organismos que utilizan oxígeno dependen de él para realizar los procesos metabólicos necesarios, que generan la energía esencial para su crecimiento y reproducción. Al igual que todos los gases atmosféricos, el oxígeno se disuelve en el agua en mayor o menor medida [11]. Podemos volver a la Figura 3 donde se muestra el proceso de tratamiento con bacterias aeróbicas.

2.1.3 ¿Qué son Aguas Residuales?

Son aquellas que se generan a través de la actividad humana y que contienen desechos, contaminantes, contaminantes químicos, microorganismos, productos químicos, entre otros. Según E. Arriols afirma que las aguas residuales incluyen todas aquellas aguas producidas en ambientes domésticos, urbanos e industrial que contienen contaminantes ya sea como sustancias químicas, material orgánico e inorgánico [12].

2.2 Control y Automatización Industrial

Según M. Zapata et al., automatización se define como un sistema de que opera de manera autónoma o funciona por sí solo. Para su funcionamiento tiende a usar tecnologías para controlar y monitorear maquinas sin la intervención humana, a menos que sea necesaria [13, p. 16].

Con la automatización se puede tener ahorrar en costos, reducir errores humanos, proteger a los trabajadores de tareas pesadas y aumentar la producción. Según R. Sanchis et al., describen como la capacidad de responder automáticamente sin la intervención humana, que puede detectar y responder a los cambios que suceden a su alrededor [14, p. 6].

Supone una variedad de usos, entre ellos la supervisión y regulación del proceso de fabricación de productos en líneas de manufactura.

2.2.1 Monitoreo y Control Digital

El monitoreo digital puede ser una herramienta extremadamente valiosa para la industria, ya que tiene el potencial de mejorar y perfeccionar sus operaciones. Ya que nos ofrece la posibilidad de interacción e intercambio de información de equipos industriales con sistemas informáticos o aplicaciones de escritorio. Dicho de otro modo, OPC facilita el desarrollo eficiente y práctico de aplicaciones que buscan comunicarse directamente con equipos industriales gestionados por controladores lógicos programables (PLC) o computadoras [15].

2.2.2 Ventajas

En las industrias siempre se estará buscando mejorar su producción en un menor tiempo posible, por lo cual se optan por la adquisición nuevas tecnologías de manufactura por las cuales son muy beneficiosas en:

- Reducir el riesgo de enfermedades o accidentes laborales.
- Las máquinas pueden realizar trabajos repetitivos o peligrosos que deben realizarse a mano para proteger al operador.

- La duración de una tarea es menor, el trabajo manual requiere largos períodos de tiempo. Un sistema automatizado puede reducir los tiempos de producción.
- La optimización del trabajo en la organización mejora la productividad, los costos operativos y los ingresos en las líneas de producción continua.

2.2.3 Desventajas

Así como existen sus ventajas también se llega a considerar sus desventajas las cuales sus principales afectados trabajadores.

- Debido las actualizaciones el mantenimiento del sistema requieren mano de obra calificada, esto implica mayores costos.
- Se justifica la consideración de dependencia tecnológica, ya que el proveedor y la empresa estarán involucrados en el mantenimiento y actualización de equipos.
- Hay que tener en cuenta el valor de desgaste de los equipos, así como su respectiva depresión por otras nuevas y mejores máquinas, además del importante gasto inicial.
- Se puede perder empleo si los trabajadores son reemplazados por máquinas.

2.2.4 Controladores Automáticos

Conocidos como dispositivos que regulan el comportamiento de las máquinas de manera automática sin la necesidad de interacción humana, que son usadas principalmente en las industrias. Los controladores automáticos son dispositivos electrónicos diseñados para supervisar y regular el rendimiento de un sistema o proceso. Según R. Hurtado da a conocer como la combinación de componentes interconectados capaz de autorregularse, que recibe una señal de entrada generando una respuesta como salida [16, p. 2].

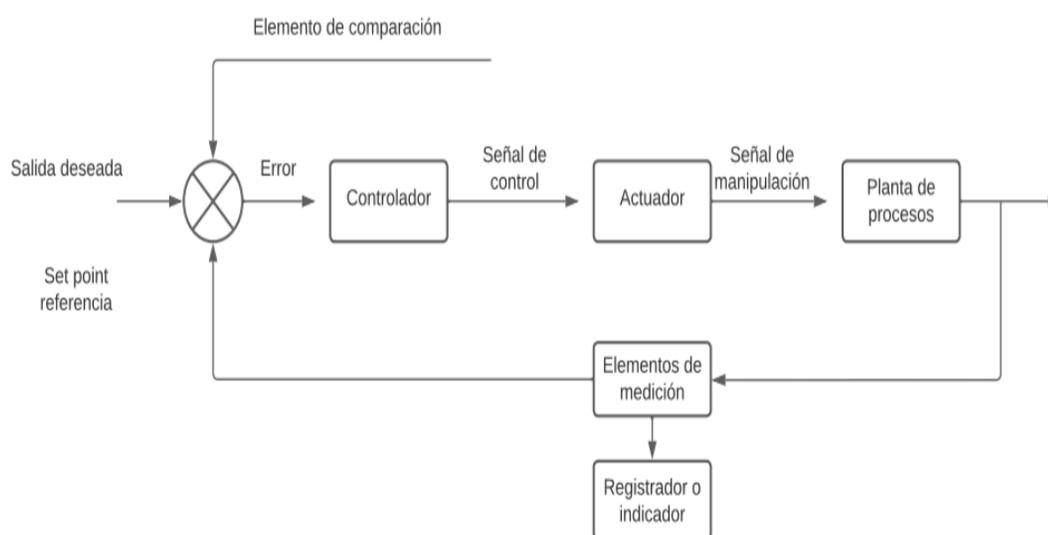


Fig. 5 Compones básicos de un sistema de control. Adaptado de [17]

2.2.4.1 Sistemas de control de lazo cerrado

Incorporan un mecanismo de corrección que envía una porción de la señal de salida de regreso a la entrada, con el fin de reducir la diferencia entre el resultado deseado y el real, y así mejorar la estabilidad y precisión del sistema.

En los sistemas de control de lazo cerrado, se establece un bucle de retroalimentación donde la señal de salida se compara con la entrada de referencia, generando una señal de error que se utiliza para ajustar la acción de control. Esta acción de control se aplica al sistema para disminuir la diferencia entre la entrada y la salida, logrando corregir la salida y reducir el error [18, p. 11].

La Figura 6 muestra el esquema de retroalimentación, en el que la salida se retroalimenta hacia la entrada, permitiendo una mejora continua del proceso.

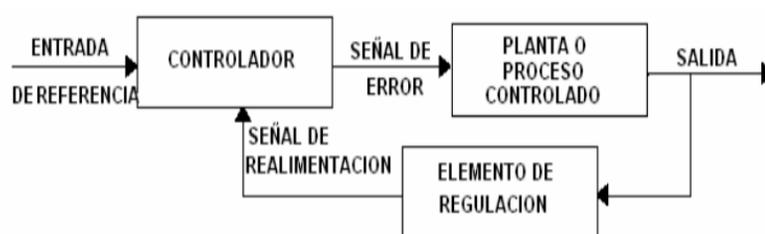


Fig. 6 Sistema de control de lazo cerrado. Adaptado de [19]

2.2.4.2 Sistemas de Control de Lazo Abierto.

El control de lazo abierto no monitorea ni compara su salida con la entrada, por lo que la salida no tiene influencia en la acción de control. Es decir, los sistemas de control de lazo abierto operan sin retroalimentación, lo que significa que la salida no se mide ni se utiliza para ajustar la señal de control.

Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el que la salida no se compara con la entrada de referencia, por lo que la exactitud del sistema depende de la calibración y es insensible a perturbaciones, siendo útil en aplicaciones no críticas donde la relación entre entrada y salida es conocida y no hay perturbaciones importantes [20, p. 11].

La Figura 7 muestra el esquema, cómo se aplica la señal de entrada al controlador, el cual regula el proceso controlado sin comparar la salida con la entrada de referencia.



Fig. 7 Sistema de control de lazos abiertos. Adaptado de [21]

2.2.5 Controlador Lógico Programable (PLC)

Según D. Ordeñez, un PLC es un instrumento electrónico que utiliza memoria programable para controlar máquinas y procesos mediante instrucciones almacenadas. Se utiliza en operaciones en tiempo real, procesando datos de entrada y salida rápidamente. Los PLC's tienen aplicaciones en diversos campos como la industria. Normalmente operan en la capa de campo de las redes industriales, conectándose directamente a dispositivos como sensores y actuadores [22, p. 10].

En el mercado actual, hay una amplia variedad (PLCs) disponibles, diseñados para supervisar y controlar procesos industriales. Estos dispositivos ofrecen la ventaja de contar con entradas y salidas

tanto digitales como analógicas, lo que facilita la conexión de sensores y actuadores. Su principal aplicación se encuentra en entornos industriales, donde se valoran su resistencia y durabilidad en condiciones exigentes.



Fig. 8 Controladores Lógicos Programables PLC's. Adaptado [23]

Nota. PLC, es un dispositivo electrónico diseñado para realizar una variedad de tareas industriales.

2.2.6 Módulos DI/DQ -AI/AQ

Los módulos son componentes que permiten la extensión de entradas o salidas, estas pueden ser digitales o analógicas, que su principal función es conectar dispositivos de campo, así como sensores y catadores.

Los módulos de expansión analógica proporcionan la opción de usar más entradas/salidas analógicas además de las entradas/salidas analógicas integrales existentes [24].

Los módulos de expansión digital ofrecen permiten incorporar más puertos de entradas/salidas digitales además de las entradas/salidas digitales integrales existentes [25].

2.2.7 Sensores

Son dispositivos que detectan y miden variables físicas o químicas en un proceso industrial, como temperatura, presión, nivel, flujo, posición, velocidad, entre otros.



Fig. 9 Principales sensores usados en la industria

Según R. Ramírez et al., [26], los sensores son dispositivos que captan información sobre diversas variables y la transforman en señales eléctricas para su análisis y procesamiento. Se utilizan en múltiples aplicaciones, incluyendo la industria automotriz, la medicina, la automatización del hogar, entre otros, debido a su capacidad para proporcionar datos precisos y confiables.

2.2.7.1 Sensor NPN

Los sensores NPN son dispositivos que requieren corriente para funcionar. Cuando se detecta algo, el sensor NPN conmuta la señal en el raíl negativo (-V), lo que completa el circuito y permite que la corriente fluya hacia el dispositivo conectado, como un PLC o un relé, activándolo o cambiando su estado. La fuente de alimentación positiva (+V) se mantiene conectada al dispositivo, listo para ser activado cuando se produzca la detección [27].

2.2.7.2 Sensor PNP

Los sensores PNP son dispositivos que suministran corriente y conmutan la señal en el raíl positivo (+V) para activar un dispositivo, como un PLC o un relé, cuando se produce una detección, permitiendo que la corriente fluya hacia el dispositivo y lo encienda o cambie su estado [27].

2.2.8 Lenguajes de Programación de PLC

Los profesionales y programadores utilizan lenguajes de programación específicos para configurar y controlar el comportamiento de los Controladores Lógicos Programables (PLCs). Entre los lenguajes más utilizados se encuentran el Diagrama de Bloques, el Lenguaje de Funciones y el Lenguaje de Escalera, que permiten definir la lógica de control y programar los PLCs de manera efectiva.

2.2.8.1 Diagrama Ladder o Diagrama de Escalera

Este lenguaje de programación gráfico se basa en una representación visual, con un flujo ascendente, que permite aplicar lógica programable mediante la inserción de símbolos y parámetros, como tiempos de accionamiento, de manera flexible e independiente. La programación se realiza mediante símbolos, lo que facilita la comprensión y aplicación de la lógica.

Según U. Hernández [28], la programación ladder es un lenguaje de programación comúnmente utilizado en PLC, que emplea diagramas de escalera para ilustrar la lógica de control de sistemas industriales. Estos diagramas presentan una estructura similar a una escalera, con rieles verticales y líneas horizontales que contienen circuitos de control que especifican la lógica a través de funciones.

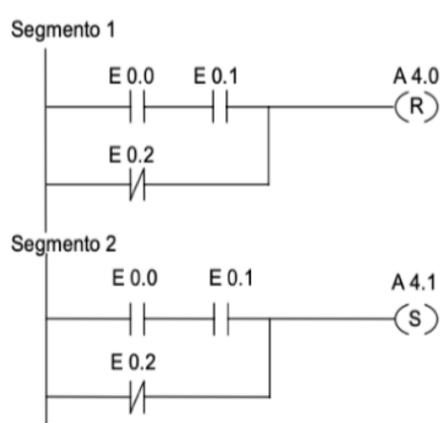


Fig. 10 Representación de lenguaje Ladder con contactos NO / NC y bobinas. Adaptado de [29]

Tabla I

TIPOS DE ETIQUETAS

Tipo de elemento	Tipo de etiqueta
Entrada	I
Salida	Q
Marca auxiliar	M
Comando SET	S
Comando RESET	R

Cada etiqueta está diseñada para proporcionar una manera clara y estructurada de identificar y manejar diferentes tipos de señales y datos dentro del PLC, facilitando la programación y el control de sistemas automatizados, "I" representa entrada, la "Q" salida, "M" para memorias, "S" para comandos de set y "R" para reset. Es importante recordar que las etiquetas son variables y se pueden personalizar según sea necesario, siempre que no estén predefinidas en los controladores del PLC o en el simulador que se emplee [33, p. 76].

2.4 Integración Eficiente de Sistemas SCADA y HMI para la Optimización

Los sistemas SCADA y HMI son herramientas esenciales en entornos industriales, permitiendo la supervisión, gestión y recopilación de datos en tiempo real. Mientras que SCADA ofrece una perspectiva integral y capacidades de control remoto, el HMI proporciona una interfaz intuitiva para la interacción directa con el equipo o máquinas.

2.4.1 Sistema SCADA

Los sistemas SCADA (Control Supervisor y Adquisición de Datos) son aplicaciones de software que permiten la gestión y control de sistemas locales o remotos a través de una interfaz gráfica, comunicación digital con instrumentos y actuadores, y capacidad de interconexión, lo que facilita la supervisión, control y adquisición de datos en procesos industriales [34].

Los sistemas SCADA mejoran la eficiencia y reducen costos al proporcionar información en tiempo real sobre procesos y equipos, lo que permite a los operadores tomar decisiones rápidas y precisas. Estos sistemas utilizan una combinación de sensores, PLC, RTU e interfaces HMI para controlar y monitorear procesos industriales, y gestionar datos en tiempo real de manera efectiva [35].

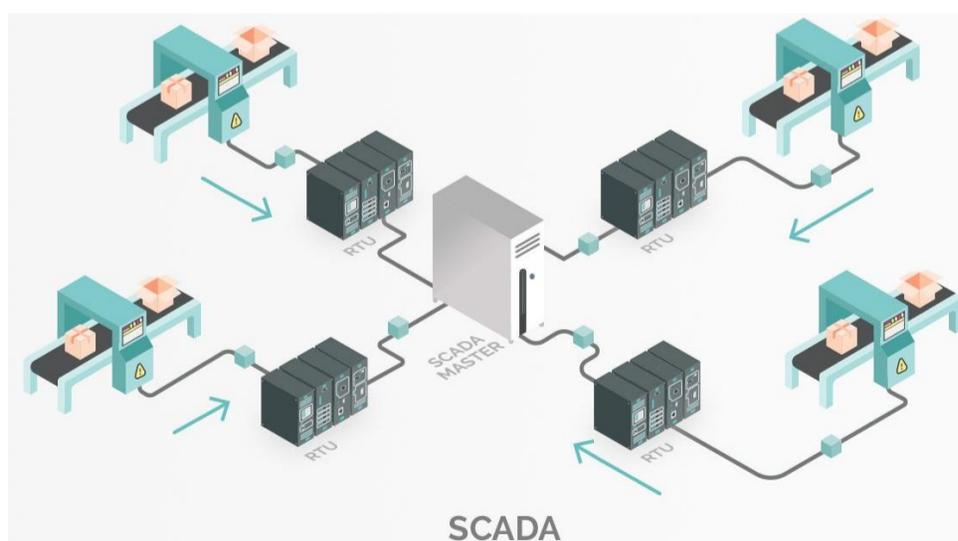


Fig. 13 Sistema de comunicación SCADA. Adaptado de [36]

2.4.2 Sistema HMI

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es un componente fundamental en entornos industriales, ya que ofrece a los usuarios una forma intuitiva y fácil de interactuar con sistemas automatizados, lo que permite una supervisión y control efectivos de los procesos.

La interfaz HMI es un elemento clave que conecta a los usuarios con la tecnología industrial, facilitando la interacción, el control y la supervisión de procesos, y mejorando la eficiencia y la efectividad en entornos de producción [37].

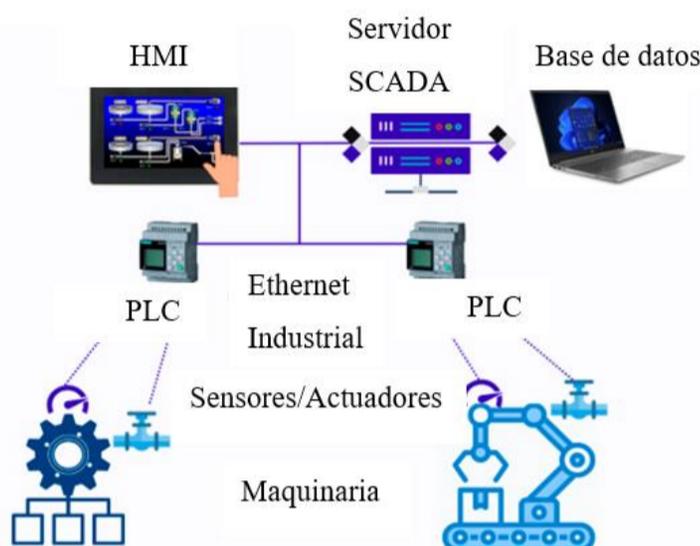


Fig. 14 Sistema d comunicación HMI. Adaptado de [38]

2.5 TIA Portal

TIA Portal, que en sus siglas hacen referencia a (Automatización Totalmente Integrada), es la plataforma principal de ingeniería de Siemens que proporciona un conjunto completo de soluciones para el ámbito de automatización para optimizar los procesos de ingeniería [39].

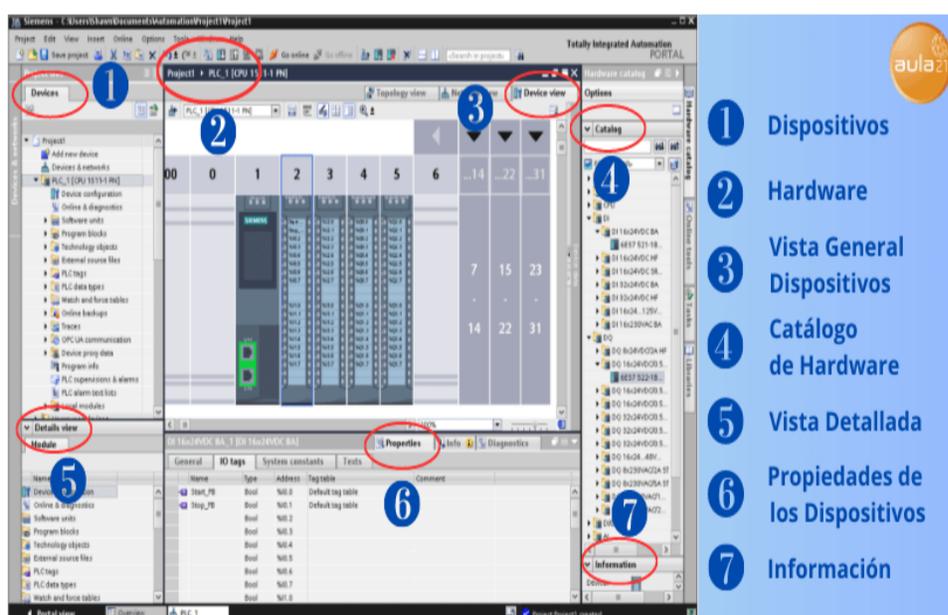


Fig. 15 Entorno de la plataforma TIA Portal. Adaptado de [40]

Plataforma de automatización industrial de Siemens, se ha establecido como un elemento fundamental en la industria moderna. Diseñada especialmente para ingenieros, esta poderosa herramienta simplifica el desarrollo de programas de automatización y permite la simulación de procesos para garantizar un rendimiento óptimo. Su influencia trasciende las líneas de producción,

consolidando su importancia en una amplia gama de aplicaciones industriales y reafirmando su valor en el entorno industrial contemporáneo [41].

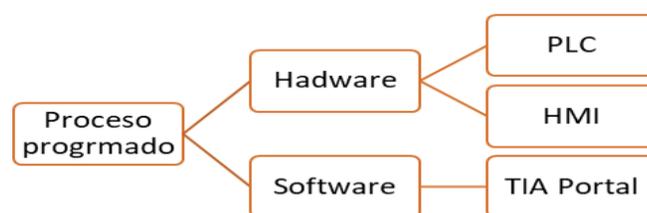


Fig. 16 Proceso de automatización.

2.5.1 Tipo de Datos

Existen varios tipos de datos, que se crean a partir de bloques de datos globales (DB). En particular, los tipos de datos String, Struct, Array y Data-Time Long (DTL) solo se pueden generar dentro de un DB. Además, existen variables predefinidas que corresponden a entradas (I), salidas (Q) y marcas (M) [42].

2.5.2 Datos binarios y secuencias

Los sistemas de control lógico programable (PLC) usa marcas internas esenciales para almacenar información independientemente de las conexiones físicas de entrada y salida. Estas marcas se encuentran en partes de la memoria temporal de la CPU. Como resultado, las especificaciones de direccionamiento máximo deben verificarse para el tipo del PLC porque determinan la cantidad de marcas que se pueden almacenar. Da a conocer los tipos de marcas permitidos, en la asignación sin solapamiento.

Tabla II

SECUENCIA DE DATOS BINARIOS

Tipo	Tamaño de Bit
BOOL	1
BYTE	8
WORD	16
DOUBLE WORD	32

2.6 Puertas Lógicas

Las puertas lógicas se pueden modelar matemáticamente utilizando operaciones como NOT, AND y OR, que tienen una representación algebraica y pueden ser expresadas mediante ecuaciones matemáticas. Esto permite una interpretación y diseño de circuitos electrónicos basados en el Álgebra de Boole, que es fundamental en la electrónica digital.

Una compuerta lógica es un dispositivo que opera con información binaria, recibiendo y enviando señales que solo pueden tener dos valores 0 o 1. Estos valores binarios se utilizan para representar bits, que son las unidades básicas de información en el sistema binario. Cada compuerta lógica tiene una tabla de verdad asociada que muestra cómo se relacionan las entradas con la salida, permitiendo predecir el resultado de la operación. Las compuertas lógicas más importantes son: AND, OR y NOT, que son fundamentales en la lógica digital [43, p. 13].

NOM	AND - Y	OR - O	XOR OR-EXCLUSIVA	NOT INVERSOR	NAND	NOR																																																																																	
COMPUERT																																																																																							
NORMA-IEEE																																																																																							
TABLA DE LA VERDAD	<table border="1"><tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table border="1"><tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table border="1"><tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"><tr><th>A</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	Q	0	1	1	0	<table border="1"><tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Q	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table border="1"><tr><th>A</th><th>B</th><th>Q</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	B	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
A	B	Q																																																																																					
0	0	0																																																																																					
0	1	0																																																																																					
1	0	0																																																																																					
1	1	1																																																																																					
A	B	Q																																																																																					
0	0	0																																																																																					
0	1	1																																																																																					
1	0	1																																																																																					
1	1	1																																																																																					
A	B	Q																																																																																					
0	0	0																																																																																					
0	1	1																																																																																					
1	0	1																																																																																					
1	1	0																																																																																					
A	Q																																																																																						
0	1																																																																																						
1	0																																																																																						
A	B	Q																																																																																					
0	0	1																																																																																					
0	1	1																																																																																					
1	0	1																																																																																					
1	1	0																																																																																					
A	B	Q																																																																																					
0	0	1																																																																																					
0	1	0																																																																																					
1	0	0																																																																																					
1	1	0																																																																																					
LENGUAJE DE CONTACTO																																																																																							
FUNCIÓN	$Q = A \cdot B$	$Q = A + B$	$Q = A \oplus B$	$Q = \bar{A}$	$Q = \overline{A \cdot B}$	$Q = \overline{A + B}$																																																																																	

Fig. 17 Concepto de puertas lógicas. Adaptada de [44]

En la Figura 17 se presenta una representación esquemática de la lógica booleana, que incluye su nomenclatura, simbología, operaciones y funciones fundamentales. Esta representación simplificada permite comprender los conceptos básicos de la lógica booleana, que son esenciales para el diseño y desarrollo de circuitos electrónicos digitales. La lógica booleana es un sistema matemático que utiliza variables binarias y operaciones lógicas para representar y manipular información digital, siendo fundamental en la creación de circuitos electrónicos complejos.

2.7 Contexto Legal y Normativo

2.7.1 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

Establecida en el marco normativo vigente, agrupa y organiza las disposiciones legales relacionadas con la conservación del medio ambiente, sentando las políticas básicas ambientales que rigen la protección del entorno natural.

Esta normativa tiene como objetivo principal facilitar el acceso y la comprensión de la legislación ambiental vigente, consolidando las normas secundarias que regulan diversos aspectos del medio ambiente y su conservación, en línea con el principio fundamental de proteger el medio ambiente para las generaciones presentes y futuras [45].

2.7.2 Criterios de Calidad de Aguas de uso Agrícola o de Riego

Los criterios establecidos por las autoridades competentes regulan el uso de agua para riego de cultivos y actividades afines [46]. Además, el Anexo 11 proporciona un detallado desglose de los parámetros de calidad del agua y los lineamientos a seguir para la descarga de agua en cuerpos receptores, una vez completado el proceso de eliminación de sólidos y tratamiento del agua residual.

2.7.3 Normativa ecuatoriana de Construcción (NEC)

Según A. Sandoya et al. [47, p. 1], la normativa establece las especificaciones y requisitos mínimos para el diseño y ejecución de instalaciones eléctricas en interiores de hogares, con el fin de prevenir, reducir y eliminar riesgos eléctricos, garantizando la seguridad de las personas y propietarios.

2.7.4 Norma IEC-61131

La (IEC) normaliza y caracteriza la relación de los controladores lógicos incluyendo sus componentes periféricos. Según [48], es un estándar internacional que regula la automatización industrial, como son los controladores lógicos programables (PLC), se compone por secciones de manera que se enfoca en aspecto de diseños y uso de sistemas.



Fig. 18 Estructura de la IEC 61131. Adaptado de [48],

2.7.5 Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 231

Normativa (INEN) que regula las especificaciones técnicas para equipos electrónicos y eléctricos, para establecer los requisitos de seguridad haciendo cumplir con estándares internacionales y nacionales del mercado local.

Define los requisitos de seguridad que deben cumplir los controladores programables y equipos relacionados, con el propósito de proteger la vida y la seguridad de las personas y evitar prácticas que puedan confundir a los usuarios [49].

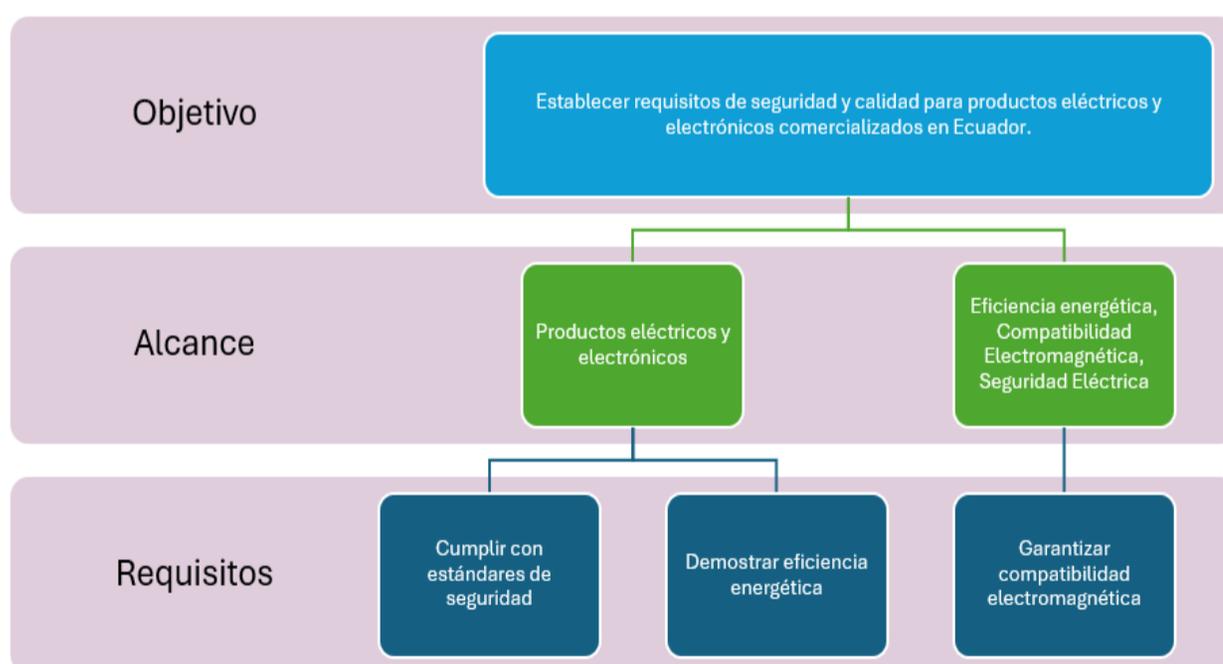


Fig. 19 Reglamentarte INEN 231

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 *Metodología de la Investigación*

En este capítulo se explica la metodología de investigación utilizada para llevar a cabo este estudio; se detallan los métodos, procedimientos y herramientas que se utilizarán para analizar y recopilar datos. Para garantizar la responsabilidad del estudio, expresar de manera precisa y clara la metodología utilizada.

3.1.1 *Tipo de Investigación.*

La investigación adopta una variedad de enfoques metodológicos con el objetivo de obtener una comprensión completa y detallada.

3.1.1.1 **Investigación Documental**

La investigación documental es una metodología cualitativa que implica la búsqueda, selección y análisis de información proveniente de diversas fuentes documentales, como textos impresos, digitales y multimedia, para recopilar datos fuentes escritas y audiovisuales, como libros, artículos, documentos, periódicos, grabaciones y otros materiales [50].

Para la recopilación de datos se recurrió a la investigación documental ya que se recopiló información confiable como el manual de la PTAR, fotografías, normativas vigentes y sitios web relevantes, relacionados con la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

3.1.1.2 **Investigación de Campo**

Se llevó a cabo una investigación de campo en la empresa, donde se recolectó información esencial directamente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), lo cual facilitó la evaluación de su situación actual. Esta investigación también permitió la identificación de los parámetros de funcionamiento que involucra el proceso principal de la PTAR.

La investigación de campo nos ayuda a recopilación de datos en el lugar donde se presentan fenómenos de interés, con el fin de no depender de fuentes secundarias. Su recolección de datos se lo hace de manera cualitativa encaminado a la observación directa, entrevistas y mediciones dl entorno [51].

3.1.2 *Método de Investigación*

La investigación empleó el uso del método Deductivo he Inductivo que abordan de manera completa los retos y posibilidades presentes.

3.1.2.1 **Método Deductivo.**

Con este método, se buscó obtener datos a partir del análisis del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, mediante un levantamiento detallado del proceso que abarca el tratamiento de las aguas residuales y su relación con la automatización. Este enfoque se orienta a confirmar el análisis de los datos recopilados durante el levantamiento del proceso.

3.1.2.2 Método Inductivo

Con este método inductivo, se enfoca en la realización de pruebas de funcionamiento de la (PTAR), las cuales se llevó a cabo de manera repetitiva con el objetivo de obtener una conclusión sobre pruebas de funcionamiento.

3.1.3 Técnica de Investigación

- **Observación:** La técnica de observación fue utilizada para examinar los distintos componentes presentes en el tablero de control y cómo estos activaban las diferentes bombas durante el proceso de tratamiento, lo que permitió obtener una comprensión detallada de su funcionamiento y operación.
- **Experimento:** Con esta técnica se realizó la manipulación del tablero de control, con el fin de determinar el funcionamiento de las modalidades, tanto en modo automático como manual, de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), lo que permitió comprender su operación e identificar posibles áreas de mejora.
- **Documentado:** Con esta técnica nos basamos en documentaciones existentes, como manuales, que nos permitieron la realimentación y el conocimiento profundo sobre el tema.
- **Entrevista:** Se llevó a cabo una entrevista con el objetivo de recopilar información y conocer las necesidades específicas para el diseño de un sistema de monitoreo y control digital en la planta de tratamiento, lo que permitió obtener datos valiosos para el desarrollo del proyecto.

3.1.4 Instrumentos

- Fichas técnicas (Caracterizaciones de la PTAR)
- Computadoras / Cuaderno de apuntes
- Fórmulas matemáticas
- Equipos de medición (Cronometro, pH metro, Multímetro, Flexometro)
- Softwares
- Entrevista

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Generalidades de la Institución

Este capítulo ofrece una descripción y precisa de la empresa y su situación actual. Se ha realizado una investigación minuciosa y una recopilación exhaustiva de datos para lograr resultados precisos y significativos. Este proceso ha permitido reunir información relevante, la cual es crucial para evaluar de manera integral el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. Los datos recopilada son crucial para comprender la situación actual, y nos ofrece una base firme para el análisis y resultados.



Fig. 20 Logo tipo de la empresa de Terrafertil S.A.

Terrafertil S.A., es un conglomerado de compañías alimentarias con sede en diversos países de América, enfocado en ofrecer productos naturales que promuevan la salud gracias a sus propiedades, calidad y sabores únicos. Fundada en 2005 en Ecuador por David Bermeo, Jonathan Berg, Raúl Bermeo y Daniel Bermeo, la empresa inicialmente se centró en deshidratar y vender varias frutas, con especial énfasis en la goldenberry. Con el tiempo, ampliaron su gama para incluir derivados de la goldenberry, así como frutas deshidratadas y frutos secos convencionales y orgánicos [52].

El propósito de Terrafertil S.A., es proporcionar productos de alta calidad a precios justos, que además promuevan la salud y la nutrición. Seleccionan cuidadosamente sus productos desde su origen, los procesan y los distribuyen para que lleguen fácilmente a los hogares de los clientes cada día. En la actualidad, sus productos se distribuyen en más de 20 países alrededor del mundo, y sus plantas operan bajo estándares internacionales de calidad, seguridad alimentaria, medioambientales, salud ocupacional y cadena de suministro [52].

4.1.1 Macro Localización

La empresa Terrafertil S.A., se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, en el canto Pedro Moncayo, en la ciudad de Tabacundo como se muestra en la Figura 19.

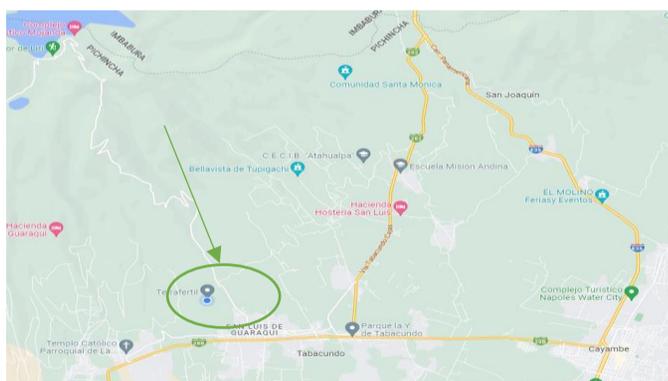


Fig. 21 Ubicación Geografía de la Empresa. Adaptada de [53]



Fig. 22 Vista área de las Instalaciones Terrafertil S.A.



Fig. 23 Planta de tratamientos de aguas residuales inactiva

4.1.2 Gestión Estratégica

La Gestión estratégica de la empresa Terrafertil S.A., se basa en una visión clara y comprometida con la creación de un impacto positivo en la vida de las personas a través de soluciones innovadoras en el ámbito de la salud y el bienestar. Su enfoque se centra en proporcionar productos y servicios de excelencia que favorezcan la salud física y mental, elevando la calidad de vida de sus clientes.

4.1.2.1 Misión.

Según [52], la misión es “Facilitamos un mejor estilo de vida, con productos de origen natural, saludables, innovadores y llenos de sabor”.

4.1.2.2 Visión.

Según [52], la visión es “Ser una empresa innovadora, líder en el mercado de alimentos saludables, comprometiéndonos con el respeto al ser humano y al medio ambiente”.

4.1.2.3 Valores.

Los valores son una parte importante de su cultura corporativa, ya que afectan tanto el proceso de toma de decisiones y el trato a las personas dentro de la organización. Además, los valores pueden ayudar a definir la identidad de una empresa y distinguirla de sus competidores, lo que puede ser importante para su éxito a largo plazo.

- Innovación
- Honestidad/ética
- Trabajo en equipo
- Compromiso
- Pasión/empuje

4.1.3 Datos Generales

En la Tabla III se presentan los datos generales esenciales que ofrecen una visión general de la empresa beneficiaria y la localización del proyecto de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales, facilitando así una mejor comprensión del proyecto.

Tabla III
INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

Nombre comercial	Industria de alimentos TERRAFERTIL S.A.
Razón Social:	TERRAFERTIL S.A.
Representante Legal	Ing. Juan Carlos Andrade Barahona
Dirección	Principal S/N Vía a laguna de Mojanda
Provincia	Pichincha
Sector	Barrio Aloburo, Sector Mojanda
Teléfonos	02-2361 4137 / 02-2361 4122

Nota: Elaboración propia.

4.1.4 Estructura Organizacional

La estructura organizativa de Terrafertil S.A./Nature's Heart se muestra de manera clara y detallada, garantizando una asignación eficiente de responsabilidades y una comunicación fluida. Elaborada meticulosamente, esta estructura fomenta la toma de decisiones y la colaboración entre departamentos, siendo fundamental para el funcionamiento óptimo de la empresa, como se puede apreciar en la Figura 24.

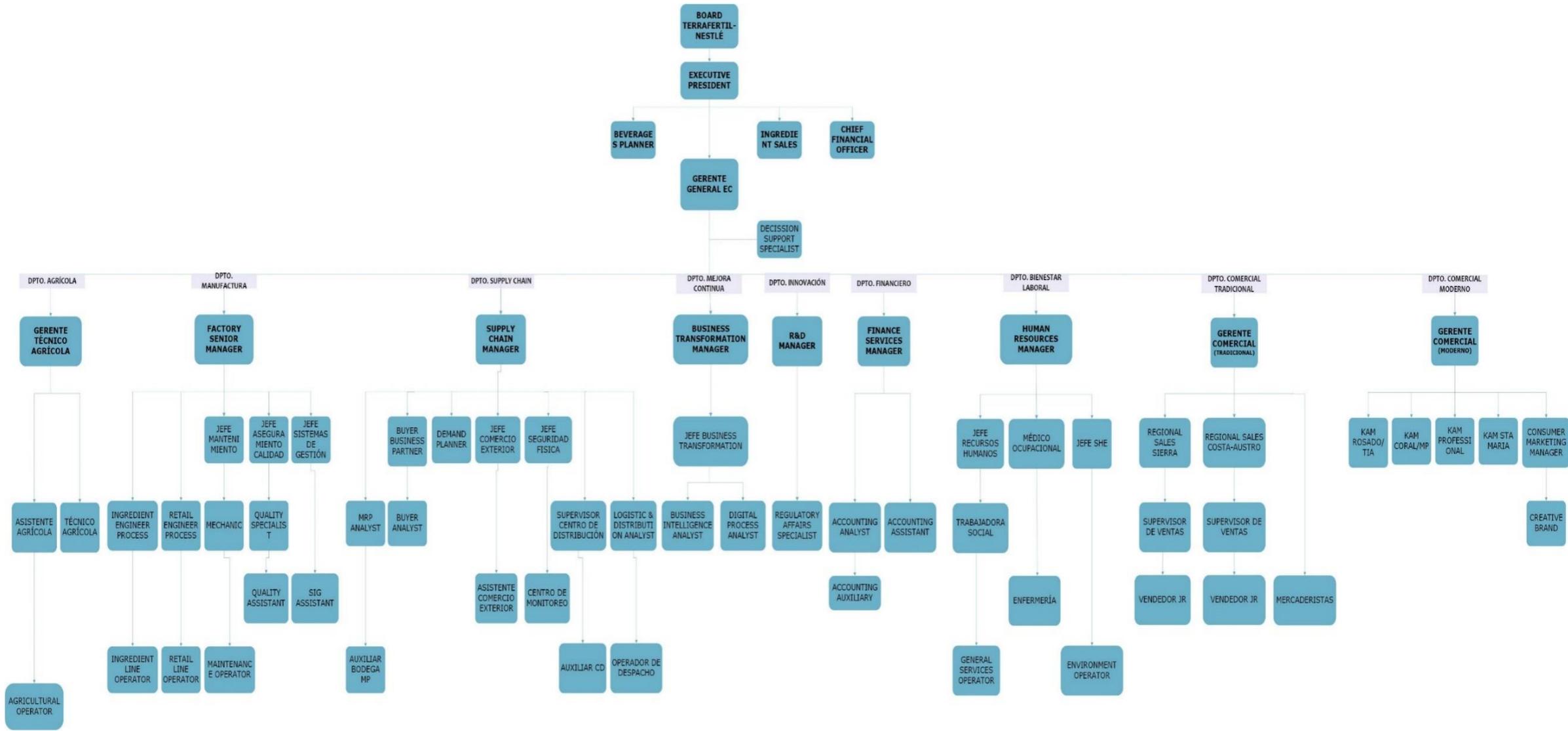


Fig. 24 Estructura Organizacional

4.1.5 Actividad Principal

Especializada en la procesamiento, producción y comercialización de frutas deshidratadas, frutas secas, tés, vinagres, especias, condimentos, miel de abeja, jugos, bebidas no lácteas, etc., de origen orgánico y convencional, fue constituida en febrero del 2005 con el fin de incursionar en los mercados nacionales e internacionales.

4.2 Caracterización Actual

Ante la ausencia de un acceso cercano al alcantarillado para el drenaje de las aguas residuales generadas por sus procesos productivos, la empresa implementó una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el año 2016. Sin embargo, actualmente la planta se encuentra inoperativa debido a problemas con las bombas de transferencia y una fisura en el tanque de aireación, lo que ha llevado a una paralización total de sus actividades. El tanque de aireación desempeña una función esencial al suministrar oxígeno a las bacterias en el tratamiento y estabilización de las aguas residuales, proceso crucial para su adecuado funcionamiento. Esta situación representa un serio problema, ya que las aguas residuales generadas en la empresa no reciben tratamiento alguno, lo que resulta en el vertido directo de agua sin tratar a la quebrada, ocasionando graves daños ambientales, económicos y sociales.



Fig. 25 Planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa Terrafertil S.A.

4.2.1 Descripción General de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

La planta de tratamiento de aguas residuales se ubica en un área exterior de las instalaciones de producción. A partir del manual proporcionado por la empresa, se llevó a cabo una búsqueda de las principales características de la planta. Sin embargo, es importante mencionar que el manual solo proporciona información sobre las características generales de la planta de tratamiento de aguas residuales, sin detallar sobre los equipos electrónicos que permiten su funcionamiento. A continuación, en la Tabla IV, se presentan detalladamente dichas características generales.

Tabla IV

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

Características	Descripción
Tipo de planta	Paquete compacto. Transportable
Caudal	Hasta 40 m ³ /día
Material de construcción	Poliéster reforzado con fibra de vidrio
Tipo de acabado (color externo)	Gelcoat AOC
Método de tratamiento	Lodos activados mediante aireación extendida
Operación de sistema de bombeo	Bombas sumergibles
Tipo de desinfección	Hipoclorito de sodio (NaClO)
Dimensiones de la planta	6,50m de largo x 3m de ancho x 3,20 de alto
Base	5m x 8m
Fecha de Instalación	2016

Nota: Elaboración propia.

4.2.2 Dimensiones de Almacenamiento de los Taques que Conforman la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

Se realizó mediciones de todos los tanques utilizando un flexómetro para determinar su capacidad real de almacenamiento. La planta de tratamiento consta de un sistema de tanques, cada uno dedicado a una función específica en los diversos procesos de purificación del agua residual. La Tabla VII indica de forma detallada de las dimensiones y la capacidad de almacenamiento de cada tanque.

Tabla V

DIMENSIONES Y CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LOS TANQUES EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Nº de pieza	Denominación	Dimensiones	Capacidad de almacenamiento
T-001	Taque de tamizado	(1,50 longitud x 1,9 ancho x 1,75 alto) m	4,99 m ³
T-002	Tanque de captación	(1,65 longitud x 1,65 ancho x 3 alto) m	8,17 m ³
T-003	Tanque de aireación	(2,90 diámetro x 4,30 longitud) m	28,40 m ³
T-004	Tanque de sedimentación	(2,90 diámetro x 1,80 longitud) m	11,98 m ³
T-005	Tanque de residencia.	(1,02 diámetro x 2,40 longitud) m	1,96 m ³
T-006	Tanque de acumulación de cloro	(0,70 diámetro x 1,22 longitud) m	0,85 m ³
T-007	Tanque de lecho de secado	(2,02 longitud x 1,02 ancho x 0,5 alto) m	1,03 m ³
T-008	Tanque de salida de agua procesada.	(1,03 longitud x 1,03 ancho x 1 alto) m	1,06 m ³

Nota: Elaboración propia.

4.2.3 Descripción del Proceso de Lodos Activados en el Tratamiento de Aguas Residuales

Para desarrollar el proceso de tratamiento de aguas residuales se basó en el manual proporcionado, el cual se utilizó para desglosar el proceso y relacionarlo con los tanques mencionados en la Tabla V. Terrafertil S.A. con su planta de tratamiento emplea un proceso de purificación basado en lodos activados, el cual se ejecuta a través de una serie de tanques especializados, cada uno con una función específica en la cadena de tratamiento. La Figura 26 y Figura 27 ofrece una descripción detallada del proceso de purificación mediante lodos activados que se lleva a cabo en dicha planta de tratamiento de aguas residuales.

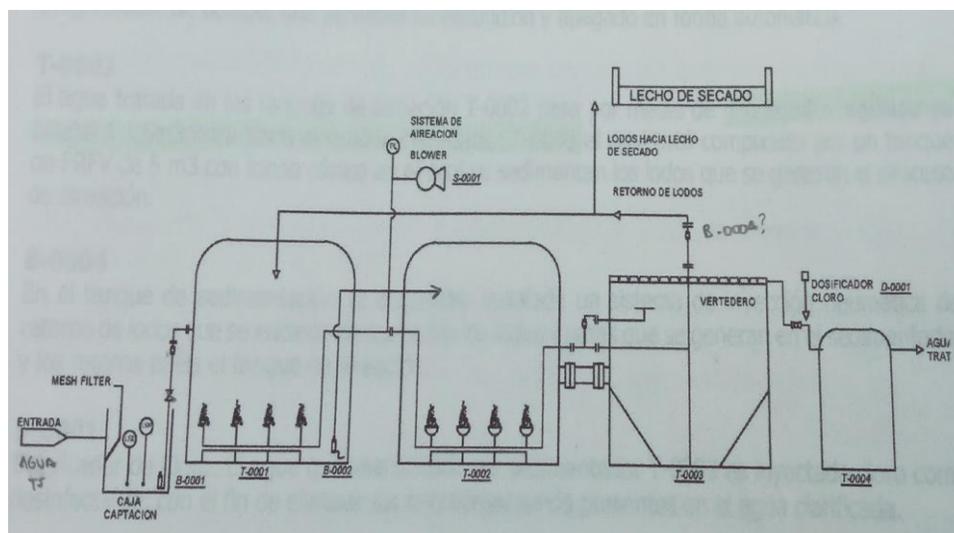


Fig. 26 Esquema de tratamiento del manual

Nota: Se incluye una ilustración del proceso de tratamiento de aguas residuales, extraída del manual proporcionado por el fabricante de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

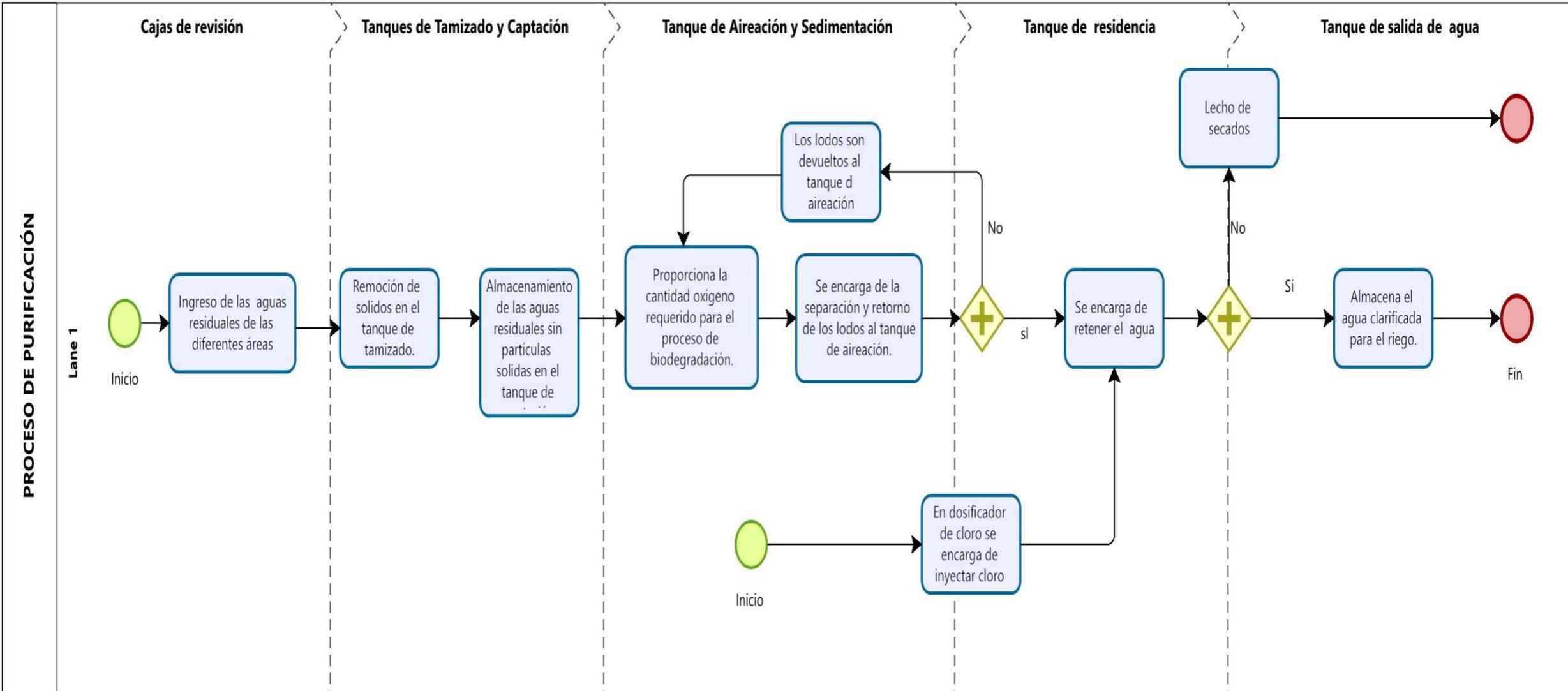


Fig. 27 Proceso de tratamiento de aguas residuales

Nota: Elaboración propia,

Con respecto a la Figura 27 ilustra detalladamente la configuración y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales. A continuación, se proporciona una descripción técnica y exhaustiva del proceso, abarcando todas las etapas desde el inicio hasta la finalización del tratamiento:

Cajas de revisión: En este proceso se encarga de la revisión de la entrada de agua de las diferentes áreas productivas.



Fig. 28 Cajas de revisión. Elaboración propia

Pretratamiento: El agua residual entra directamente al tanque de tamizado y es sometida a un proceso de pretratamiento para eliminar sólidos gruesos y otros materiales no deseados donde con una malla de acero inoxidable con aberturas de 1,5 mm se encarga de retener los sólidos antes de su siguiente proceso.



Fig. 29 Tanque de tamizado. Elaboración propia

Almacenamiento de aguas residuales: Las aguas residuales son almacenadas libre de partículas sólidas mayores a 1,5 mm de grosor, luego del proceso de separación en el tanque de tamizado.



Fig. 30 Tanque de captación. Elaboración propia

Tratamiento biológico: En esta etapa, el agua con sólidos disueltos se lleva a un tanque de aireación con una temperatura de 9 °C a 29 °C donde se agrega aire y se incula con una mezcla de bacterias aeróbicas que utilizan los contaminantes presentes en el agua como fuente de alimento. Estas bacterias se adhieren a los sólidos suspendidos y los convierten en lodos activados.



Fig. 31 Tanque de aireación

Sedimentación: En esta etapa, los lodos activados se llevan a un segundo tanque de sedimentación donde los residuos quedan en suspensión en el fondo del tanque y se separan mediante la decantación. Los lodos activados que se acumulan en el fondo se reciclan al tanque de aireación para continuar el proceso biológico, mientras que el agua clarificada se bombea al siguiente paso del proceso.



Fig. 32 Tanque de sedimentación. Elaboración propia

Desinfección: En esta etapa, el agua clarificada se somete a un proceso de desinfección para eliminar cualquier bacteria, virus u otros microorganismos patógenos presentes en el agua, este proceso se lo hace a través de la inyección de cloro.



Fig. 33 Tanque de residencia. elaboración propia

Clorado: En este proceso se encarga de inyectar cloro como desinfectante, con el fin de eliminar pequeños microorganismos en el agua clarificada.



Fig. 34 Tanque de acumulación de cloro. Elaboración propia.

Secado de lodos: En este proceso de secado de los lodos comienza cuando los lodos se encuentran en la parte inferior del tanque residencia, son transportados tienen dos destinos como uno es el transportado así el tanque de tamizado, así como el excesivo el excesivo lodo es transportado hacia el tanque de lecho de secado, donde el cual recibe un pretratamiento de sacado, el cual consiste o deshidratado que pueden volver a ser usados.



Fig. 35 Tanque de lecho de secado. Elaboración propia.

Descarga o reutilización: Una vez completado el proceso de purificación, el agua clarificada puede ser descargada a un cuerpo de agua receptor o reutilizada para riego, o cualquier otra aplicación no potable que no requiera agua potable de alta calidad.



Fig. 36 Tanque de agua procesada. Elaboración propia.

4.2.4 *Análisis de Niveles de pH y Temperatura*

La presente investigación se enfoca en el muestreo y medición directa de los niveles de pH y temperatura en las aguas residuales, mediante la recopilación de datos basada en mediciones realizadas en las cajas de revisión y en el tanque de captación, utilizando un pHmetro proporcionado por la empresa.

A continuación, en las Figuras se muestran las mediciones de pH y temperatura recopiladas a lo largo de tres semanas, con el objetivo de realizar un análisis cuantitativo. El período de muestreo establecido nos permite determinar los días en los que se producen variaciones en los datos.

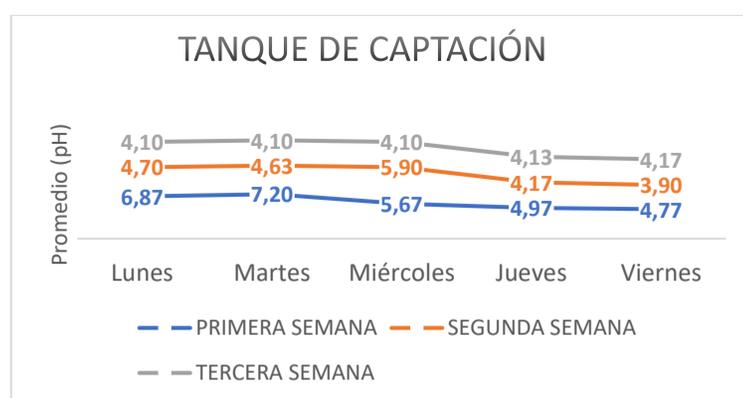


Fig. 37 Grafica de variación de los niveles de pH en el tanque de captación. Elaboración propia.

Según se muestra en la Figura 37, se observa que el promedio de pH en el transcurso de las tres semanas en el tanque de captación presenta un valor alto en los viernes. Esto podría indicar que los viernes se está llevando a cabo alguna actividad que genere que los niveles de pH sean altos que está generando que en las aguas residuales con un pH elevado destinadas a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Verificar el Anexo 1 de los días de toma del pH.

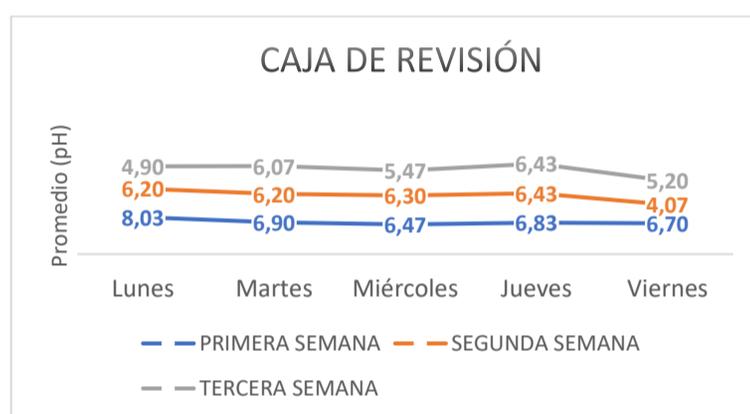


Fig. 38 Grafica de variación de los niveles de pH de la caja de revisión. Elaboración propia.

En la Figura 38 se representa los datos de la caja de revisión de los niveles de pH que se asemejan a los datos del tanque de captación, en el cual se observa que los niveles de pH son altas en los viernes considerando que si existe algún tipo de actividad en las diferentes áreas de producción que este generando aguas residuales con una alta concentración de pH. Verificar el Anexo 1 de los días de toma del pH.

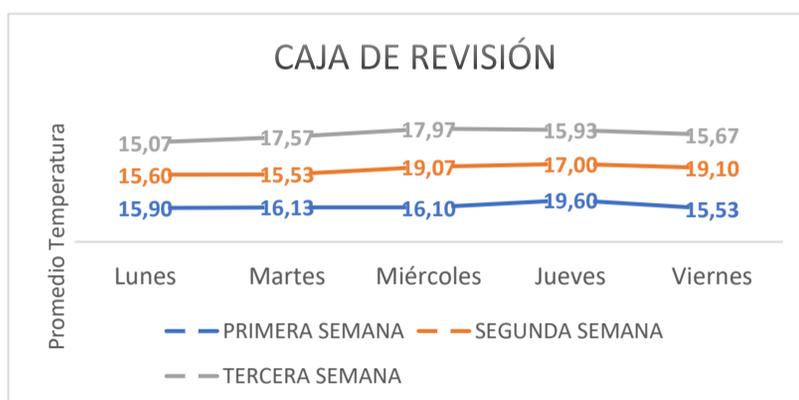


Fig. 39 Grafica de variación de temperatura del tanque de captación

En la Figura 39 podemos inferir que hay ciertos factores que afectan la temperatura de la caja de revisión de algunos días de la semana pueden variar, y puede ser útil investigar las causas de estas variaciones, como cambios en el clima.

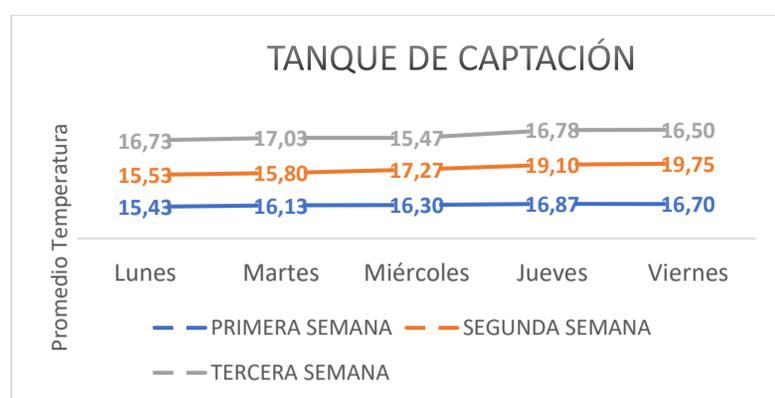


Fig. 40 Grafica de variación de temperatura de caja de revisión

En la Figura 40 podemos inferir que no existen cambios muy significativos de la caja de revisión, con el tanque de captación puede ser los mismos factores que afectan la temperatura en la caja de revisión, que se prestan de igual forma en el tanque de captación, de igual forma esto también pueden variar, y puede ser útil investigar las causa.

4.2.5 Evaluación del Impacto de Productos de Limpieza

A continuación, en la Tabla VI se representa los tipos de productos de limpieza que son usados y describiendo sus características físicas y químicas.

Tabla VI

PRODUCTOS DE LIMPIEZA USADOS EN LA PLANTA USADOS.

Desinfectante	Descripción	Características	Uso
ISO MOLD	Detergente especialmente para el lavado, limpieza y remoción de grasas, aceites y suciedad tanto alimenticia como industrial.	Líquido viscoso Amarillo claro pH 5.5 – 7.5 1150 g/l	Lavado de pisos de paredes, cuartos de refrigeración y cocinas.
Alcohol 75%	Antiséptico utilizado en la industria alimenticia para la desinfección de ambientes y equipos.	Líquido Incoloro pH 6.0 – 7 1150 g/l	Industria farmacéutica, cosmética, alimenticia y química.
Emulsi-Chlor	Detergente alcalino espumoso a base de cloro activado.	Líquido Transparente amarillento claro pH 13.5 1150 g/ml	Eliminación de residuos orgánicos.
Sanilac TR	Desinfectante germicida, para la industria alimenticia, principalmente para la desinfección de las manos de los operarios que manipulan los alimentos.	Líquido Incoloro Característico pH 2 1000 g/ml Soluble en agua	Desafección de las manos de los operarios.
Fornonet	Detergente alcalino espumoso superconcentrado	Líquido Transparente ámbar pH 13.5 1150 g/ml	Eliminación de grasas y aceites y suscitad cubanizada de alimentos.
Quantum SURF	Detergente superconcentrado con enzimas y tensioactivos. Respeto los tejidos y colores, eficaz también a bajas temperaturas.	Líquido Blanco Floral pH 9 16 KG	Usado para el lavado de prendas de vestimenta
Laundry Soft	Suavizante concentrado que deja la ropa suave y perfumada. Protege las fibras y fácil para el planchado.	Líquido Blanco Floreale pH 3 15 KG	Usado para el lavado de prendas de vestimenta

Nota: Elaboración propia.

Según los datos presentados en la Tabla VI, se realizó un análisis de los tipos de productos de limpieza utilizados, lo que reveló su posible impacto en el proceso de tratamiento de las aguas

residuales. Es notable que los niveles de pH de ciertos productos de limpieza estén por debajo del umbral de acidez, lo que indica la necesidad de considerarlos en el proceso de tratamiento.

4.2.6 Medición del Caudal de Aguas Residuales Entrantes a la Planta de Tratamiento

Para determinar la cantidad de aguas residuales que ingresan a la planta, se utilizó un método experimental que consistió en llenar el tanque de aireación con una cantidad específica de agua en un tiempo determinado.

Debido a la forma cilíndrica del tanque de aireación, solo fue posible determinar su volumen utilizando el diámetro de 2,90 m y una longitud de 4,30 m. Se procede a determinar el tiempo total de llenado del tanque de aireación lo cual se tienen datos como que en 14 minutos logro llenar una altura de 0,63 m del tanque cilíndrico para esto se procedió a realizar cálculos matemáticos.



Fig. 41 Dimensiones de la vista lateral del tanque de aireación

Para determinar el caudal que entra en el tanque de aireación, es necesario calcular el segmento correspondiente a la parte inferior de la circunferencia en la Figura 41. Esto se logra utilizando el teorema de Pitágoras y la ley de los cosenos y la fórmula del área del sector circular.

Ecuación 1. Teorema de Pitágoras.

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$(1.45)^2 = (0.83)^2 + b^2$$

$$b^2 = (1.45)^2 - (0.83)^2$$

$$b = \sqrt{(1.45)^2 - (0.83)^2}$$

$$b = 1.19m$$

Ecuación 2. Con la ley de los cosenos se procede a calcular el ángulo interno.

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2c \cdot a \cos B$$

$$(2.38)^2 = (1.45)^2 + (1.45)^2 - 2(1.45) \cdot (1.45) \cos B$$

$$1.46 = -4.21 \cos B$$

$$B = \cos^{-1}(-0.35)$$

$$B = 110,49^\circ$$

Ecuación 3. Área del segmento.

$$A = \frac{\pi \times r^2 \times n}{360} - \frac{b \times h}{2}$$

$$A = \frac{\pi \times (1.45m)^2 \times 110.49^\circ}{360^\circ} - \frac{2,38m \times 0,83m}{2}$$

$$A = 2,03m^2 - 0,99m^2$$

$$A = 1,04m^2$$

Ecuación 4. Volumen.

Donde

V=Volumen

A= Área

L=Longitud

$$V = A \times L$$

$$V = 1,04m^2 \times 4,30m$$

$$V = 4,47m^3$$

Ecuación 5. Caudal

Donde

Q= caudal

V= tiempo

t=tiempo

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

$$Q = \frac{4.47m^3}{14 \text{ min}}$$

$$Q = 0,319m^3/\text{min}$$

Ecuación 6. Tiempo de llenado

$$t = \frac{28,40m^3}{0,319m^3/\text{min}}$$

$$t = 89,028 \text{ min}$$

Ecuación 6. Caudal.

Donde

Q= caudal

V= tiempo

t=tiempo

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

$$Q = \frac{28,30m^3}{89,028 \text{ min}}$$

$$Q = 0,32m^3/\text{min}$$

El resultado obtenido es un caudal de 0.32 metros cúbicos por minuto. Este proceso muestra un enfoque paso a paso para calcular el caudal entrante en el tanque de aireación.

4.2.7 Aguas Lluvias

En base a los datos del INAMI del 2019, un año con altos niveles de precipitación, han permitido determinar la cantidad de aguas pluviales recolectadas en los techos de diversas áreas productivas y dirigidas a la planta de tratamiento. Por lo tanto, durante los meses de lluvia intensa, la planta no solo trata aguas residuales, sino también aguas pluviales, en la Tabla IX se da conocer cuál es la cantidad de aguas pluviales se genera. Para una mayor comprensión se sugiere que se dirijan al Anexo 2.

Tabla VII
CANTIDAD DE AGUAS LLUVIA ENTRANTE

Nombres de Áreas	Cantidad de agua lluvia m³ por día
Oficina agrícola/bodega/oficina/taller mantenimiento/ sala de calderos	1,27 m ³
Bodega de uso general (área de salsas)	2,71 m ³
Bodega de maduración	1,45 m ³
Bodega de producto terminado exportación	1,75 m ³
Área general de calidad	2,23 m ³
Área de hornos y oficinas de calidad	1,74 m ³
Nacional	8,12 m ³
Bodega De Producto Terminado Nacional	4,19 m ³
TOTAL	24,21 m³/día

Nota: Elaboración propia.

La planta de tratamiento de aguas residuales no solo procesa las aguas residuales generadas en las diferentes áreas productivas, sino que también trata las aguas pluviales durante los meses más lluviosos. En esos periodos, estaría operando con una capacidad adicional de 24,21 m³/día. Sin embargo, no es recomendable utilizar esta capacidad adicional para tratar aguas pluviales, ya que estas no contienen carga orgánica o biológica significativa.

4.3 Panel de Control Eléctrico Instalado

El panel instalado está compuesto por varios dispositivos que controlan las bombas utilizadas en el proceso de purificación de las aguas residuales. Estos dispositivos electromecánicos trabajan juntos para convertir la energía eléctrica en energía mecánica, permitiendo el transporte de las aguas residuales entre los diferentes tanques de la planta. La Figura 42 muestra algunos de estos elementos electromecánicos, así como indicadores y accionadores para su funcionamiento.



Fig. 42 Tablero de panel de control instalado

Par ser más detallada se relazo un listado completo de todos los componentes presentes en el tablero de control, abarcando una variedad de dispositivos electromecánicos. Estos elementos han sido enumerados y registrados para asegurar un inventario preciso de la cantidad de equipos que lo integran. El conjunto de componentes incluye una amplia gama de dispositivos tales como relés, interruptores, contactores, fusibles, indicadores y otros elementos esenciales para el control y monitoreo eficiente de los sistemas electromecánicos. En la Tabla X se han detallado un inventario de todos los componentes electrónicos que abarca el panel de control.

Tabla VIII

ELEMENTOS DEL PANEL DE CONTROL

Registro de equipos		
Nº	Cantidad	Nombre
1	6	Contactores (Siemens)
2	6	Guardamotores (Siemens)
3	1	Breakers termomagnéticos de caja moldeada 3VT1 (Siemens)
4	1	Módulo Lógico Programable LOGO Guía de selección
5	1	Módulos de expansión para señales digitales
6	2	Porta fusibles
7	2	Fusibles
8	1	Breaker
9	1	Controlador de fases
10	1	Relé
11	2	Floatless Relay
12	7	Selectores
13	1	Switch interruptor ojo de cangrejo
14	6	Luces pilotos (rojo)
15	7	Luces piloto (Verde)
16	3	Bornera de distribución
17	1	Ventilador 220V

Nota: Elaboración propia.

4.3.1 Bombas Instaladas

Las bombas son elementos clave que permiten el traslado eficiente de aguas residuales entre los distintos tanques. Estos dispositivos desempeñan una función fundamental en sistemas de tratamiento de aguas al facilitar el flujo de las aguas residuales de un tanque a otro. En la Tabla IX se han detallado las características generales de las diversas bombas instaladas.

Tabla IX
BOMBAS INSTALADAS

Código	Modelo	Nombre	Cantidad	HP	Voltaje (V)	Amp	Tipo de motor	Feet of head	Caudal (Q)
B-01	16S-CIM	Bombas de captación sumergible	2	1	230 V	11.0 A	Monofásico	180 (54.86) m	160gal/min 36 m ³ /h
B-02	10SN-CIA-RF	Bombas de trasferencia sumergibles	2	½	115 V	9.5 A	Monofásico	90 (27.43) m	120 gal/min 27 m ³ /h
BW-01	SCL KO5-MS	Blower aireador	2	4	230 V	6.1 A	Monofásico	---	---
BD-01	DMB 3,0-10	Bomba dosificadora Grundfos	1		115 V	11.0 A	Monofásico	---	---

Nota: Elaboración propia.

4.3.2 Panel de Control de la PTAR

Se desarrollo un esquema del tablero que está representado en la Figura 43, que se visualiza la configuración para el encendido y apagado de las diversas bombas en el panel de control, el cual está segmentado en los modos de manual y automático.



Fig. 43 Panel de control

Nota: Elaboración propia.

Entre la Figura 43 y la Tabla X, se detalla la función de cada selector (SL) en el panel, especificando tanto la modalidad (automático o manual) como la bomba que se activa en cada caso.

Tabla X
DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL PANEL DE CONTROL

Código	Denominación y Observaciones	Cantidad de unidades
SL-01	Selector control manual/automático Blowers de aireación	1
SL-02	Selector de control manual blowers de aireación BLW1 y BLW2	1
SL-03	Selector control manual/automático bombas de captación	1
SL-04	Selector de control manual bombas de captación B1 y B2	1
SL-05	Selector de control manual/automático bombas de transferencia	1
SL-06	Selector de control manual bombas de transferencia B1 y B2	1
SL-07	Selector de control manual/automático bomba dosificadora	1
LP	Luz piloto color verde encendido de bombas, motores.	7
LP	Luz piloto color rojo señalización sobrecargas, sobre corrientes.	6

Nota: Elaboración propia.

4.3.3 Funcionamiento de Modalidad Manual

En las Figura 41 y la Tabla X se proporciona una descripción detallada de la función de cada selector (SL) en el panel de control, incluyendo la modalidad de operación (automático o manual) y la identificación de la bomba asociada que se activa en cada caso. Esta información es esencial para entender el funcionamiento del sistema y garantizar una operación y mantenimiento eficientes del panel de control."

4.3.3.1 Browers

Con el selector SL-01 en la posición manual (MAN), enciende las bombas de aireación según la posición del selector SL-02 ya sea que encuentre en BLW1 y BLW2.

- Cuando el selector SL-01 se encuentra en la posición de apagado (OFF), el selector SL-02 se encuentre en las posiciones de BLW1 – OFF - BLW2 no enciende ningún blower, así como sus respectivas luces pilotos.
- Cuando el selector SL-01 se encuentre en la posición manual (MAN), y el selector SL-02 en la posición BLW1, el Blower aireador BLW1 se enciende con su respectiva luz piloto color verde, y el Blower aireador BLW2 esta apagado, así como su luz piloto verde.
- Cuando el selector SL-01 se encuentre en la posición manual (MAN), y el selector SL-02 en la posición BLW2, el Blower aireador BLW2 se enciende con su respectiva luz piloto color verde, y el Blower aireador BLW1 esta apagado, así como su luz piloto.

4.3.3.2 Bombas de Captación Sumergible.

Con el selector SL-03 en la posición manual (MAN), enciende las bombas de captación sumergible según la posición del selector SL-04 ya sea que encuentre en B1 y B2.

- Cuando el selector SL-03 se encuentra en la posición de apagado (OFF), el selector SL-04 se encuentre en la posición B1 – OFF - B2 no enciende ninguna bomba de captación sumergible, así como sus respectivas luces pilotos.
- Cuando el selector SL-03 se encuentre en la posición manual (MAN), y el selector SL-04 en la posición B1, la bomba de captación B1 se enciende con su respectiva luz piloto color verde, y la bomba de captación B2 esta apagado, así como su luz piloto.

- Cuando el selector SL-03 se encuentre en la posición manual (MAN), y el selector SL-04 en la posición B2, la bomba de captación B2 se enciende con su respectiva luz piloto color verde, y la bomba de captación B1 esta apagado, así como su luz piloto.

4.3.3.3 Bombas de Transferencia.

Con el selector SL-05 en la posición manual (MAN), enciende las bombas de transferencia según la posición del selector SL-06 ya sea que encuentre en B1 y B2.

- Cuando el selector SL-05 se encuentra en la posición de apagado (OFF), el selector SL-06 se encuentre en la posición B1 – OFF - B2 no enciende ninguna bomba de transferencia, así como sus respectivas luces pilotos.
- Cuando el selector SL-05 se encuentre en la posición manual (MAN), y el selector SL-06 en la posición B1, la bomba de transferencia B1 se enciende con su respectiva luz piloto color verde, y la bomba de transferencia B2 esta apagado, así como su luz piloto.
- Cuando el selector SL-05 se encuentre en la posición manual (MAN), y el selector SL-06 en la posición B2, la bomba de transferencia B2 se enciende con su respectiva luz piloto color verde, y la bomba de transferencia B1 esta apagado, así como su luz piloto.

4.3.3.4 Ventilador.

Cuando el interruptor de palanca SPST-01 está apagado, cuando está en la posición (OFF), y cuando el interruptor este encendido cuando está en la posición ON.

4.3.3.5 Bomba Dosificadora.

- Cuando el selector SL-07 se encuentra en la posición manual (MAN) se enciende el relé para el funcionamiento de la bomba dosificadora.

4.3.4 Funcionamiento de Modalidad Automático

En el funcionamiento automático consiste de cómo se coloca el selector en una determinada posición, con la función del PLC se puede realizar el cambio automático de las bombas en un respectivo tiempo de 30 minutos.

4.3.4.1 Blowers

- Con el selector SL-01 en la posición automático (AUTO), enciende solo la bomba de aireación BLW2 con su respectiva luz piloto color verde, al transcurso de 30 minutos se enciende el BLW1 la bomba de aireación con su respectiva luz piloto color verde y se apaga la bomba de aireación BLW2 con su respectiva luz piloto color verde.

4.3.4.2 Bombas de Captación Sumergible

- Cuando el selector SL-03 está en la posición automático (AUTO) no se enciende ninguna de las bombas de captación sumergible.
- Con el selector SL-03 en la posición automático (AUTO), enciende solo la bomba de captación sumergible B2 con su respectiva luz piloto color verde, al transcurso de 30 minutos se enciende la bomba de captación sumergible B1 con su respectiva luz piloto color verde y se apaga la bomba de captación sumergible B2 con su respectiva luz piloto color verde.

4.3.4.3 Bombas de Transferencia.

- Con el selector SL-05 en la posición automático (AUTO), enciende solo la bomba de transferencia B2 con su respectiva luz piloto color verde, al transcurso de 30 minutos se enciende la bomba de transferencia B1 con su respectiva luz piloto color verde y se apaga la bomba de transferencia B2 con su respectiva luz piloto color verde.

4.3.4.4 Bomba Dosificadora

- Cuando el selector SL-07 se encuentre en la posición de apagado (OFF) no hace ninguna función.
- Cuando el selector SL-07 se encuentra en la posición automática (AUTO) no cumple ninguna función.

4.3.5 Programa Instalado

El programa cargado en el LOGO 8 fue desarrollado en el lenguaje de bloques, el cual se compone de compuertas lógicas. Este programa permite únicamente el encendido de las bombas a partir de los selectores mencionados anteriormente. En el Anexo 3 se puede observar el desarrollo completo del programa que controla las diferentes bombas. De forma rápida e intuitiva se observó que el programa solo cuenta con un solo contador que es de 30 min, que su principal función es la alternancia de encendido de las bombas.

4.4 Discusión de Resultados

El análisis exhaustivo realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales revela deficiencias significativas en su funcionamiento. La evaluación de las modalidades de operación muestra que la modalidad automática no cumple con los parámetros esperados, ya que solo alterna entre las bombas instaladas sin mantener activas las bombas de aireación cuando es necesario, lo que obliga a una intervención manual para avanzar a la siguiente fase del proceso. Esto sugiere que la modalidad automática no es efectiva y no ofrece una operación óptima, lo que cuestiona la viabilidad del programa de control actual. Por lo tanto, es imperativo revisar y actualizar el sistema de control para garantizar una operación eficaz y eficiente de la planta.

Con el análisis de las características hidráulicas de las bombas de captación y aireación, presentadas en la Tabla IX, revela que estas poseen un Feet of head de 180 y 90 pies, equivalentes a 54.86 m y 27.43 m, respectivamente. Esto confirma que las bombas de captación están dimensionadas para manejar las cargas hidráulicas asociadas con la succión de aguas del tanque de captación con una profundidad de 3 m. Asimismo, las bombas de transferencia están diseñadas para transferir las aguas del tanque de aireación con una profundidad de 2.90 m hacia el tanque de sedimentación, lo que garantiza su capacidad para manejar las condiciones hidráulicas requeridas en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

CAPÍTULO V

5. DESARROLLO DE PROPUESTA

En este capítulo se presenta el desarrollo de la propuesta de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, siguiendo los parámetros establecidos por el cliente.

5.1 *Análisis*

5.1.1 *La Voz del Usuario*

La obtención de los requerimientos del usuario se realizó mediante una entrevista personal con el usuario donde establece que es lo que busca en el diseño del sistema automático para el monitoreo y control que infiere los siguientes requerimientos:

- Funcionamiento de dos modalidades manuales /automática.
- Las bombas puedan encenderse de manera impediendo.
- El encendido de las bombas sea de manera alternante.
- En el tablero se especifique con una simbología.
- El desarrollo del programa sea en el lenguaje Ladder o Diagrama de bloques.
- Un interfaz flexible, en Sistemas PC runtime Advanced.
- Desarrollo de un manual usuario.
- Establecer el tiempo de retención de las aguas residuales.
- La interfaz gramática indicando el funcionamiento de los equipos.
- Costo de diseño.
- Uso de sensores para medir temperatura y pH en el tanque de aireación.

5.1.2 *Voz del Ingeniero*

Después de haber reconocido las necesidades del usuario, se procederá a transformarlas en características técnicas o especificaciones.

- El sistema de control debe incluir dos modalidades, con la capacidad de cambiar entre operación manual y automática. Los modos deben ser claramente indicados en la interfaz de usuario.
- Cada bomba debe estar conectada a un contactor individual que permita su encendido y apagado independiente. La interfaz de control debe tener botones o switches separados para cada bomba.
- Implementar un algoritmo de alternancia en el programa de control que gestione el encendido alternante de las bombas, asegurando que no se enciendan simultáneamente.
- Diseñar el tablero de control con íconos y símbolos estándar para representar el estado de las bombas (encendido, apagado, falla). Utilizar luces piloto para mostrar el estado de cada bomba visualmente.
- El software de control debe ser programado utilizando lenguaje Ladder o Diagrama de Bloques en TIA Portal, cumpliendo con las normativas IEC 61131-3.
- Implementar la interfaz de usuario en un PC industrial utilizando el software Runtime Advanced. La interfaz debe ser personalizable y escalable, permitiendo ajustes y expansiones futuras.
- Especificar el funcionamiento detallado, incluyendo instrucciones paso a paso para la operación en ambos modos, resolución de problemas y seguridad.

- Incluir en el sistema una función para configurar y monitorear el tiempo de retención de aguas residuales. Esto debe ser ajustable a través de la interfaz de usuario y debe mostrar alertas si los tiempos no se cumplen.
- Desarrollar una interfaz gráfica que muestre en tiempo real el estado operativo de cada equipo, incluyendo gráficos de flujo de agua, niveles de retención, y estado de las bombas. Utilizar gráficos animados y diagramas de flujo para mejorar la comprensión del usuario.
- Seleccionar hardware y componentes de control que proporcionen la funcionalidad necesaria a un costo razonable, sin comprometer la calidad y fiabilidad del sistema. Evaluar opciones de software y licencias que se ajusten al presupuesto.
- Seleccionar los equipos adecuados para medir caudal, nivel de los tanques y pH. Utilizar sensores de alta precisión y confiabilidad, garantizando que se integren perfectamente con el sistema de control propuesto.

5.2 *Requerimientos de Funcionamiento*

Los requerimientos del usuario se determinan mediante, una propuesta de mejora, con la planta de tratamiento en el proceso de tratamiento de sus aguas residuales en la empresa Terrafertil S.A. La cual se definieron las necesidades que deben cumplir, por ende, son puntos clave para el desarrollo de la propuesta de diseño.

Tabla XI

MATRIZ DE REQUERIMIENTOS IMPLÍCITOS Y EXPLÍCITOS

Proyecto: “Diseño de un sistema automático para el control y monitoreo digital para la planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa Terrafertil S.A”.			
Cliente: TERRAFERTIL S.A.		Fecha de inicio:	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS			
Conceptos	Propone	R/D	Descripción
Funcionamiento en dos modalidades: manual y automática.	C + I	R	El sistema debe permitir cambiar entre control manual y automático, según sea necesario.
La interfaz intuitiva	I	R	La interfaz de usuario debe diseñarse de manera que los operadores puedan aprender y utilizar el sistema con facilidad, minimizando la necesidad de formación extensiva.
Las bombas pueden encenderse de manera independiente.	C	R	Cada bomba debe tener la capacidad de ser encendida o apagada individualmente desde la interfaz.
El sistema debe ser robusto y confiable, garantizando el funcionamiento continuo.	I	R	El sistema debe garantizar un funcionamiento continuo y estable, minimizando fallos y tiempos de inactividad.
El sistema debe cumplir con las normativas y estándares de seguridad de la industria.	I	R	El diseño y la implementación del sistema deben adherirse a todas las regulaciones y estándares de seguridad aplicables en la industria de tratamiento de aguas residuales.
En el tablero se especificará con una simbología clara.	C + I	R	Utilizar símbolos estandarizados y fáciles de entender para indicar el estado de las bombas y otros componentes.
El desarrollo del software debe seguir las mejores prácticas de programación.	I	R	Utilizar estos lenguajes de programación para garantizar la claridad y facilidad de mantenimiento del sistema.
El desarrollo del programa será en lenguaje Ladder o Diagrama de bloques.	C + I	D	La programación del sistema debe realizarse en un lenguaje de control industrial estándar, como Ladder o Diagrama de Bloques, para asegurar claridad y facilidad de mantenimiento.
La interfaz debe ser adaptable a futuras actualizaciones y expansiones del sistema.	C + I	D	La interfaz de usuario debe ser diseñada de manera que cualquier operador pueda entenderla y usarla sin dificultad.

Establecer el tiempo de retención de las aguas residuales.	C	R	El sistema debe incluir una función para configurar y monitorear el tiempo de retención de las aguas residuales, asegurando que se cumplan los estándares de tratamiento.
Los costos del sistema deben ser mínimos.	C	R	El sistema debe diseñarse para minimizar los costos de operación y mantenimiento, utilizando componentes duraderos y requerir poco mantenimiento regular.
La interfaz gráfica debe indicar el funcionamiento de los equipos.	C + I	D	La interfaz de usuario y el sistema en general deben diseñarse para permitir futuras modificaciones y ampliaciones sin requerir una reconfiguración completa.
El tiempo de respuesta del sistema ante eventos críticos debe ser rápido.	C + I	R	El sistema debe ser capaz de detectar y responder rápidamente a eventos críticos o fallos, minimizando el impacto en las operaciones
Reconocimiento por sensores.	C	D	

Nota: En la Tabla XII se demuestra los requerimientos implícitos y explícitos que es tomado por C=Cliente, I=Ingeniería Parámetro: R=Requerimiento, D=Deseo.

5.3 Desarrollo de la propuesta

Para una mayor comprensión del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, se desarrolló un análisis funcional del sistema de purificación utilizando diagramas de funcionamiento.

5.3.1 Diagrama Funcional

En este diagrama determina el funcionamiento del sistema de purificación de las aguas por medio de los diagramas de funcionamiento de los diferentes niveles 0, 1 y 2.

Con el Nivel 0, da conocer el funcionamiento básico de la PTAR donde la cual, al ser accionada por señal, energía e ingreso de aguas residuales, atraviesa por el proceso de tratamiento de lodos activados, se llega a obtener agua para riego agrícola.

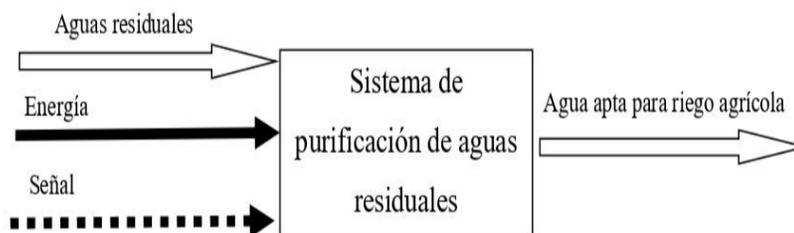


Fig. 44 Diagrama de función Nivel 0 de la planta de tramonto

Con el nivel 1, se considera ingreso de las aguas residuales y el encendido de las diferentes bombas, los cuales permiten el traspaso de las aguas residuales a los diferentes tanques que conforman la planta de tratamiento de aguas residuales y tener como resultado agua para riego agrícola. En este diagrama se observa de como cada bomba tiene su propio controlador para el encendido manual y automático. Así como la intención del suministro de aire al tanque de aireación, y el ingreso de cloro hacia el tanque de sedimentación.

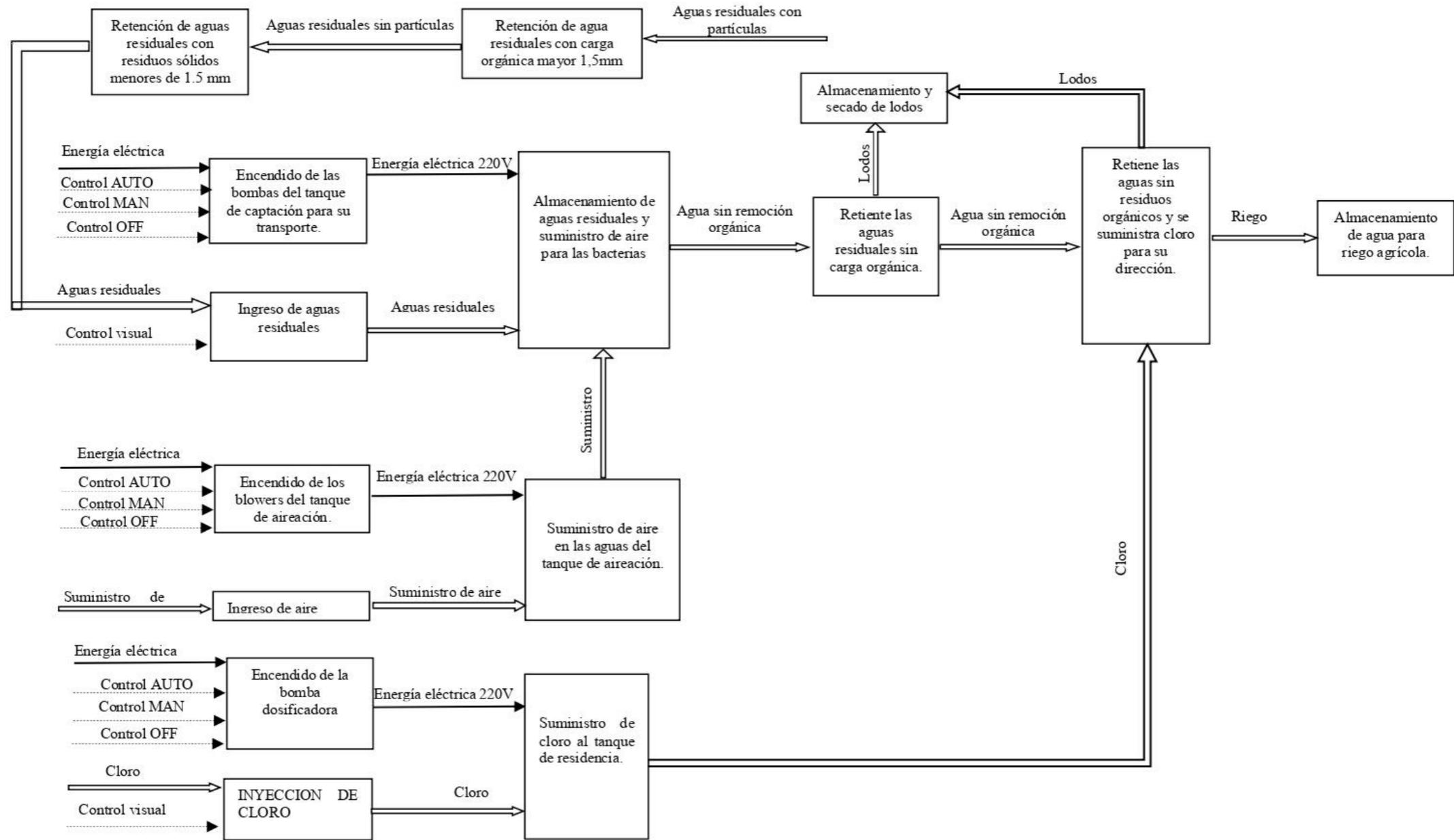


Fig. 45 Diagrama de función de Nivel I planta de tratamiento

5.3.2 *Flujo de Proceso Automático y Manual*

Conociendo la función principal de la maquina podemos relacionarla con los requerimientos del cliente. En base a los requerimientos del cliente, se han considerado las especificaciones necesarias para la planta de tratamiento de aguas residuales. La planta debe operar en dos modalidades: manual y automático, para el proceso de purificación del agua. Estas modalidades permiten controlar el funcionamiento de los actuadores instalados, que incluyen cuatro bombas sumergibles, dos blowers (suministradores de aire) y una bomba dosificadora como sus respectivas luces piloto. Para un mayor entendimiento se procede a desarrollar un flujograma que detalla el proceso de funcionamiento de las dos modalidades en la Figura 46.

Terminología usada:

MAN/ AUTO = Manual o Automatico

BOB'S = Bombas

FL = Flotador

SL = S elector

BCS = Bomba de captación

BLW = Bomba de suministro de aire

BTS = Bomba de transferencia sumergible

LP = Luces piloto

PL = Pulsador

TEM = Rele Temporizador

ON/OFF = Encendido o Apagado

BD = Bomba dosificadora

Tabla XII
MODELO MATEMÁTICO

Segmento	Ecuación	
Encendido	$E = P' \cdot A \cdot M + P' \cdot A' \cdot M + P' \cdot A \cdot M'$	
	$E = P' \cdot (M + A)$	
Modalidad	Automático $AUTO = E \cdot S' \cdot PM' \cdot MM' \cdot (PA + MA)$	
	Manual $MAN = [E \cdot S] \wedge PA' \wedge MA' \cdot (PM + MM)$	
	Selección de modalidad $MODALIDAD = E \cdot S' \cdot \{ [PA' \cdot MA' \cdot (PM + MM)] + [PM' \cdot MM' \cdot (PA + MA)] \}$	
Flotador 1 primera posición	$NB = E \cdot FL$	
Bombas de captación sumergibles	Manual $BC1 = E \cdot NB \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot PB1 \cdot PB2'$ $BC2 = E \cdot NB \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot PB1' \cdot PB2$ $BCS = E \cdot NB \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot (PB1' \cdot PB2 + PB1' \cdot PB2)$	
	Automático $BC1 = E \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBCS1' \cdot AUXBCS \cdot AUXBCS2' \cdot TM1 \cdot (TM2' + TM2)$ $BC2 = E \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBCS1' \cdot AUXBCS \cdot AUXBCS2' \cdot TM1 \cdot TM2'$ $AUXBCS = E \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBCS1' \cdot AUXBCS \cdot AUXBCS2' \cdot (TM1' \cdot TM2' + TM1 \cdot TM2' + TM1' \cdot TM2)$ $BCS1 = E \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBCS1' \cdot AUXBCS \cdot AUXBCS2' \cdot TM1 \cdot TM2'$ $AUXBCS2 = E \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBCS1' \cdot AUXBCS \cdot AUXBCS2' \cdot TM1' \cdot TM2'$	
	Flotador 1 primera posición	$NA = E \cdot FL$
	Manual $BLWR1 = E \cdot NA \cdot FA \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot PB1 \cdot PB2'$ $BLWR2 = E \cdot NB \cdot FA \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot PB1' \cdot PB2$ $BLWRS = E \cdot NB \cdot FA \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot (PB1' \cdot PB2 + PB1' \cdot PB2)$	
	Automático $BLW1 = E \cdot NB \cdot FA' \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBLW1' \cdot AUXBLWS \cdot AUXBLW2' \cdot TM3' \cdot TM5' \cdot (TM4' + TM4)$ $BLW2 = E \cdot NB \cdot FA \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBLW1' \cdot AUXBLWS \cdot AUXBLW2' \cdot TM3 \cdot TM4' \cdot TM5'$ $AUXBLWS = E \cdot NB \cdot FA' \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBLW1' \cdot AUXBLWS \cdot AUXBLW2' \cdot TM5' \cdot (TM3' \cdot TM4' + TM3 \cdot TM4' + TM3' \cdot TM4)$ $AUXBLW1 = E \cdot NB \cdot FA' \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBLW1' \cdot AUXBLWS \cdot AUXBLW2' \cdot TM3 \cdot TM4' \cdot TM5$ $AUXBLW2 = E \cdot NB \cdot FA' \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBLW1' \cdot AUXBLWS \cdot AUXBLW2' \cdot TM3' \cdot TM4' \cdot TM5$ $FA = E \cdot NB \cdot FA' \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBLW1' \cdot AUXBLWS' \cdot AUXBLW2' \cdot TM3' \cdot TM4' \cdot TM5$	
	Flotador 2 primera posición	$NB = E \cdot FL$
Bombas de transferencias sumergibles	Manual $BC1 = E \cdot NB \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot PB1 \cdot PB2$ $BC2 = E \cdot NB \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot PB1' \cdot PB2$ $BCS = E \cdot NB \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot (PB1' \cdot PB2 + PB1' \cdot PB2)$	
	Automático $BT1 = E \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBT1' \cdot AUXBTS \cdot AUXBT2' \cdot TM1 \cdot (TM2' + TM2)$ $BT2 = E \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBT1' \cdot AUXBTS \cdot AUXBT2' \cdot TM1 \cdot TM2'$ $AUXBTS = E \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBT1' \cdot AUXBTS \cdot AUXBT2' \cdot (TM1' \cdot TM2' + TM1 \cdot TM2' + TM1' \cdot TM2)$ $AUXBCS1 = E \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBT1' \cdot AUXBTS \cdot AUXBT2' \cdot TM1 \cdot TM2'$ $AUXBCS2 = E \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN' \cdot AUXBT1' \cdot AUXBTS \cdot AUXBT2' \cdot TM1' \cdot TM2'$	
	Flotador 2 primera posición	$NA = E \cdot FL$
	Manual $BD = E \cdot NA \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot PB1$	
	Automático $BD = E \cdot NA \cdot AUTO \cdot AUXRE' \cdot MAN' \cdot TM7BD'$ $AUXBD = E \cdot NA \cdot AUTO \cdot AUXRE' \cdot MAN' \cdot TM8BD$ $AUTOBD = E \cdot NA \cdot AUTO \cdot AUXRE' \cdot MAN' \cdot (TM8BD' + TM8BD)$	
	Bomba dosificadora	

Nota: Elaboración propia.

5.4.1 Interpretación de Puertas Lógicas

Para confiabilidad de las ecuaciones se modelo de manera virtual el funcionamiento de cada una de ellas en el programa CADe-SIMU para verificar el correcto el funcionamiento de cada una de

ellas, usando las puertas lógicas AND, OR y NOT. Para una verificación más precisa se puede proceder al Anexo 11, donde se da a conocer los diagramas de simulación.

5.5 Simulación

Con las ecuaciones de la Tabla XII podemos pasarlos a construir un modelo de lenguaje de contactos de las dos modalidades, nos apoyamos con el software CADe_SIMU que podemos representarlo en el lenguaje con tactos y así como simularlo comprobado el funcionamiento.

5.5.1 Diagrama de potencia

En el Anexo 4, se presenta el diagrama de potencia que ilustra la cantidad de componentes como su respectiva distribución e incluyendo detalles sobre cómo se controlan y protegen los equipos eléctricos, cómo realizan la conmutación de energía y cómo se regula el flujo de energía para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema eléctrico en su totalidad.

5.5.2 Diagrama de mando

En la Anexo 5, se exhibe el diagrama de control que detalla la gestión de funcionamiento de las dos modalidades: automático y manual encendido de diversos actuadores y sensores. Para una comprensión más exhaustiva, el cual proporciona la funcionalidad de control en el contexto de la planta de tratamiento de aguas residuales. Este diagrama, mediante CADe SIMU, tiene como propósito evidenciar las dos modalidades de interacción disponibles para el usuario: manual y automática, destacando así la versatilidad y el control integral del sistema.

5.6 Desarrollo Ladder en Siemens TIA Portal.

En el proceso de programación Ladder, se llevó a partir del del lenguaje de contactos permitiendo el, desarrollando dos las modalidades distintas: automática y manual. La modalidad automática está diseñada para ejecutar el proceso de tratamiento de aguas residuales de forma autónoma, sin necesidad de intervención humana. Por otro lado, la modalidad manual permite la intervención directa de un usuario en el proceso.

Para este desarrollo, se utilizó un PLC S7-1200 con la denominación CPU 1212C DC/DC/Rly, junto con dos módulos de acoplamiento de entradas / salidas digitales y entradas analógicas conocido como DI 16/DQ 16x24VDC_1 / AI 4x13BIT_1. Estos componentes brindan la capacidad necesaria para gestionar las señales de entrada y salida de manera eficiente, permitiendo así la implementación efectiva de la lógica de control requerido.

El PLC S7-1200 es una excelente opción para una planta de tratamiento de aguas residuales debido a su flexibilidad, comunicación avanzada, programación eficiente, integración con sistemas de automatización, detección y diagnóstico de fallos, seguridad, durabilidad y soporte.

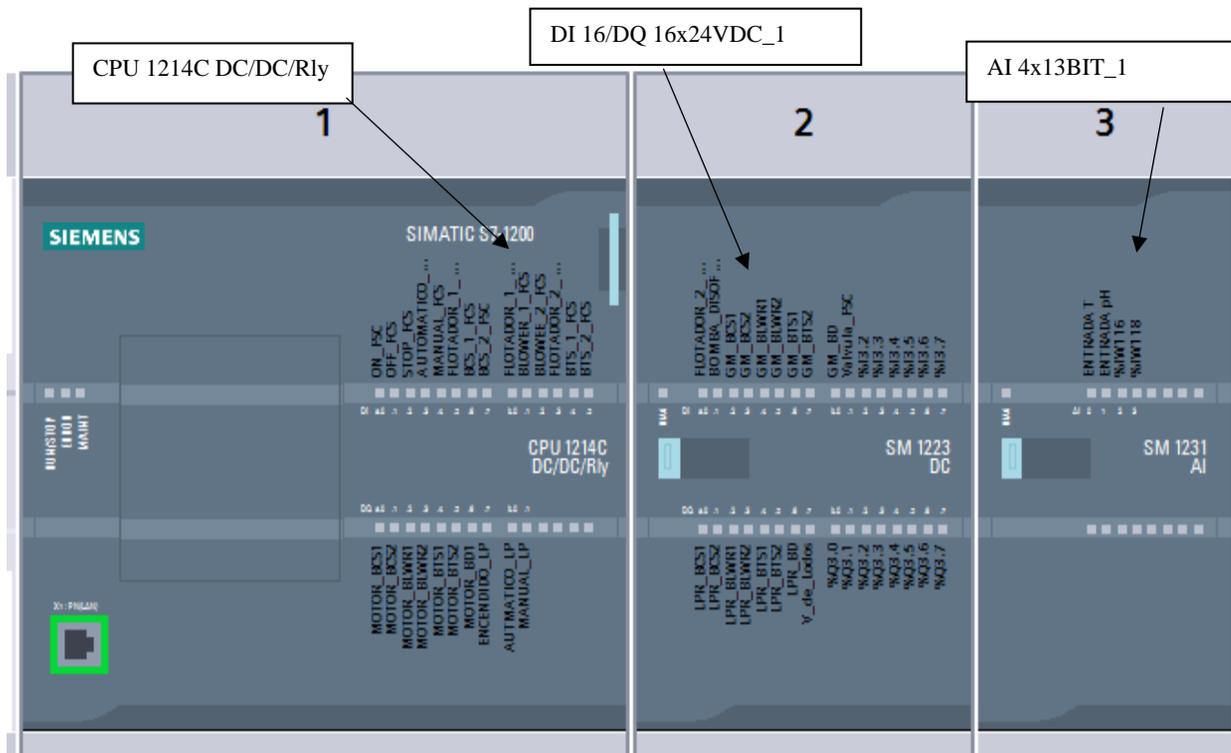


Fig. 47 PLC y módulo de DI / DQ.

Para el desarrollo se utilizó el software TIA Portal de Siemens. Con sus programas de simulación integrados, la flexibilidad y la facilidad de uso de este entorno facilitan el diseño de proyectos de automatización. Es esencial familiarizarse con sus características principales para aprovechar plenamente su potencial.

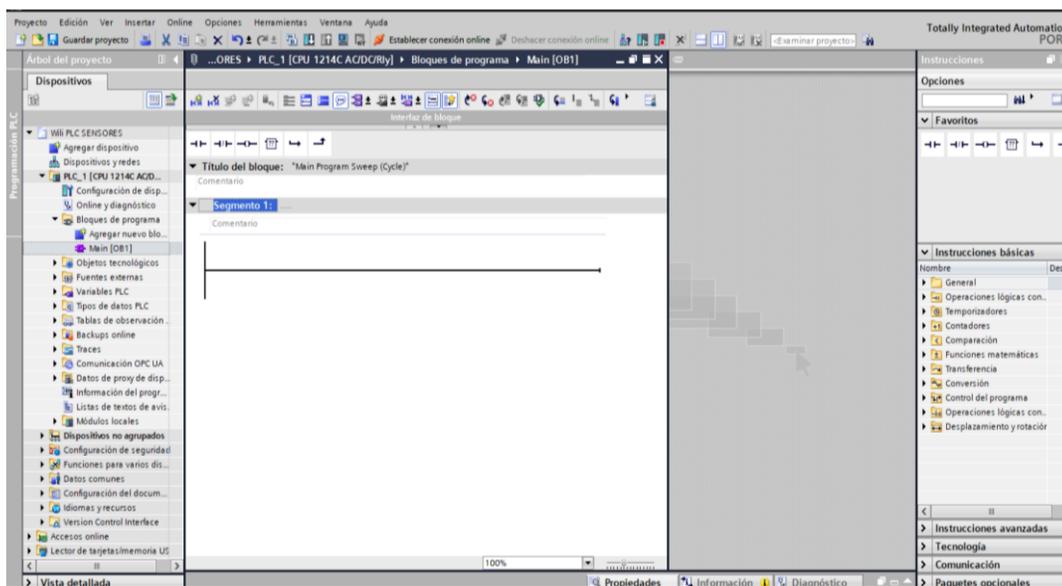


Fig. 48 Entorno de desarrollo de programación

Al estar familiarizado con el funcionamiento del software se procedió al desarrollo del programa lo cual se realiza en programación Ladder debido a que se asemeja al lenguaje de contactos que esto permite estructurar de manera cuidadosa para garantizar un funcionamiento preciso y confiable en ambas modalidades, asegurando la flexibilidad necesaria para adaptarse a los requisitos específicos del proceso de tratamiento de aguas residuales. En la Figura 49 se muestra un segmento del desarrollo del programa, lo que proporciona una visión parcial de su estructura. Para una comprensión completa y detallada del programa completo, se recomienda dirigirse al Anexo 6, donde se encuentra el programa desarrollado en su totalidad. Esto permitirá una apreciación más amplia y exhaustiva de todas las funciones y características implementadas en el programa.

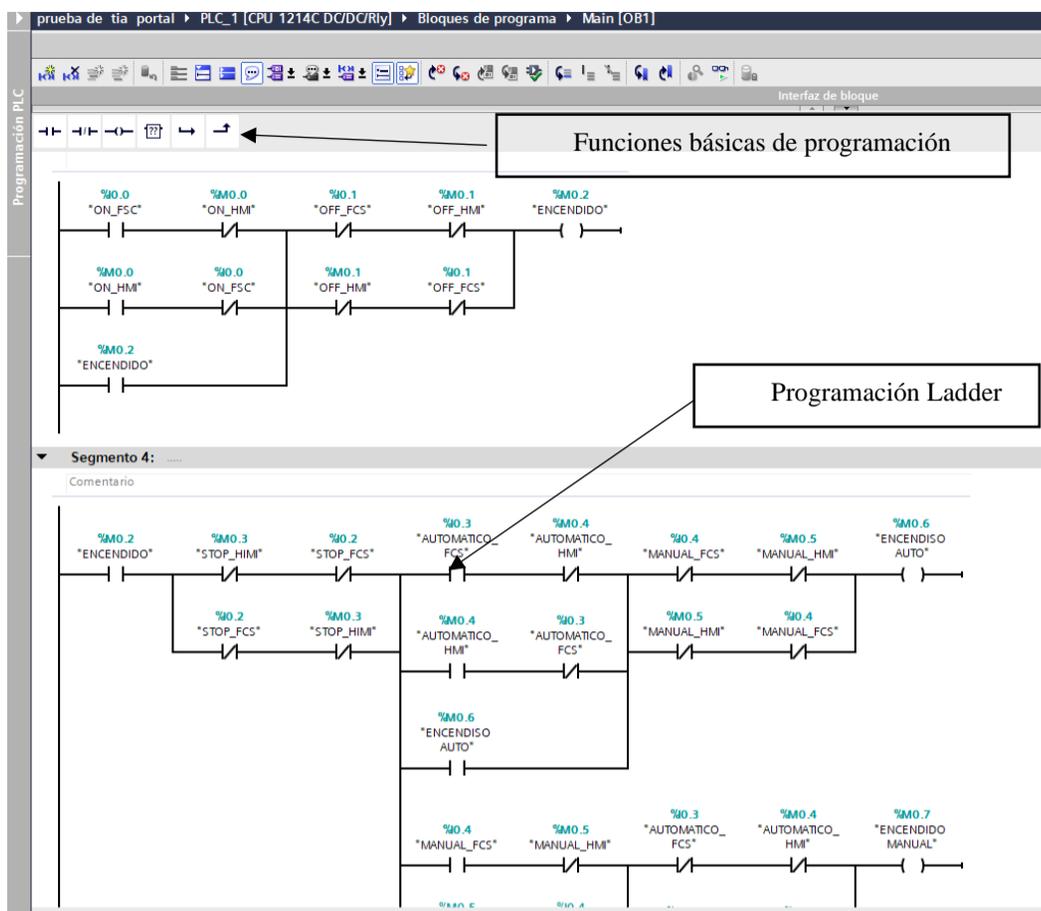


Fig. 49 Entorno de programación Ladder en TIA Portal.

5.6.1 Definición y uso de Etiquetas Predeterminadas

En el desarrollo del programa Ladder, se utilizó diversas etiquetas como memorias (M), entradas (I) y salidas (Q). Estas etiquetas permiten una organización clara y eficiente de los recursos. Las memorias (M) se emplean para almacenar estados y valores temporales, facilitando la implementación de lógica secuencial y condicional. Mientras que las entradas (I) representan señales de dispositivos externos que activan o desactivan funciones específicas del PLC. Las salidas (Q) controlan dispositivos externos como motores, luces y válvulas, ejecutando las acciones requeridas por el programa, las cuales estas etiquetas solo fueron empleadas en desarrollo de las modalidades como lógica cableada.

Esta Tabla XIII se enumera etiquetas de memorias M utilizadas en el contexto de un sistema de control para una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Cada variable se define por su nombre, tipo de dato y dirección en memoria. A continuación, se proporciona una breve descripción de algunas de las variables clave:

Tabla XIII
VARIABLES BOOLEANAS

Asignación DM - PLC			
Segmento de memoria	Tipo de dato	Descripción	D.M
Marca	BOOL	Permite le encendido a partir del HMI	M0.0
Marca	BOOL	Permite el apagado del HMI	M0.1
Marca	BOOL	Es la memoria guardada para el encendido	M0.2
Marca	BOOL	Activa un bit del operando para desactivar las dos modalidades	M0.3
Marca	BOOL	Activa un bit del operando para la modalidad automática	M0.4
Marca	BOOL	Activa un bit para la modalidad manual	M0.5
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido automático	M0.6
Marca	BOOL	Activa un bit del operando si el nivel de agua es baja del tanque de aireación	M0.7

Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido manual.	M1.0
Marca	BOOL	Activa un bit del operando para el encendido de la bomba de captación_1 de la pantalla HMI	M1.1
Marca	BOOL	Activa un bit del operando para el encendido de la bomba de captación_2 de la pantalla HMI	M1.2
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido de la bomba de captación_1	M1.3
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido de la bomba de captación_2	M1.4
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática al finalizar el contador DB1.	M1.5
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática de las bombas de captación	M1.6
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática al finalizar el contador DB2	M1.7
Marca	BOOL	Activa un bit del operando si el nivel de agua es alto del tanque de aireación	M2.0
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática al finalizar el contador DB3	M2.1
Marca	BOOL	Activa un bit del operando para el encendido de la bomba de aireación_1 de la pantalla HMI	M2.2
Marca	BOOL	Activa un bit del operando para el encendido de la bomba de aireación_2 de la pantalla HMI	M2.3
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática al finalizar el contador DB4	M2.4
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática de las bombas de aireación	M2.5
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática al finalizar el contador DB5	M2.6
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido de la bomba de aireación_1	M2.7
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido de la bomba de captación_2	M3.0
Marca	BOOL	Activa un bit del operando si el nivel de agua es bajo en tanque de sedimentación	M3.1
Marca	BOOL	Activa un bit del operando para el encendido de la bomba de transferencia_1 de la pantalla HMI	M3.2
Marca	BOOL	Activa un bit del operando para el encendido de la bomba de transferencia_2 de la pantalla HMI	M3.3
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática al finalizar el contador DB6	M3.4
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática de las bombas de transferencia	M3.5
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática al finalizar el contador DB7	M3.6
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido de la bomba de transferencia_1	M3.7
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido de la bomba de transferencia_2	M4.0
Marca	BOOL	Activa un bit del operando si el nivel de agua es alto en tanque de sedimentación	M4.1
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la modalidad automática al finalizar el contador DB8	M4.2
Marca	BOOL	Activa un bit del operando para el encendido de la bomba dosificadora de la pantalla HMI	M4.3
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido de la bomba de transferencia	M4.4
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria el encendido de la válvula de lodos HMI	M4.5
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido de válvula de lodos	M4.6
Marca	BOOL	Activa el bit de un operando para la válvula	M4.7
Marca	BOOL	Activa un bit del operando de la memoria guardada para el encendido de la válvula	M5.0
Marca	BOOL	Activa un bit del operando si el nivel de agua es bajo del tanque de aireación HMI	M5.1
Marca	BOOL	Activa un bit del operando si el nivel de agua es alto del tanque de aireación HMI	M5.2
Marca	BOOL	Activa un bit del operando si el nivel de agua es bajo del tanque de sedimentación HMI	M5.3
Marca	BOOL	Activa un bit del operando si el nivel de agua es alto del tanque de sedimentación HMI	M5.4

Nota: Elaboración propia

Es importante mencionar que también se usaron algunas funciones como TOM Time que nos permite el almacenamiento de información que son variables globales el cual fue usado para como temporizadores. Así como el uso de NORM_X que nos permite normalizar un valor de rango específico esto hace que un valor de un rango de entrada específica y mientras que SCALE_X es una función utilizada para escalar un valor normalizado a un nuevo rango de salida. Estas funciones fueron empleadas para el desarrollo para interpretar temperaturas y niveles de pH. En la Tabla XVI se ha detallado las características de estas funciones, así como que función realizan dentro del programa Ladder.

La Figura 50 muestra un extracto del programa que incorpora las funciones TOM Time, las cuales se utilizan para implementar el control de encendido alternado de las bombas mediante la utilización de temporizadores. Estas funciones permiten la automatización del proceso de encendido, asegurando que cada bomba se active de manera secuencial y controlada, lo que garantiza la operación sincronizada y eficiente del sistema de bombeo.

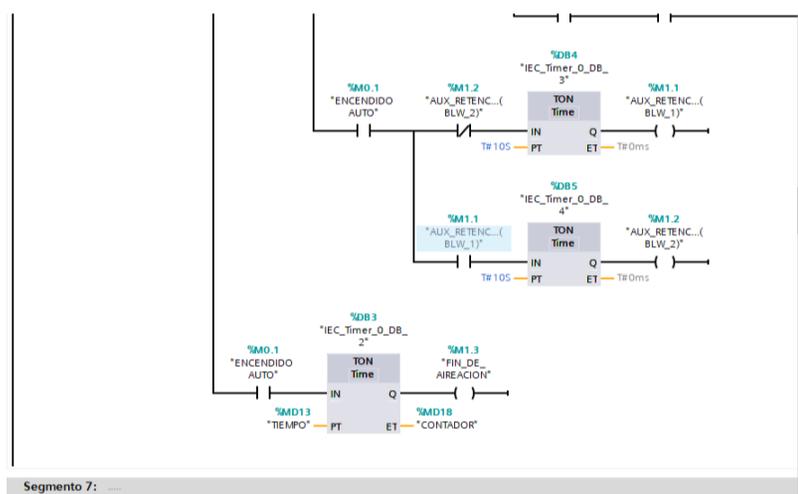


Fig. 50 Asignación de función de TOM Time

La Figura 51 ilustra las funciones NORM_X y SCALE_X, las cuales se utilizan para interpretar datos de entradas analógicas provenientes de sensores de temperatura y pH en el tanque de aireación (reactor) de aguas residuales. Estas funciones permiten la conversión de señales analógicas en datos numéricos reales, facilitando la lectura y el procesamiento de los niveles de temperatura y pH. La función NORM_X normaliza la señal analógica a un rango predeterminado, mientras que la función SCALE_X escala la señal para obtener un valor numérico

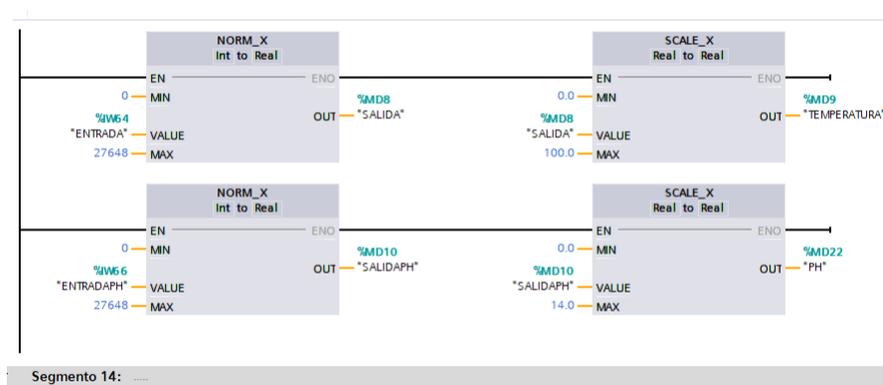


Fig. 51 Asignaciones funciones NOR-X y SCALE_X

Tabla XIV

ASIGNACIÓN DE FUNCIONES DE TEMPORIZACIÓN Y NORMALIZACIÓN DE VARIABLES

Asignación de Funciones			
Función	Tipo de dato	Descripción	D.F
TOM Time	OB	Activa la M0.4 para el encendió de M3.6 y M3.6 de las bombas de capción 1 y 2	DB1
TOM Time	OB	Activa la M0.5 para el recuento de Temporizador 1 DB1	DB2
TOM Time	OB	Activa la M1.1 para el encendió de M4.0 y M4.1 de las bombas de aireación 1 y 2	DB3
TOM Time	OB	Activa la M1.2 para el recuento de Temporizador 3 DB4	DB4
TOM Time	OB	Activa la M1.3 un contacto de NC a NO para el bloqueo de las bombas de aireación.	DB5
TOM Time	OB	Activa la M1.7 para el encendió de M4.2 y M4.3 de las bombas de transferencia 1 y 2	DB6
TOM Time	OB	Activa la M1.7 para el recuento de Temporizador 6 DB6	DB7
TOM Time	OB	Activa la M2.1 un contacto de NC a NO para el bloqueo de la bomba dosificadora.	DB8
NORM_X	INT	Normalizar un valor de entrada en un rango específico de 0 a 27648 para la temperatura	IW612
NORM_X	REAL	Normaliza la salida, que será un número entre 0.0 y 1.0.	ID8
SCALE_X	REAL	Es el valor escalado de la salida, que será un número entre 0.0 y 100 de temperatura.	ID9
NORM_X	INT	Normalizar un valor de entrada en un rango específico de 0 a 27648 para el pH.	IW14
NORM_X	REAL	Normaliza la salida, que será un número entre 0.0 y 1.0.	ID10
SCALE_X	REAL	Es el valor escalado de la salida, que será un número entre 0.0 y 14 de acidez pH.	ID22

Nota: Elaboración propia

5.6.1.1 Diagrama de Conexión de Entradas y Salidas Físicas DI/DQ

En las Tabla XV Tabla XVI y Tabla XVII proporciona información clara y precisa de las entradas y salidas del (PLC). Las siguientes tablas proporcionan una visión detallada de estas asignaciones, especificando las etiquetas de las memorias, tipos de datos y descripciones para cada una. Esta organización facilita la programación, el monitoreo y el mantenimiento del sistema, asegurando un funcionamiento eficiente y efectivo.

Tabla XV

ASIGNACIÓN DE LAS ENTRADAS DIGITALES

Asignación DI - PLC			
Nomenclatura	Tipo de dato	Descripción	DI
ON	BOOL	Encendido de todo el proceso.	%I0.1
OFF	BOOL	Apagado de todo el proceso	%I0.1
STOP	BOOL	Paro de las diferentes modalidades	%I0.2
AUTO	BOOL	Activación del modo automático para la ejecución de todo el proceso.	%I0.3
MAN	BOOL	Activación del modo manual del proceso como el encendido de las bombas de manera individual	%I0.4
FL_11	BOOL	FLOATLESS RELAY en la posición mínima en el tanque o reactor de aireación	%I0.5
BCS_1	BOOL	Encendido independiente de las bombas de captación sumergibles. BCS_1	%I0.6
BCS_2	BOOL	Encendido independiente de las bombas de captación sumergibles. /BCS_2	%I0.7
FL_12	BOOL	FLOATLESS RELAY en la posición mínima en el tanque o reactor de aireación	%I1.0
BLW_1	BOOL	Encendido independiente de las bombas de aireación. BLWR_1	%I1.1
BLW_2	BOOL	Encendido independiente de las bombas de aireación. BLWR_2	%I1.2
FL_21	BOOL	FLOATLESS RELAY en la posición mínima en el tanque de sedimentación.	%I1.3
BTS_1	BOOL	Encendido independiente de las bombas de transferencia. BLWR_1	%I1.4

BTS_2	BOOL	Encendido independiente de las bombas de transferencia. BLWR_2	%I1.5
FL_22	BOOL	FLOATLESS RELAY en la posición mínima en el tanque de sedimentación.	%I2.0
B_D	BOOL	Encendido independiente de las bombas dosificadora	%I2.1
GM1	BOOL	Encendido independiente de luz piloto roja de sobrecarga de BCS1	%I2.2
GM2	BOOL	Encendido independiente de luz piloto roja de sobrecarga de BCS2	%I2.3
GM3	BOOL	Encendido independiente de luz piloto roja de sobrecarga de BLWR1	%I2.4
GM4	BOOL	Encendido independiente de luz piloto roja de sobrecarga de BLWR2	%I2.5
GM5	BOOL	Encendido independiente de luz piloto roja de sobrecarga de BTS1	%I2.6
GM6	BOOL	Encendido independiente de luz piloto roja de sobrecarga de BTS2	%I2.7
GM7	BOOL	Encendido independiente de luz piloto roja de sobrecarga de BD	%I3.0
VAL	BOOL	Encendido independiente de la válvula	%I3.1

Nota: Elaboración propia.

Tabla XVI

ASIGNACIÓN DE LAS ENTRADAS ANALÓGICAS

Nomenclatura	Tipo de dato	Descripción	AI
S_T	INT	Entrada analógica de sensor de temperatura	IW12
S_pH	INT	Entrada analógica de sensor de pH.	IW14

Nota: Elaboración propia.

Tabla XVII

ASIGNACIÓN DE LAS SALIDAS

Asignación DQ - PLC			
Nomenclatura	Tipo de dato	Descripción	DQ
K1	BOOL	Salidas para las bombas captación sumergibles BCS_1 /BCS_2	%Q0.0
K2	BOOL		%Q0.1
K3	BOOL	Salida para las bombas de aireación BLWR_1 / BLWR_2	%Q0.2
K4	BOOL		%Q0.3
K5	BOOL	Salida para las bombas transferencia sumergibles BTS_1 /BTS_2	%Q0.4
K6	BOOL		%Q0.5
RL	BOOL	Salida de la bomba dosificadora de cloro BD.	%Q0.6
ON	BOOL	Salida de luz piloto verde de encendido	%Q0.7
AUTO	BOOL	Salida de luz verde de encendido de la modalidad automática	%Q1.0
MAN	BOOL	Salida de luz verde de encendido de la modalidad manual	%Q1.1
LP_R_1	BOOL	Salidas de luz piloto roja para las bombas captación sumergibles BCS_1 /BCS_2	%Q2.0
LP_R_2	BOOL		%Q2.1
LP_R_3	BOOL	Salida de luz piloto roja para las bombas de aireación BLWR_1 / BLWR_2	%Q2.2
LP_R_4	BOOL		%Q2.3
LP_R_5	BOOL	Salida de luz piloto roja para las bombas transferencia sumergibles BTS_1 /BTS_2	%Q2.4
LP_R_6	BOOL		%Q2.5
LP_R_7	BOOL	Salida de luz piloto roja de la bomba dosificadora de cloro BD.	%Q2.6
VL	BOOL	Activación de válvula	%Q2.7

Nota: Elaboración propia.

En la Figura 52, se muestra una representación de la conexión de las diferentes entradas y salidas. Siguiendo las asignaciones detalladas en las tablas de entradas y salidas, se debe conectar cada dispositivo externo a su correspondiente dirección. Las entradas digitales, como los sensores y relés, se conectan a las direcciones indicadas en la Tabla XVI, asegurando que cada señal de entrada se asigne correctamente a su función en el sistema. De manera similar, las salidas digitales, como las bombas, se conectan a las direcciones especificadas en la Tabla XVII.

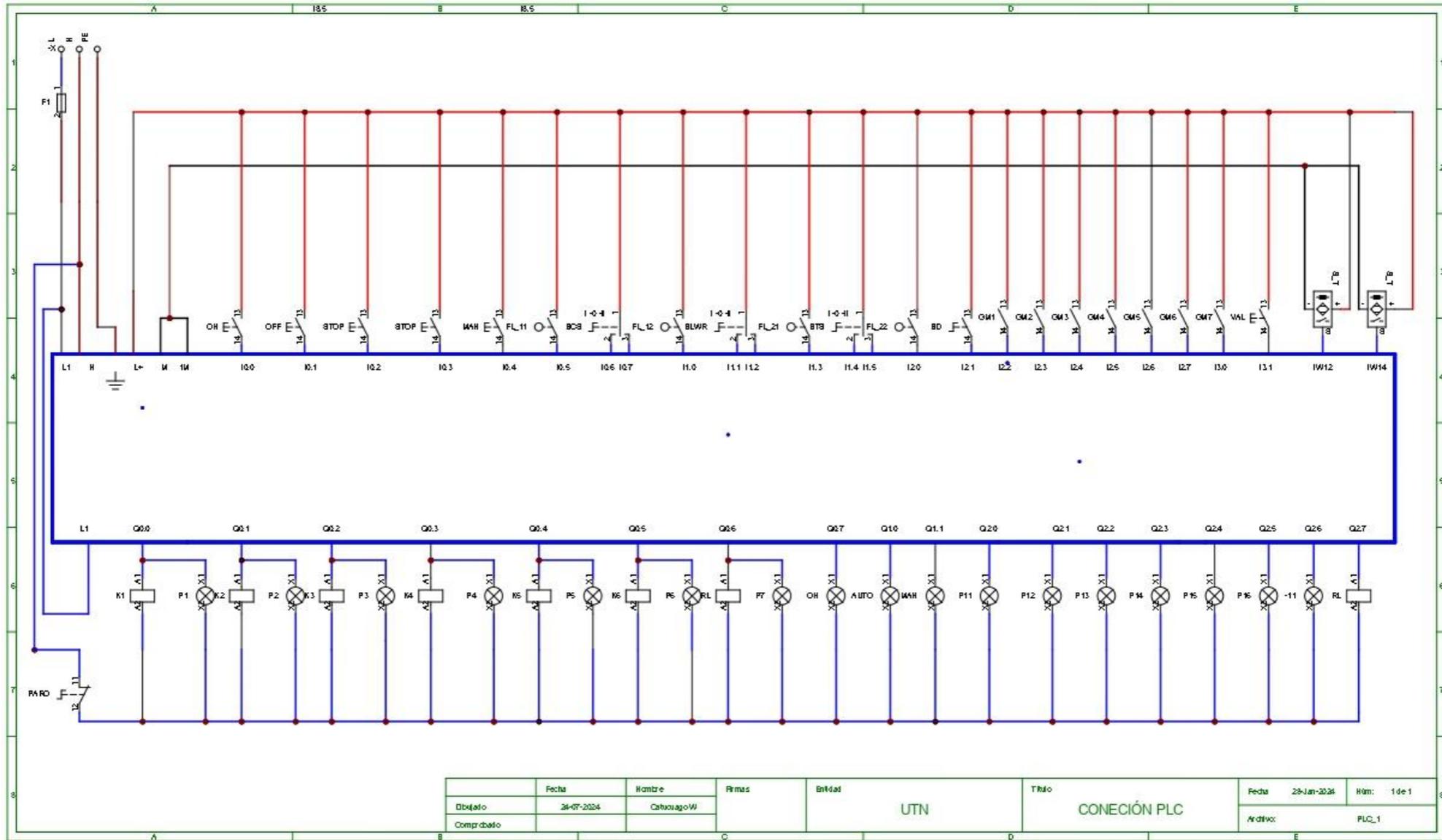


Fig. 52 Diagrama de conexión de entradas y salidas físicas.

5.7 Diseño de Control y Monitoreo Digital

Con el uso del software Siemens TIA Portal permite crear soluciones integrales y eficientes para sistemas industriales. Gracias a su interfaz flexible y potentes herramientas de programación, TIA Portal facilita la implementación de lógica de control avanzada mediante programación en escalera (Ladder) y otras representaciones gráficas.

Además, la plataforma ofrece la posibilidad de diseñar interfaces Hombre-Máquina (HMI) personalizadas, lo que optimiza la supervisión y gestión de procesos en tiempo real. Esta combinación de capacidades permite un control preciso y una visualización clara de los datos operativos, mejorando significativamente la toma de decisiones y la eficiencia en la automatización industrial son aspectos esenciales.

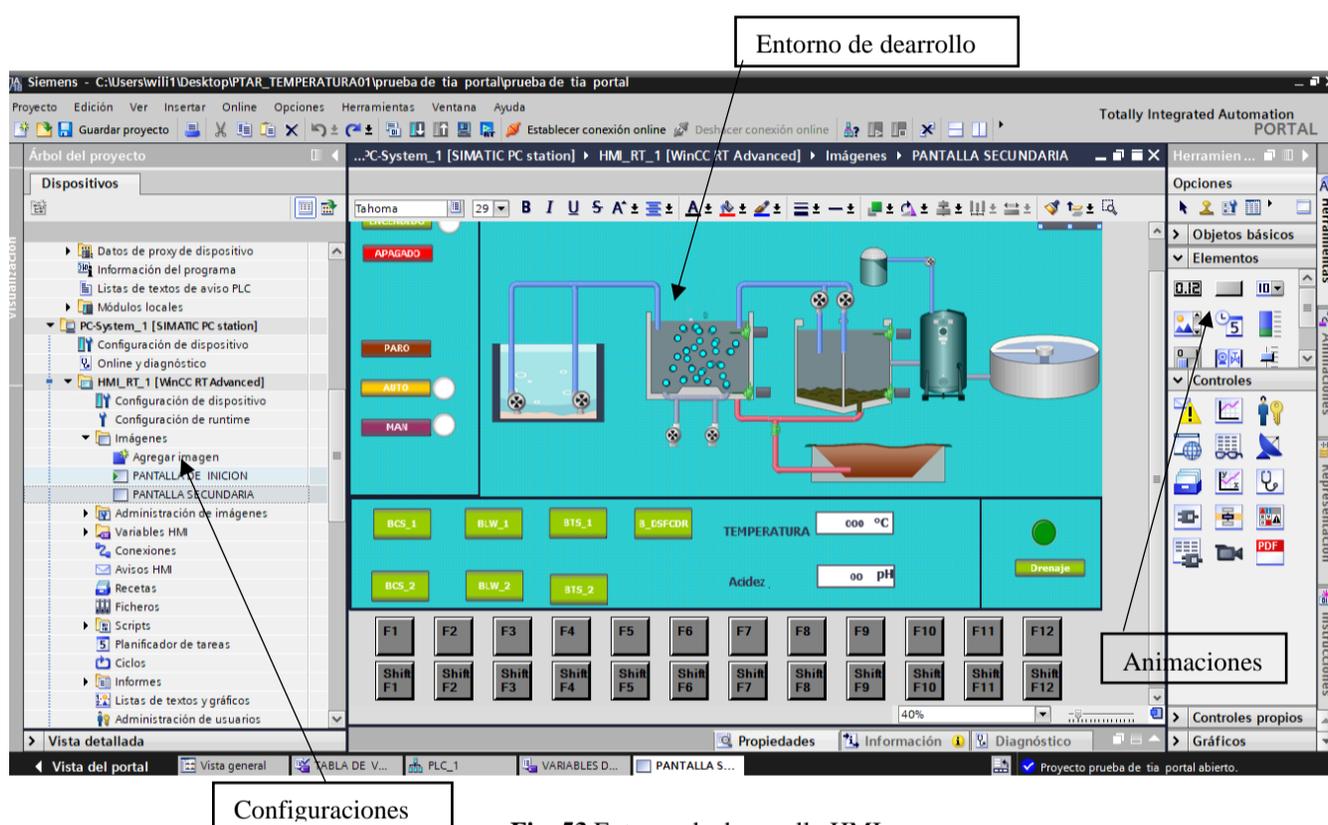


Fig. 53 Entorno de desarrollo HMI

5.7.1 Programación de pantalla HMI en Siemens TIA Portal

Se ha desarrollado una pantalla HMI que facilita la interacción remota con la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), eliminando la necesidad de aproximarse físicamente a los pulsadores o selectores del panel de control. Esta interfaz de usuario remota se ha implementado mediante una pantalla TFT de 7 pulgadas con una resolución de 800 x 480 píxeles y una capacidad de visualización de 64 mil colores. Esta pantalla ofrece opciones de manipulación táctil. Además, cuenta con conectividad PROFINET y un puerto USB, lo que permite realizar las mismas acciones que podrían ejecutarse directamente desde el panel de control físico. Esta solución proporciona una experiencia de control remoto intuitiva y eficaz, mejorando la accesibilidad y la operatividad del sistema de tratamiento de aguas residuales.

5.7.1.1 Análisis de funcionamiento de la pantalla HMI 1

En la Figura 54 se da conocer una representación de la interfaz HMI donde se puede controlar toda la operación de funcionamiento de las 4 bombas de succión, las 2 blowers (Sopladores), y la bomba de dosificadora, así como sus respectivos indicadores como luces pilotos de encendido que se asignaron a cada variable de salidas Q.

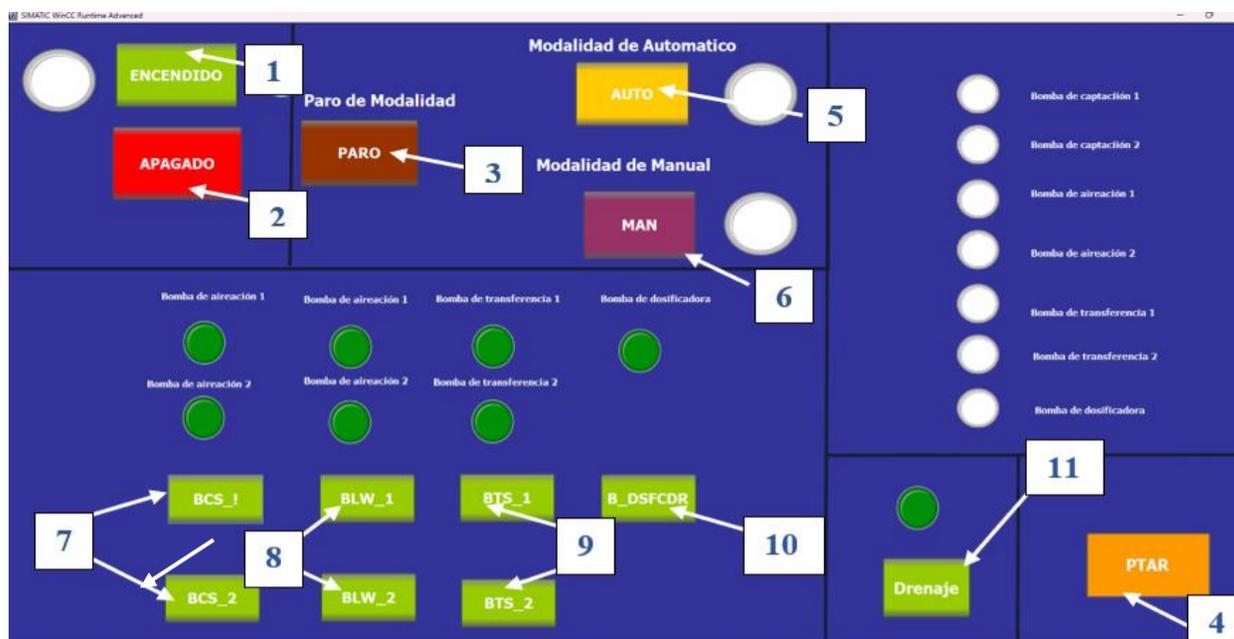


Fig. 54 Pantalla 1 HMI

Nota: Elaboración propia.

- **Botón (1) Encendido:** Este botón se encarga de encender toda la funcionalidad lógica dentro del programación Ladder que está cargada en el PLC.
- **Botón (2) de apagado:** Este botón se encarga de apagar toda la funcionalidad lógica dentro del programación Ladder que está cargada en el PLC.
- **Botón (3) Paro de proceso “STOP”:** Este botón se dedica a restablecer las dos modalidades distintas: Automático y Manual.
- **Botón (4) Proceso PTAR (Proceso):** Este botón permite el transporte de la pantalla principal hacia una pantalla secundaria, donde se nos muestra la simulación de funcionamiento.
- **Botón (5) Modalidad automático (AUTO):** Este botón activa todo el proceso de manera manual sin que exista una interacción en la modificación de las diferentes bombas.
- **Botón (6) Modalidad manual (MAN):** Este botón inicia la operación manual, considerando que esta función implica encender manualmente las diversas bombas.
- **Botón (7) Bomba de captación 1 y 2 (BCS_1 / BCS_2):** Estos botones facilitan el encendido de cada una de las bombas ubicadas en el tanque de captación. Su funcionalidad está activa únicamente cuando el sistema se encuentra en modo manual.
- **Botón (8) Bomba de aireación 1 y 2 (BLWR_1 / BLWR_2):** Estos botones facilitan el encendido de las bombas de aireación (blowers) ubicado en el tanque de aireación. Su funcionalidad está activa únicamente cuando el sistema se encuentra en modo manual.
- **Botón (9) Bombas de transferencia (BTS_1 / BTS_2):** Estos botones facilitan el encendido de las bombas de transferencia ubicado en el tanque de aireación. Su funcionalidad está activa únicamente cuando el sistema se encuentra en modo manual.
- **Botón (10) Bomba dosificadora (B_DSFCR):** Este botón facilitan el encendido de la bomba dosificadora que inyecta cloro al tanque de residencia. Su funcionalidad está activa únicamente cuando el sistema se encuentra en modo manual.
- **Botón (11) Drenaje:** Este botón nos ayuda al encendido de la válvula. Su funcionalidad es cuando no estén ninguno proceso en marcha, para el drenaje de los lodos.

5.7.1.2 Análisis de funcionamiento de la pantalla HMI 2

Como se puede mostrar en la Figura 55 da a conocer una representación de cómo se encuentra funcionando las diferentes bombas instaladas, ya sea en sus dos modalidades de funcionamiento.

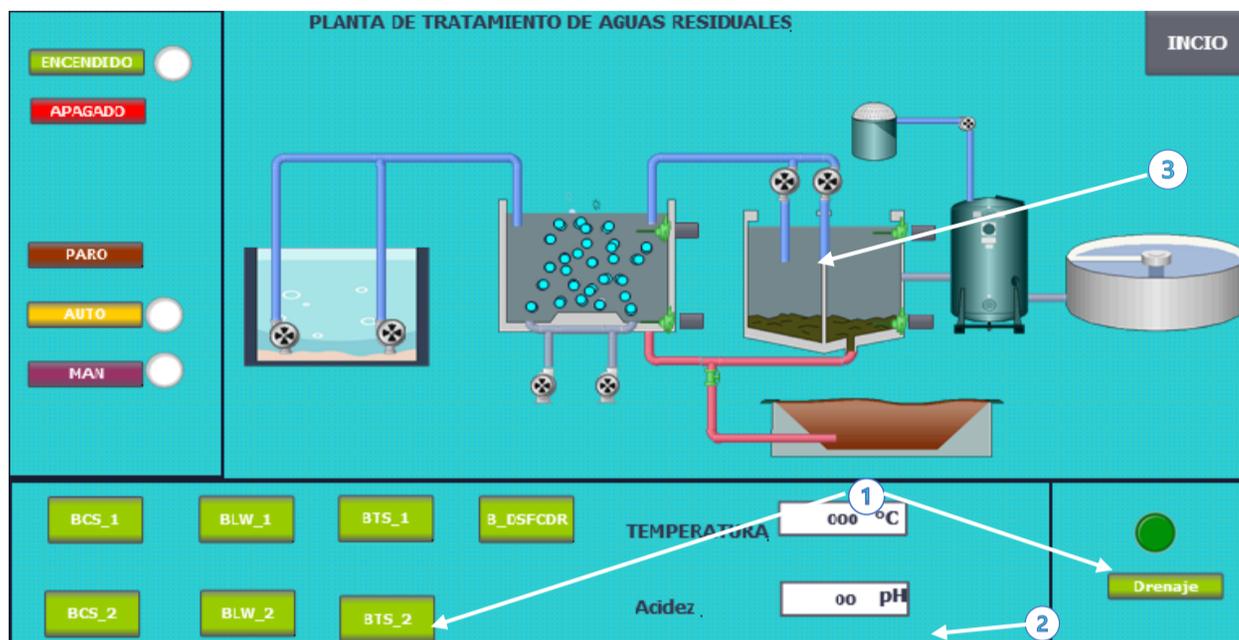


Fig. 55 Pantalla 2 HMI

Nota: Elaboración propia.

- **Sección (1):** Botones para el encendido de las bombas de manera individual en la modalidad manual.
- **Sección (2):** Indicadores de temperatura y pH en el tanque de aireación.
- **Sección (3):** Ilustración del proceso de tratamiento de las aguas.

5.8 Manual de Función

La finalidad de este manual de funcionamiento es dar a conocer al usuario encargado de operar la máquina una guía clara y comprensible, con el fin de evitar complicaciones y lograr una familiarización efectiva con el sistema.

Es fundamental resaltar que la máquina puede ser operada tanto directamente en su ubicación física desde el panel de control como de manera flexible mediante una pantalla HMI ubicada a distancia.

5.8.1 Pantalla HMI

En la Tabla XVIII se detallan los títulos de los botones, junto con sus respectivas funciones y la asignación de variables correspondientes.

Tabla XVIII

BOTONES DE LA PANTALLA HMI

Serie	Título de botón	Función
BT_1	Encendido	Encendido de todo el sistema del PLC
BT_2	Apagado	Apagado de todo el sistema del PLC.
BT_3	STOP	Reinicio de las modalidades automático y manual
BT_4	AUTO	Modo automático
BT_5	MAN	Modo manual
BT_6	BCS_1	Encendido de la bomba de captación 1
BT_7	BCS_2	Encendido de la bomba de captación 2
BT_8	BLW_1	Encendido de la bomba de aireación 1
BT_9	BLW_2	Encendido de la bomba de aireación 2
BT_10	BTS_1	Encendido de la bomba de transferencia 1
BT_11	BTS_2	Encendido de la bomba de transferencia 2
BT_12	B_DSFCR	Encendido de la bomba dosificadora

- Al pulsar BT_1, se activa la totalidad del programa almacenado en el PLC, y esta acción no puede desactivarse al volver a presionar BT_1.
- Al pulsar BT_2, apagar la totalidad del programa almacenado en el PLC. Si se repite esta acción, no se producirá ningún cambio, ya que esta función está diseñada específicamente para interrumpir la acción de BT_1.
- Al pulsar BT_3 esta dependerá de que estén activos los: BT_1, BT_4 y BT_5, ya que la función de BT_3 es reiniciar los encendidos de BT_4 y BT_5.
- Al pulsar BT_4 activa la función de automático la cual depende de BT_1 para su encendido y BT_3 para su reinicio.
- Al pulsar BT_5 activa la función de manual la cual depende de BT_1 para su encendido y BT_3 para su reinicio.
- Al pulsar BT_6 este dependerá de BT_1 para el encendido y BT_5 para su encendido manual.
- Al pulsar BT_7 este dependerá de BT_1 para el encendido y BT_5 para su encendido manual.
- Al pulsar BT_8 este dependerá de BT_1 para el encendido y BT_5 para su encendido manual.
- Al pulsar BT_9 este dependerá de BT_1 para el encendido y BT_5 para su encendido manual.
- Al pulsar BT_10 este dependerá de BT_1 para el encendido y BT_5 para su encendido manual.
- Al pulsar BT_11 este dependerá de BT_1 para el encendido y BT_5 para su encendido manual.
- Al pulsar BT_12 este dependerá de BT_1 para el encendido y BT_5 para su encendido manual.

5.8.2 *Panel de control*

Asimismo, en la Tabla XIX se presta la configuración del panel de control, ya que es similar al sistema a la interfaz hombre maquina (HMI), con la particularidad de que el encendido de las diversas bombas.

Tabla XIX
PANEL FISCO DE CONTROL

Serie	Nombre	Función	Accionador
1	Para de emergencia	Detiene todo el proceso	Pulsador NC
2	Encendido	Encendido de todo el proceso	Pulsador NO
3	Detener	Reinicio de las modalidades automático y manual	Pulsador NO
4	Apagado	Apagado de todo el proceso	Pulsador NO
5	BCS1-BCS2	Encendido de las bombas de captación	Selector 3 posiciones, 2NO
6	BLW1-BLW2	Encendido de las bombas de aireación	Selector 3 posiciones, 2NO
7	BOM-DF	Encendido de bomba dosificadora	Selector 2 posiciones, 2NO
8	BTS1-BTS2	Encendido de las bombas de transferencia	Selector 3 posiciones, 2NO
9	LP-Verde	Luces piloto para el encendido de cada bomba	Luz piloto verde
10	LP-Roja	Luces para el encendido en la falla de cada bomba	Luz piloto roja
11	AUTO	Modalidad automática	Pulsador NO
12	MAN	Modalidad manual	Pulsador NO

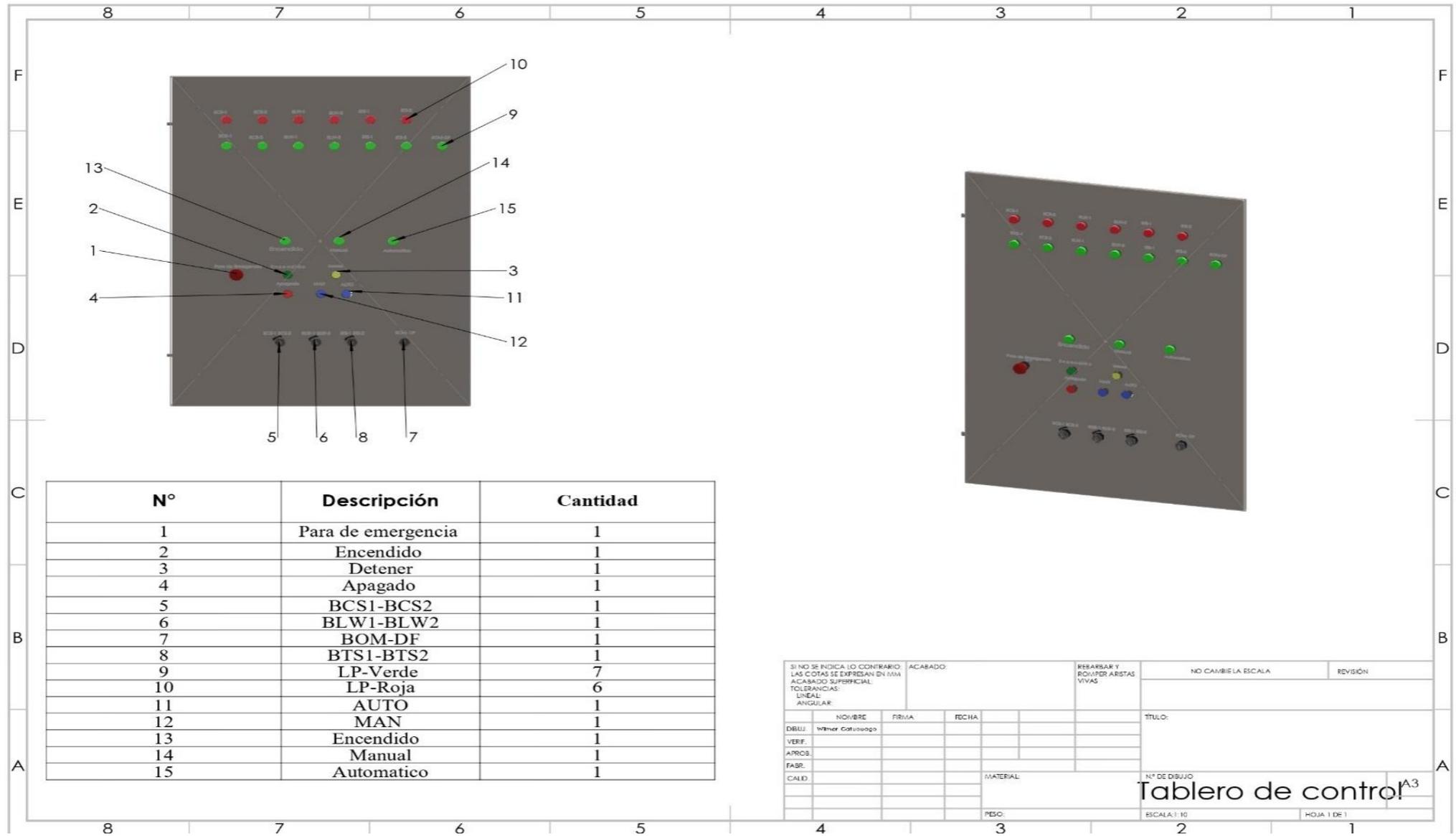


Fig. 56 Puerta de gabinete

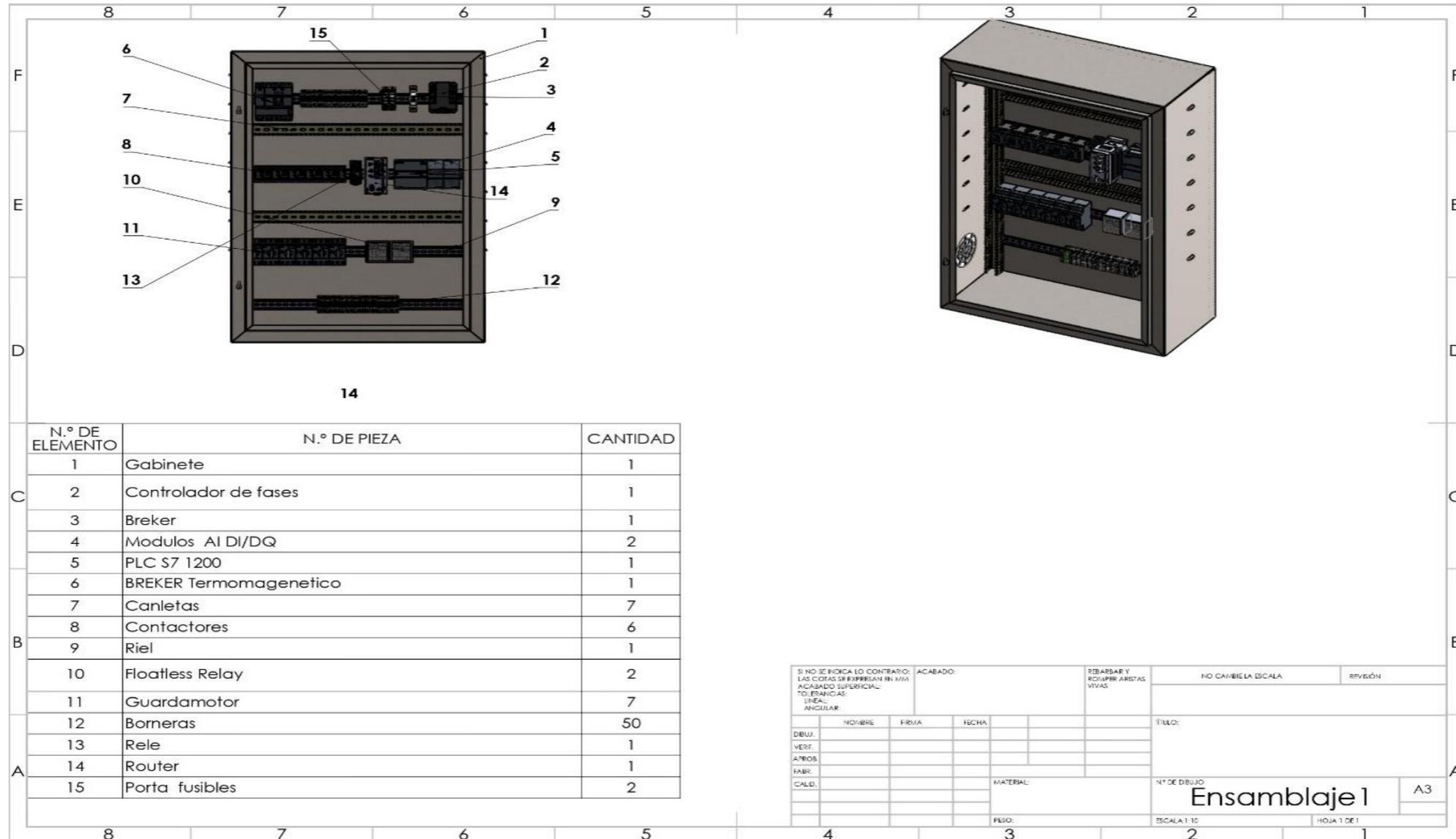


Fig. 57 Gabinete con sus respectivos componentes

5.9 Elementos para el Sistema de Monitoreo

Los requisitos del proyecto PTAR deben especificarse, un proceso que incluyó la identificación detallada de los componentes esenciales necesarios para la implementación del sistema renovado. La Tabla XX y Tabla XX1 a continuación contiene una descripción detallada de cada uno de estos elementos.

Tabla XX
REQUERIMIENTOS PARA EL PANEL DE CONTROL

Cantidad	Descripción
5	Pulsador NO
1	Pulsador con enclavamiento NO
3	Selector 3 posiciones 2NO
6	Contactores
6	Guardadores
1	Breakers termomagnéticos de caja moldeada 3VT1
1	PLC S7 - 1200
1	Módulo de excepción de señales digitales
2	Porta fusibles
2	Fusibles
1	Breaker
1	Controlador de fases
1	Relé
2	Floatless Relay
1	Interruptor ojo de cangrejo
7	Luces pilotos color verde
7	Luces piloto color rojo
1	Computadora
50 a 70	Borneras
2	Patch cord (Ethernet)
1	Sensor de temperatura
1	Sensor de pH
10 m	Rieldin
30m	Cable sucre #12 (AWG) de diferentes colores
100 m	Cable flexible TFF # 18 (AWG)

En general, la Tabla XXI presenta una variedad de componentes críticos para el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales, detallando información técnica importante como potencia, caudal y características eléctricas. Este análisis permite evaluar la capacidad y eficiencia de cada equipo en el contexto del proyecto PTAR.

Tabla XXI
CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS

N° de pieza	Modelo	Nombre	Cantidad	HP	Voltaje (V)	Amp	Tipo de motor	Feet of head	Caudal (Q)
B-01	16S-CIM	Bombas de captación sumergible	2	1	230 V	11.0 A	Monofásico	180	160gal/min 36 m ³ /h
B-02	10SN-CIA-RF	Bombas de transferencia a sumergibles	2	½	115 V	9.5 A	Monofásico	90	120 gal/min 27 m ³ /h
BW-01	SCL KO5-MS	Blower aireador	2	4	230 V	6.1 A	Monofásico	---	---
BD-01	DMB 3,0-10	Bomba dosificada Grundfos	1		115 V	11.0 A	Monofásico	---	---

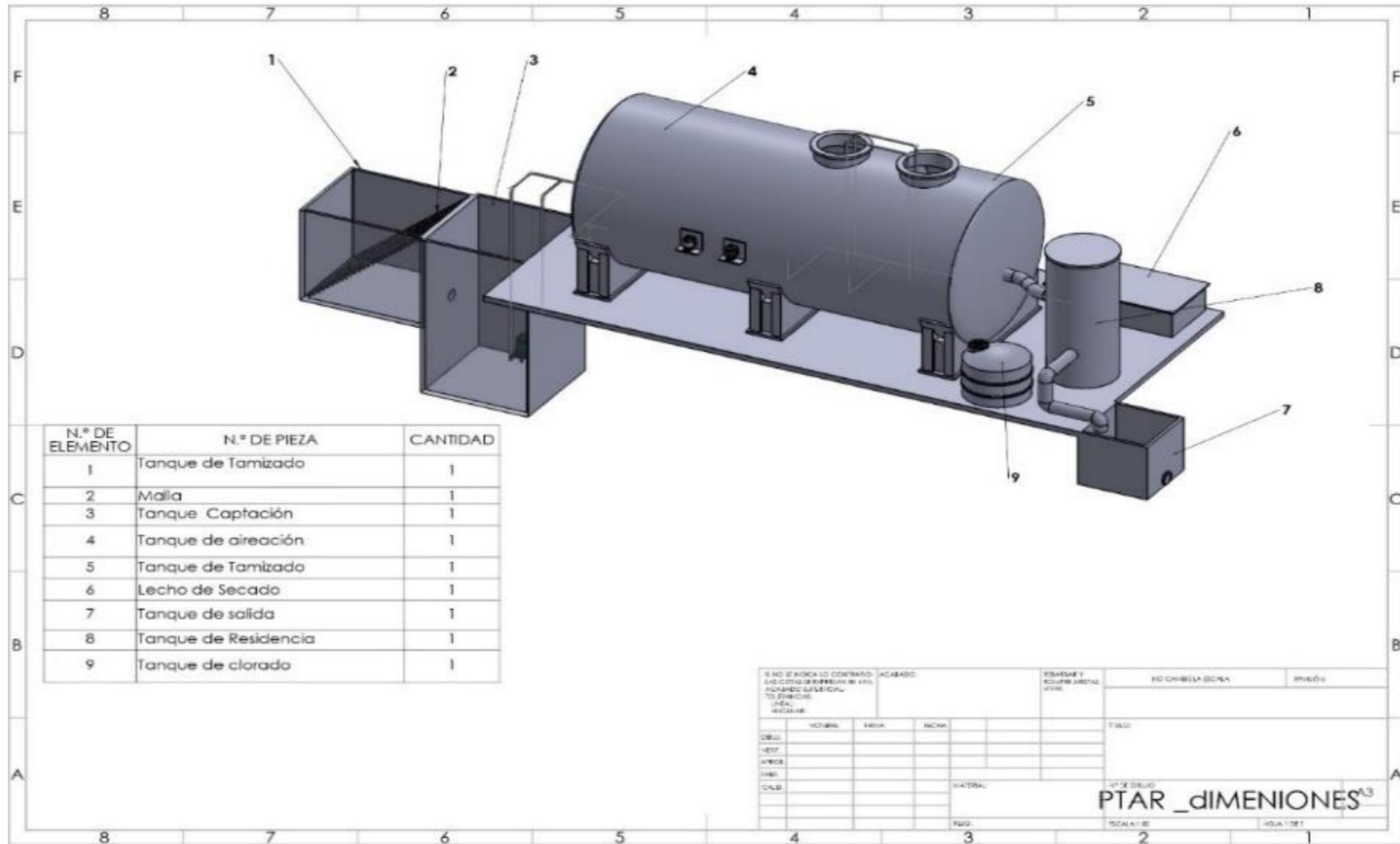


Fig. 59 Diseño de la planta de tratamiento

5.12 Costo de Desarrollo y Materiales

Para el desarrollo de este proyecto se ha estimado el costo tanto del desarrollo del programa como de los materiales necesarios para su funcionamiento.

Tabla XXII

COSTO DE DESARROLLO DL PROGRAMA

Desarrollo del programa Ladder				
Descripción	Horas de desarrollo	Días	Tarifa	TOTAL
Costo de desarrollo	3	30	\$ 10.00	\$ 900.00
Descripción	Software versiones de prueba gratuita	Hardware (laptop)	TOTAL	
Costo de herramientas y software	\$ 0	\$ 0	\$ 0	
Descripción	Consumo anual de hogar	% de consumo	TOTAL	
Costos indirectos (Energía eléctrica)	\$ 25.00	20 %	\$ 5.00	
COSTO TOTAL DEL PROGRAMA				\$ 905.00

El costo de desarrollo del programa asciende a \$ 905.00 Este incluye 3 horas de desarrollo diario durante 30 días, a una tarifa de \$10 por hora, sumando un total de \$900.00 Además, se han considerado los costos indirectos, como el consumo anual de energía eléctrica, estimado en \$25 con un 20% del consumo total, resultando en \$ 5.00 No se han incurrido en costos adicionales por herramientas o software, dado que se utilizó software de prueba gratuita y hardware existente (laptop). En total, el costo del programa Ladder se estima en \$ 905.00 lo que abarca todos los recursos y fases del proyecto.

Tabla XXIII

COSTO DE MATERIALES

Materiales				
Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Pulsador NO	Unidad	6	\$ 5.00	\$ 30.00
Pulsador con enclavamiento NO	Unidad	1	\$ 5.00	\$ 5.00
Selector 3 posiciones 2NO	Unidad	3	\$ 7.00	\$ 21.00
Contactores -Siemens	Unidad	6	\$ 94.08	\$ 564.48
Guardadores- Siemens	Unidad	6	\$ 40.23	\$ 241.38
Breakers termomagnéticos de caja moldeada 3VT1	Unidad	1	\$ 209.00	\$ 209.00
PLC S7 - 1200 / CPU 1212C DC/DC/DC	Unidad	1	\$ 507.00	\$ 507.00
Módulo de acoplamiento de entradas y salidas digitales SM 1223 DI8/DQ8 x 24V DC	Unidad	2	\$ 228.00	\$ 456.00

Porta fusibles	Unidad	2	\$ 1.90	\$ 3.80
Fusibles	Unidad	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Breaker	Unidad	1	\$ 13.74	\$ 13.74
Controlador de fases	Unidad	1	\$ 179.00	\$ 179.00
Relé	Unidad	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Floatless Relay	Unidad	2	\$ 39.00	\$ 78.00
Luces pilotos color verde	Unidad	7	\$ 6.79	\$ 47.53
Luces piloto color rojo	Unidad	7	\$ 6.79	\$ 47.53
Ventilador	Unidad	1	\$ 10.59	\$ 10.59
Borneras	Unidad	44	\$ 1.40	\$ 61.60
Rieles DIN de aluminio de 2 piezas, 3 m	metros	3	\$ 5.59	\$ 16.77
Cable sucre #12 (AWG) de diferentes colores 10 m	metros	2	\$ 17.00	\$ 34.00
Cable AWG de calibre 10 CCA 30 m	metros	2	\$ 43.00	\$ 86.00
Caja de panel eléctrico (Gabinete)	metros	1	\$ 128.00	\$ 128.00
SUBTOTAL				\$ 2,762.42
15% IVA				\$ 414.36
COSTO DE IMPROVISO DE MATERIALES				\$ 317.68
COSTO TOTAL DE MATEIALES				\$ 3,494.46

La Tabla XXIII detalla el costo unitario por componente necesario para el desarrollo del control y monitoreo de una planta de tratamiento de aguas residuales, la tabla proporciona una visión clara y detallada del presupuesto de materiales, asegurando una planificación financiera efectiva para el proyecto.

Tabla XXIV

COSTO DE DESARROLLO Y MATERIALES

Costo Total	
Costo de Materiales	\$ 3,494.46
Costo de desarrollo	\$ 905.00
COSTO TOTAL	\$ 4,399.46

En la Tabla XXIV proporcionan una visión de un estimado para el desarrollo y ejecución del proyecto de control y monitoreo de la planta de tratamiento de aguas residuales.

CONCLUSIONES

- Se diagnóstico el funcionamiento la planta de tratamiento de aguas residuales, que ha permitido identificar el proceso principal de funcionamiento que es por lodos activados en una serie de tanques interconectados que tiene una la capacidad de 40 m³/ día. Así como que la capacidad aumenta en las fechas lluviosas con unos 24,21m³/día.
- Se caracterizo los parámetros de funcionamiento del proceso de purificación de aguas residuales se entiende que funcionan por el proceso de lodos activados donde bacterias aeróbicas se adhieren a la materia orgánica para descomponerla las cuales estas necesitan ser suministradas de oxígeno, así como que estas bacterias se encuentran a una temperatura de 15°C y un pH de 4 estas condiciones no son las adecuadas. Ya que deben tener una temperatura de 20°C a 30°C, así como un pH mayor de 6.5 a 8 que es un intervalo de neutro.
- Se diseño el sistema de monitoreo y control para una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando un entorno totalmente virtual. Este sistema, diseñado y simulado, ha permitido la evaluación de su funcionamiento y desempeño en un escenario controlado. Cabe mencionar, que el sistema no ha sido probado físicamente con equipos reales en un entorno operativo.
- Por lo tanto, a pesar de que el desarrollo se lo hizo virtual ha demostrado la viabilidad conceptual del sistema, así como su capacidad para administrar el monitoreo y el control, su eficacia práctica y precisión en condiciones de operación reales todavía requieren validación mediante pruebas físicas con equipos reales.

RECOMENDACIONES

- La implantación de aislamiento térmico en los tanques y tuberías para minimizar la pérdida de calor, especialmente en climas fríos, así como el monitorear la temperatura continuamente mediante sensores de igual manera esto también abocaría para el nivel del pH.
- Para mejorar el funcionamiento de la planta de tratamiento hay que asegurar que el pH del agua tratada se mantenga dentro del rango óptimo, es crucial identificar las áreas productivas que generan altos niveles de acidez, para ello se debe emplear un registro de las características del agua residual, especialmente los niveles de pH, provenientes de cada área productiva.
- Con el finde de verificar el funcionamiento del sistema es necesario realizar pruebas físicas del sistema de monitoreo y control utilizando equipos reales en condiciones operativas para evaluar el desempeño del sistema en situaciones reales antes de una implementación.
- Realizar un análisis de costos y beneficios para determinar la viabilidad económica de implementar un sistema de monitoreo y control más avanzado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Tecto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente, «Tecto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente,» Quito, Republica del Ecuador Asamblea Nacional, 2017, p. 274.
- [2] Código Organico del Amambiente, «Proyecto del código Organico del Ambiente,» Quito, Republica del Ecuador Asamblea Nacional, 2016, p. 40.
- [3] Texto Unificado de Legislacion Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad Ambiental y de Descarga de efluentes al recurso agua, «Texto Unificado de Legislacion Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad Ambiental y de Descarga de efluentes al recurso agua,» Quito, Republica del Ecuador Asamblea Nacional, 2017, p. 4.
- [4] HLCSISTEMAS, «¿Cómo funciona una planta de aguas residuales?,» CONSTRUCCIÓNINGENIERÍA, 29 octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.hlcsac.com/noticias/como-funcionan-plantas-aguas-residuales/>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [5] A. Noyola , J. Morgan y L. Guereca, Selecccion de Tecnologias para el Tratamiento de Aguas Residuales Municiplaes, Mexico: Universidad Nacioanl Autonoma de Mexico, 2013.
- [6] E. Rodriguez, L. Oria, N. Moraña, D. Rodriguez y C. Gamero, Guía Metodología Para la Elaboración de Análisis Microbiológicos de Fangos Activados, Sevilla: Grupo Bioindicación Sevilla, 1998.
- [7] G. Sele, «Cropaia,» Tratamiento de Aguas Residuales , s.f. [En línea]. Available: <https://croipaia.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales/>. [Último acceso: 13 abril 2024].
- [8] A. Fernandez, P. Garcia, R. Garcia , M. Valiño, S. Fernández y J. García, «Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales,» Universidad de Alcalá, s.f, p. 31.
- [9] L. Acosta y O. Abreu, «La Digestión Anaerobia Aspectos teoricos.,» Habana, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Cuba, 2005, p. 3.
- [10] F. Blumaensaat y J. Keller, «Digestión Anaeróbica IWA No. 1 (ADM1),» Sciencedirect, 1 enero 2005. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.07.024>. [Último acceso: 2024 julio 30].
- [11] A. MARTÍNEZ, «EVALUACIÓN DEL DIGESTOR AEROBIO EN LA PLANTA DE,» Mexico, UNIVERSIDAD NACIONAL, 2022, p. 19.

- [12] E. Arriols, «Qué son las aguas residuales y cómo se clasifican,» 14 junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [13] M. Zapata, L. Topón y E. Tipán, «Fundamentos de Automatización y Redes Industriales,» Quito, Universidad Tecnológica Indoamérica, 2021, p. 16.
- [14] R. Sanchis, J. A. Romero y C. Ariño, «Automatización Industriales,» Valencia, : Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions, 2021, p. 6.
- [15] A. Villegas, I. Herrera, G. Gómez, J. Rodríguez, E. Lugo y J. Pacheco, «Aplicación para el monitoreo y control de procesos industriales basada en el estándar de comunicaciones OPC,» Carabobo, Universidad de Carabobo, 2018, p. 8.
- [16] R. Hurtado, «Introducción a los sistemas de control: Conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB,» México, Pearson Educación de México, S.A., 2010, p. 2.
- [17] blogspot, «Amplificación de señales en los sistemas de control. Introducción,» s.f. [En línea]. Available: <https://inevid.blogspot.com/2013/01/Amplificacion-de-senales-en-los-sistemas-de-control-Introduccion.html>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [18] M. Perez, A. Perez y E. Perez, «Introducción a los Sistemas de Control y Modelo Matemático para Sistemas Lineales Invariantes en el Tiempo,» Universidad Nacional de San Juan, 2010, p. 11.
- [19] M. Perez, A. Perez y E. Perez, «Introducción a los Sistemas de Control y Modelo Matemático para Sistemas Lineales Invariantes en el Tiempo,» Universidad Nacional de San Juan, 2010, p. 11.
- [20] M. Perez, A. Perez y E. Perez, «Introducción a los Sistemas de Control y Modelo Matemático para Sistemas Lineales Invariantes en el Tiempo,» Universidad Nacional de San Juan, 2010, p. 10.
- [21] M. Perez, A. Perez y E. Perez, «Introducción a los Sistemas de Control y Modelo Matemático para Sistemas Lineales Invariantes en el Tiempo,» Sistema de control de lazos abiertos, 2010, p. 11.
- [22] D. Ordóñez, «Electro Técnica: Controladores Lógicos Programables PLC V1.0,» Academia Española, 2022, p. 10.
- [23] Lab.Electronic, «Lab.Electronic,» 21 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://labelectronic.com/plcs/>. [Último acceso: 30 julio 2024].
- [24] Siemens, «mall.industry.siemens.com,» Siemens, s.f. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ca/Catalog/Products/10046659>. [Último acceso: 14 mayo 2024].

- [25] Siemens, «mall.industry.siemens.com,» Siemens, s.f. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ca/Catalog/Products/10045683>. [Último acceso: 14 mayo 24].
- [26] R. Ramírez, A. Hernández, D. Aguilar y J. Pérez, «Sensores y tipos de sensores,» *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, vol. 11, n° 21, p. 1, 2024.
- [27] RSPRO, «docs.rs-online,» S.F. [En línea]. Available: <https://docs.rs-online.com/025e/A700000007389460.pdf>. [Último acceso: 30 julio 2024].
- [28] U. HERNANDEZ , «Academia,» s.f. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/27744613/PROGRAMACION_LADDER_PLC_BASICA_Descripcion_del_lenguaje_ladder. [Último acceso: 14 abril 2024].
- [29] Enerxia, «Enerxia.net,» s.f. [En línea]. Available: <https://www.enerxia.net/portal/index.php/i-auto/951-automatismos-diagrama-de-escalera-de-contactos-o-ladder-ld>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [30] M. Riquelme, «Webyempresas,» 6 noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.webyempresas.com/ejemplos-de-diagramas-de-bloques/>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [31] I.electricianExp, «I.electricianExp,» Lenguaje de diagrama de bloques funcional (FBD) y su aplicación, s.f. [En línea]. Available: <https://i.electricianexp.com/es/main/automation/1320-yazyk-funkcionalnyh-blokovyh-diagramm-fbd-i-ego-primenenie.html>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [32] M. Zapata, L. Topón y E. Tipán, *Fundamentos de Automatización y Redes Industriales*, Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica, 2021.
- [33] M. Zapata, L. Topón y E. Tipán, «Fundamentos de Automatización y Redes Industriales,» Quito, Universidad Tecnológica Indoamérica, 2021, p. 76.
- [34] E. Pérez, *Los sistemas SCADA en la automatización industrial*, Universidad de Costa Rica, 2015, p. 5.
- [35] Sicma21, «Sicma21,» SCADA: qué es y cómo funciona, 28 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.sicma21.com/scada-que-es-y-como-funciona/>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [36] Autmix, «¿Qué es un sistema SCADA? Adéntrate a esta herramienta de monitoreo y control industrial,» *Arquitectura del sistema de administración de energía*, 17 diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://etap.com/es/product/real-time-system-architecture>. [Último acceso: 12 abril 2024].

- [37] Curso aula 21, «Curso aula 21,» Qué es un HMI: para qué sirve la Interfaz Humano-Máquina, s.f. [En línea]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-hmi/>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [38] Wit Automatizacion, «Witautomatizacion,» Pantallas HMI. Interfaz Hombre-Máquina, s.f. [En línea]. Available: <https://witautomatizacion.es/pantallas-hmi-interfaz-hombre-maquina/>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [39] Info PLC, «InfoPLC,» ¿Qué es TIA Portal de Siemens?, 13 mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.infoplac.net/descargas/107-siemens/software-step7-tiaportal/tiaportal/3459-que-es-tia-portal-siemens>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [40] Curso aula 21, «cursoaula21,» TIA Portal: ¿Qué es y para qué sirve?, s.f. [En línea]. Available: <https://www.cursosaula21.com/tia-portal/>. [Último acceso: 12 abril 2024].
- [41] Impulso-06, «Impulso-06,» Qué es Tía Portal y porque es tan importante en la industria?, s.f. [En línea]. Available: <https://impulso06.com/que-es-tia-portal-y-porque-es-tan-importante-en-la-industria/#:~:text=es%20Tía%20Portal%3F-,Tía%20Portal%20es%20un%20software%20de%20automatización%20industrial%20desarrollado%20por,automatizados%20en%20un%20solo%20entorno..> [Último acceso: 12 abril 2024].
- [42] M. Zapata, . L. Topón y E. Tipán, «Fundamentos de Automatización y Redes Industriales,» Quito, Universidad Tecnológica Indoamérica., 2021, p. 46.
- [43] J. Aguagallo, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA UNIDAD ARITMÉTICA LÓGICA CON COMPUERTAS LÓGICAS Y MULTIPLEXORES,» Machala, Universidad Tecnica de Machala, 2017, p. 13.
- [44] TECNOELITE, «Tecnoelite.co,» s.f. [En línea]. Available: <https://tecnoelite.co/compuertas-logicas-sus-usos-ejemplos/>. [Último acceso: 30 julio 2024].
- [45] Gob.ec, «Gob.ec,» Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 31 abril 2003. [En línea]. Available: <https://www.gob.ec/regulaciones/texto-unificado-legislacion-secundaria-medio-ambiente>. [Último acceso: 3 mayo 2024].
- [46] Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente, «TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO,» Quito, Ministerio del ambiente del Ecuador, 2017, p. 15.
- [47] A. D. Sandoya, . L. Chica, G. R. Ordoñez y J. L. Arias, «Norma Ecuatoriana de la Construcción,» Quito, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2018, p. 1.
- [48] . F. M. Martín, Autómatas Programables:, International Electrotechnical Commission, 2006.

- [49] Gobierno Nacional de la Republica del Ecuador, «Ministerio de Industrias y Productividad,» Quito, Republica del Ecuador , 2015, pp. 2-7.
- [50] C. Ortega, «QuestionPro,» ¿Qué es la investigación documental? , s.f. [En línea]. Available: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-documental/>. [Último acceso: 3 mayo 2024].
- [51] QuestionPro, «QuestionPro,» Invetigación de Campo, s.f. [En línea]. Available: <https://www.questionpro.com/es/investigacion-de-campo.html>. [Último acceso: 3 mayo 2024].
- [52] Terrafertil S.A., *Presentacion de Inducción*, Tabacundo : Terrafertil S,A,, 2018.
- [53] Google Maps, 2024. [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps/@0.0856363,-78.1792219,13.19z>. [Último acceso: abril 13 2023].
- [54] H. Ñaupas , «Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis,» Bogota, Ediciones de la U, 2018, p. 113.
- [55] Sicma, «sicma21.com,» 8 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.sicma21.com/scada-que-es-y-como-funciona/>.
- [56] Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente, «TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO,» Quito, Ministerio del ambiente del Ecuador, 2017, p. 16.

ANEXOS

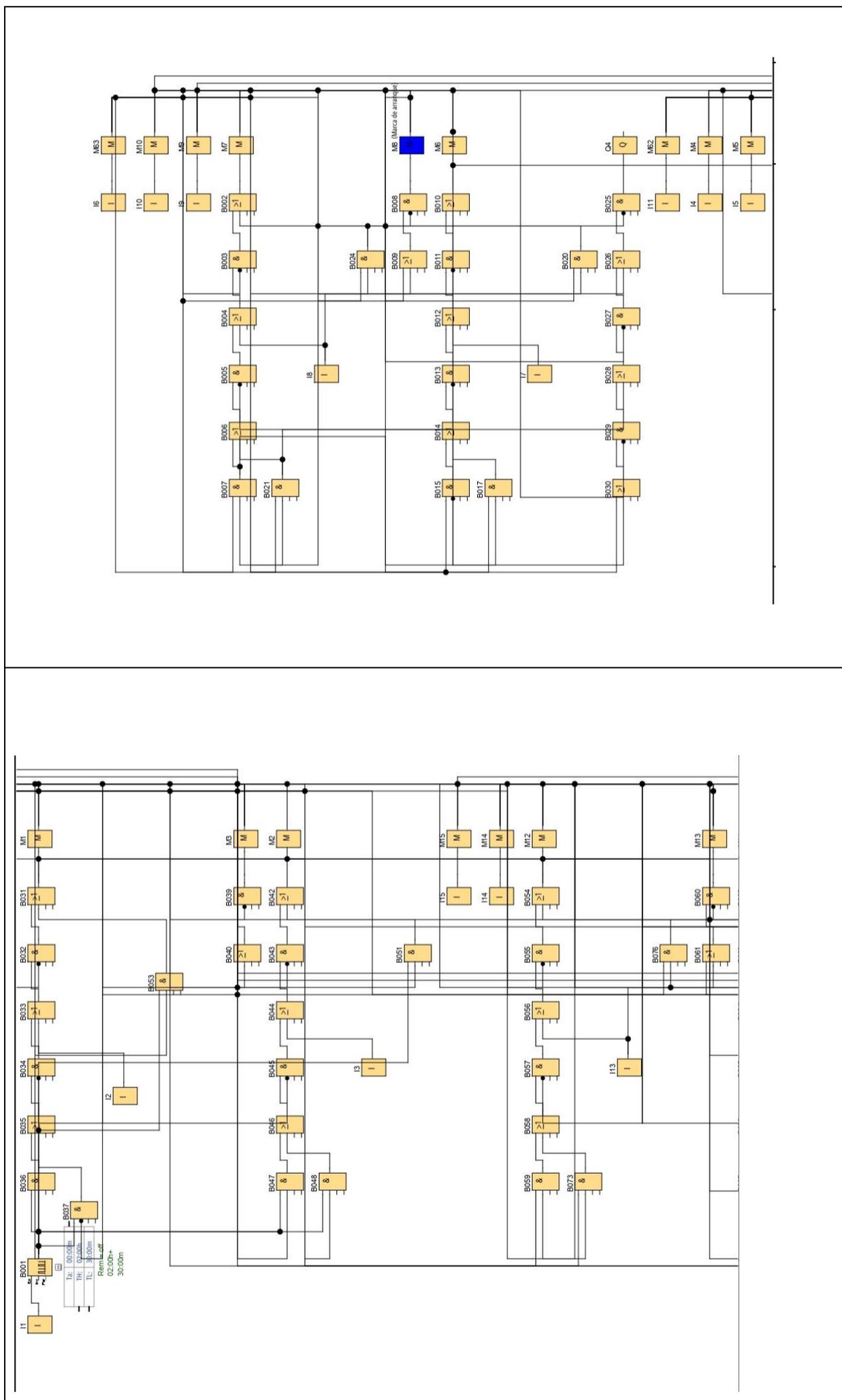
Anexo 1 Tabla de muestras de niveles de pH

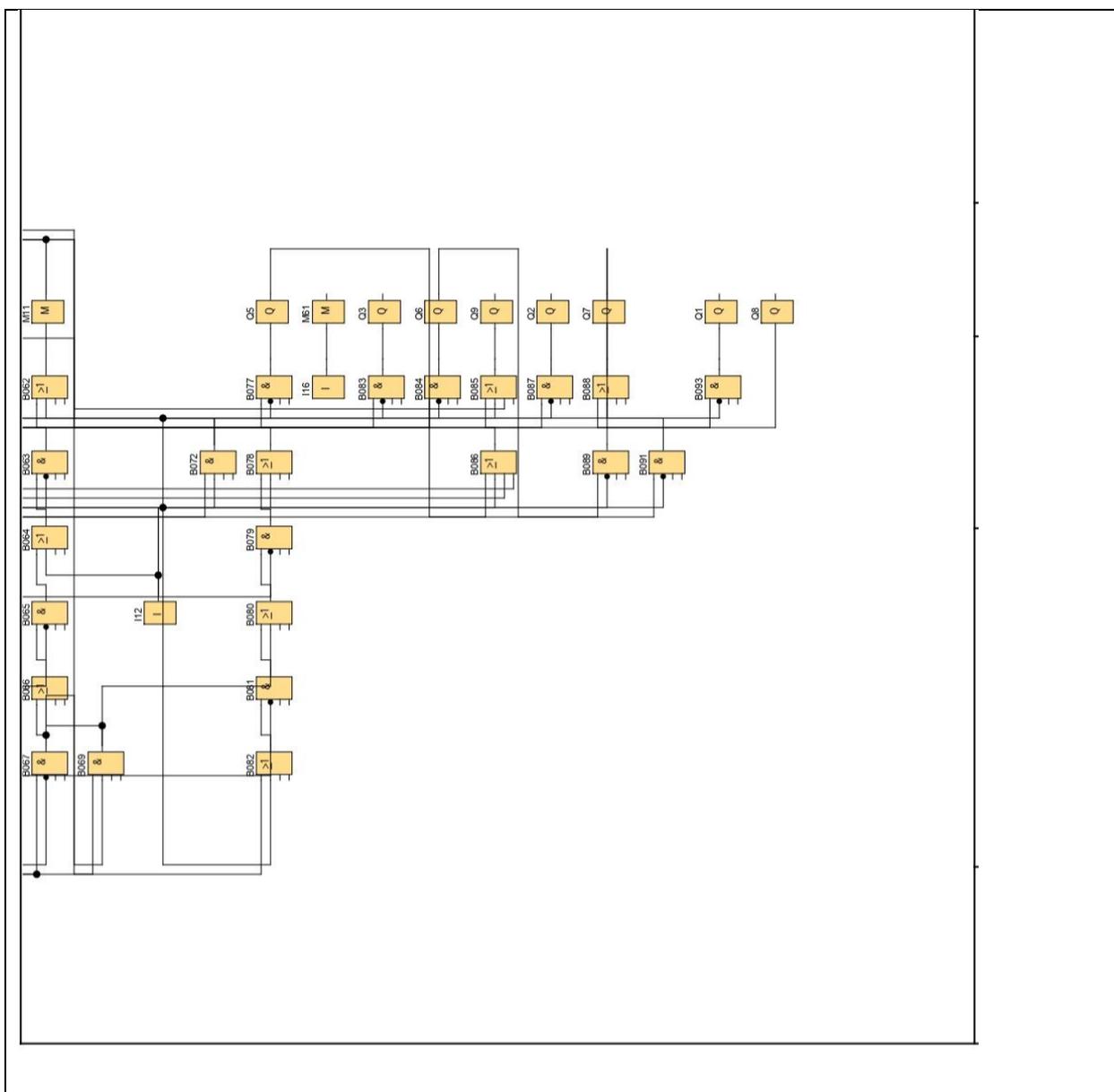
Puntos de muestreo		Tanque de captación							Caja de revisión (P3)						
Horario		08H:00 - 8H:30		12H:40 - 13H:00		15H:40 - 16H:00		Promedio	08H:00 - 8H:30		12H:40 - 13H:00		15H:40 - 16H:00		Promedio
Semana 1		pH	°C	pH	°C	pH	°C	pH	pH	°C	pH	°C	pH	°C	pH
Lunes	15/08/2022	6.6	14.1	6	14.4	7.3	17.8	6.87	8.7	14.3	7.5	16.4	7.9	17	8.03
Martes	16/08/2022	7.5	14.5	7.2	16.4	6.9	17.5	7.2	8.1	14.5	5.5	16.4	7.1	17.5	6.9
Miércoles	17/08/2022	5	12.4	5	17.5	5.4	19	5.67	6.5	13	5.7	17.5	7.2	17.8	6.47
Jueves	18/08/2022	5.1	13.3	5	18	4.8	19.3	4.97	7.8	22.6	6	18.2	6.7	18	6.83
Viernes	19/08/2022	4.8	12.7	4.8	16.2	4.7	17.2	4.77	7.5	14.2	5.3	15.4	7.3	17	6.7
Puntos de muestreo		Tanque de captación							Caja de revisión (P3)						
Horario		08H:00 - 8H:30		12H:40 - 13H:00		15H:40 - 16H:00		Promedio	08H:00 - 8H:30		12H:40 - 13H:00		15H:40 - 16H:00		Promedio
Semana 2		pH	°C	pH	°C	pH	°C	pH	pH	°C	pH	°C	pH	°C	pH
Lunes	22/08/2022	4.8	13.8	4.7	16	4.6	16.8	4.7	6.1	13.3	6.5	16.8	6	16.7	6.2
Martes	23/08/2022	4.7	12.7	4.6	17	4.6	17.7	4.63	6.4	12.8	5.8	17.8	6.4	16	6.2
Miércoles	24/08/2022	4.7	12.6	6.4	19	6.6	20.2	5.9	6.6	19	5.7	19.2	6.6	19	6.3
Jueves	25/08/2022	4.6	17.3	3.9	20	4	20	4.17	6.3	17	6.3	19	6.7	15	6.43
Viernes	26/08/2022	3.8	17.3	3.9	22.2	3.9	22.2	3.9	3.8	17.3	4.2	20	6.7	20	4.07
Puntos de muestreo		Tanque de captación							Caja de revisión (P3)						
Horario		08H:00 - 8H:30		12H:40 - 13H:00		15H:40 - 16H:00		Promedio	08H:00 - 8H:30		12H:40 - 13H:00		15H:40 - 16H:00		Promedio
Semana 3		pH	°C	pH	°C	pH	°C	pH	pH	°C	pH	°C	pH	°C	pH
Lunes	15/08/2022	4.1	14.2	4.1	18	4.1	18	4.1	4.3	14	4.7	16	5.7	15.2	4.9
Martes	16/08/2022	4.1	15.2	4.1	18.9	4.1	17	4.1	6	15.3	5.7	18.6	6.5	18.8	6.07
Miércoles	17/08/2022	4.1	14.5	4.1	16	4.1	15.9	4.1	5.4	18.3	5.5	20.1	5.5	15.5	5.47
Jueves	18/08/2022	4.2	15	4.1	18.1	4.1	17.2	4.13	7.2	14	6.3	17.4	5.8	16.3	6.43
Viernes	19/08/2022	4.2	14	4.2	17.5	4.1	18	4.17	5.5	13.3	4.6	17.7	5.5	16	5.2

Anexo 2 Tabla de nivel lluvias

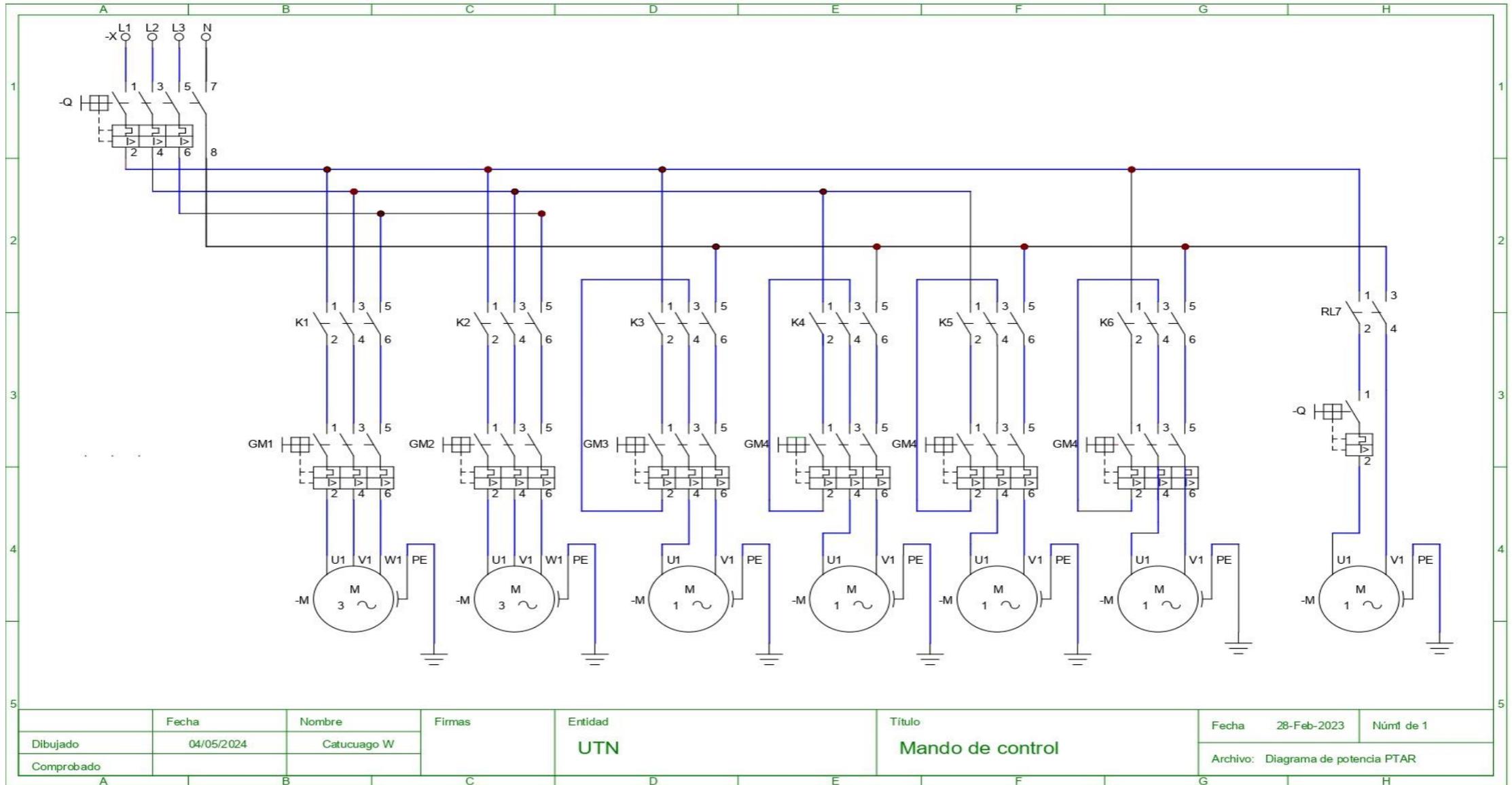
OFICINA AGRICOLA/BODEGA/OFICINA/TALLER MANTENIMIENTO/ SALA DE CALDEROS								
	Lluvia m	DimenSión del área m		m3 por día	m3 por hora			
		Largo	Ancho					
Valor anual 2013	0.0033	13.30	29.00	1.27	0.05			
BODEGA DE USO GENERAL (Área de salsas)								
	Lluvia m	Dimensión del área m2		m3 por día	m3 por hora			
		Largo	Ancho					
Valor anual 2019	0.00	31.30	21.00	2.17	0.11			
	0.00	31.30	5.20	0.54				
TOTAL				2.71				
BODEGA DE MADURACIÓN								
	Lluvia m	Dimensión del área m		m3 por día	m3 por hora			
		Largo	Ancho					
Valor anual 2019	0.00	21.00	20.95	1.45	0.06			
BODEGA DE PRODUCTO TERMNIADO EXPORTACIÓN								
	Lluvia m	Dimensión del área m2		m3 por día	m3 por hora			
		Largo	Ancho					
Valor anual 2019	0.00	19.20	27.60	1.75	0.07			
ÁREA GENERAL DE CALIDAD								
	Lluvia m	Dimensión del área m		m3 por día	m3 por hora			
		Largo	Ancho					
Valor anual 2019	0.00	28.06	24.10	2.23	0.09			
ÁREA DE HORNOS Y OFICINAS DE CALIDAD								
	Lluvia m	Dimensión del área m		m3 por día	m3 por hora			
		Largo	Ancho					
Valor anual 2019	0.00	21.90	24.10	1.74	0.07			
NACIONAL								
	Lluvia m	Dimensión del área m2		m3 por día	m3 por hora			
		Largo	Ancho					
Valor anual 2019	0.00	34.40	71.50	8.12	0.34			
BODEGA DE PRODUCTO TERMNAIDO NACIONAL								
Valor anual 2019	Lluvia m	Dimensión del área m			Semiperímetro	Área m2	m3 por día	m3 por hora
		Largo	Ancho	Hipotenusa				
		0.00	72.26	36.57				
	0.00	72.1	4.87	-	-	175.5635	0.58	0.21
TOTAL							4.94	
TOTAL DE VOLUMEN DE AGUA DE LLUVIA EN m3 EN UNA HORA								
TOTAL				1.01				
TOTAL DE VOLUMEN DE AGUA DE LLUVIA EN m3 EN UNA HORA								
TOTAL				24.21				

Anexo 3 Diagrama de bloques en el Logo

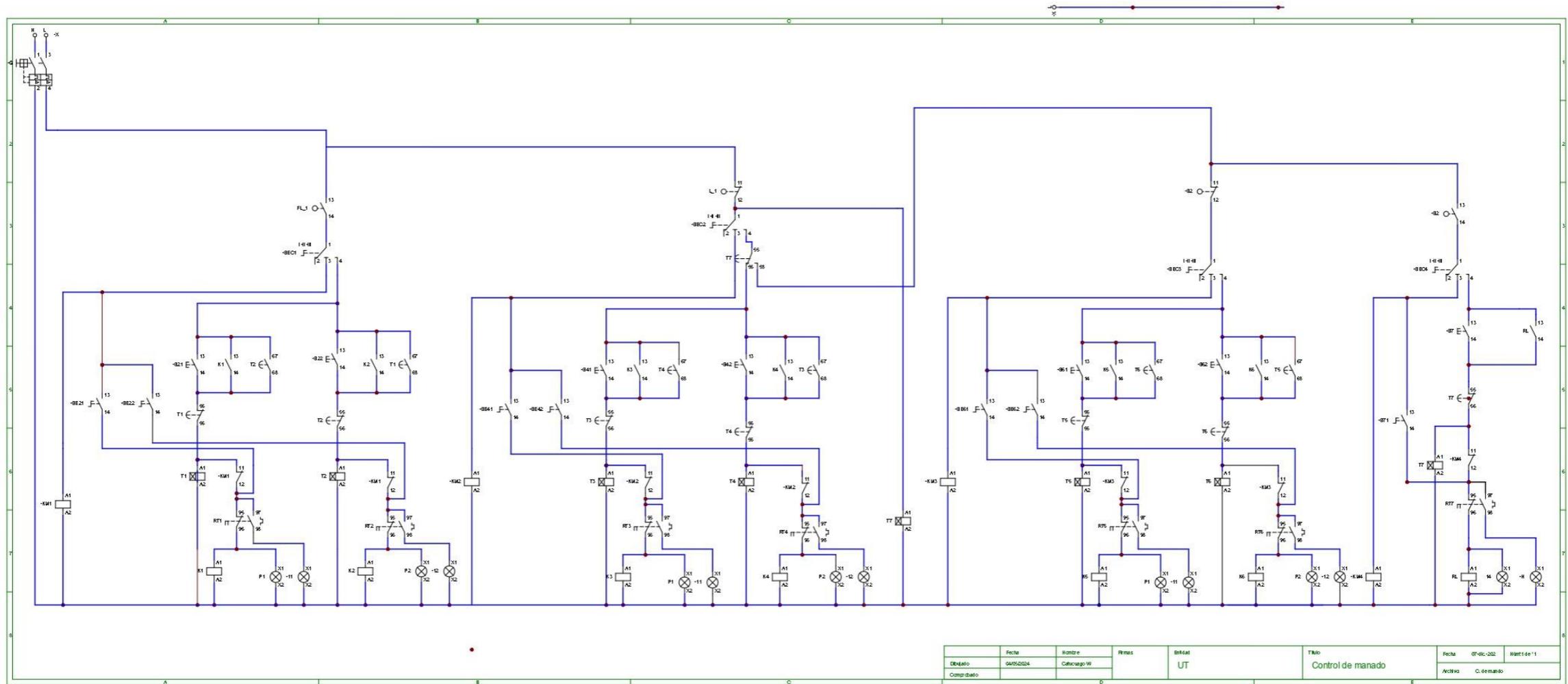




Anexo 4 Diagrama de potencia



Anexo 5 Diagrama de control



Anexo 6 Diagrama Ladder

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Main [OB1]

Main Propiedades					
General					
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB
Numeración	Automático			Idioma	KOP
Información					
Título		Autor		Comentario	
Versión	0.1	ID personalizado		Familia	

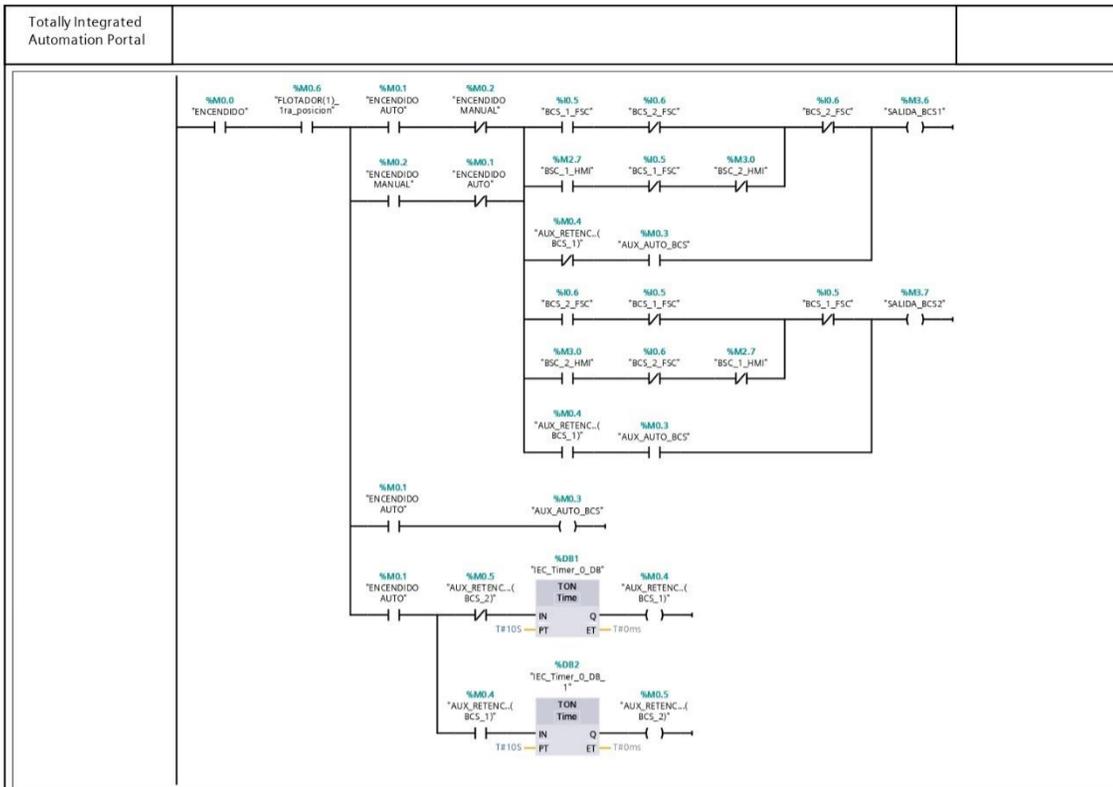
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
▼ Input			
Initial_Call	Bool		
Remanence	Bool		
Temp			
Constant			

Segmento 1:

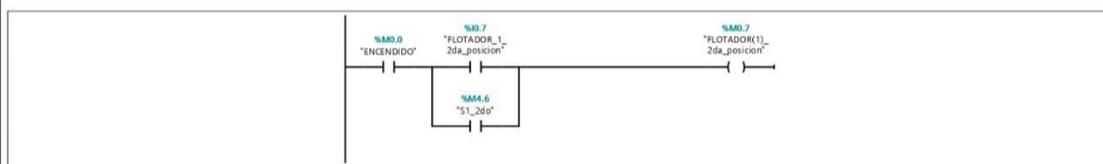
Segmento 2:

Segmento 3:

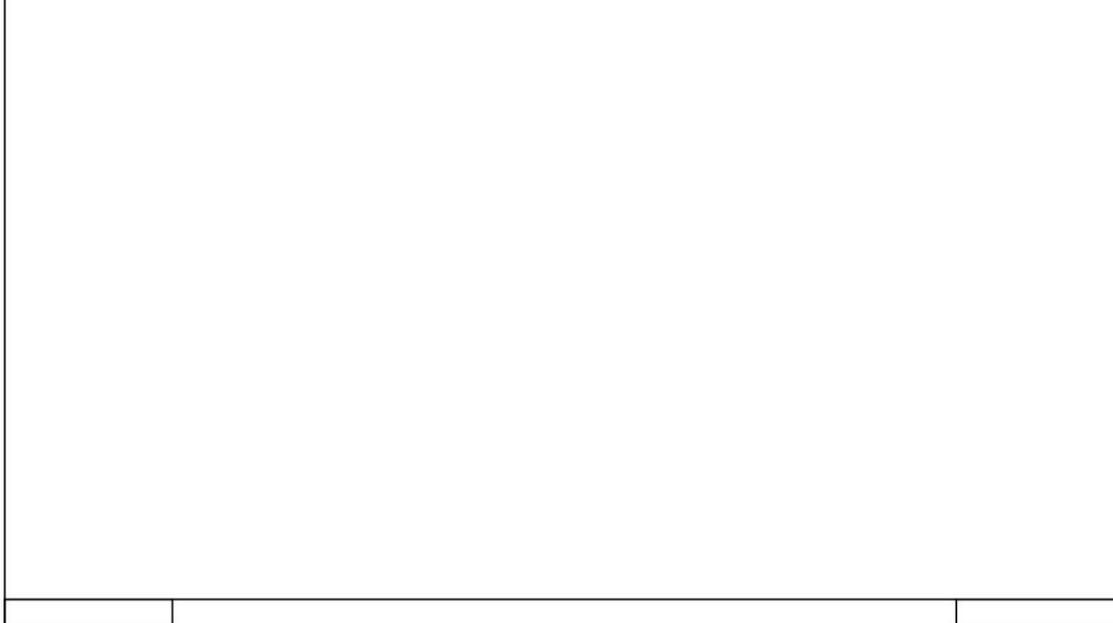
Segmento 4:

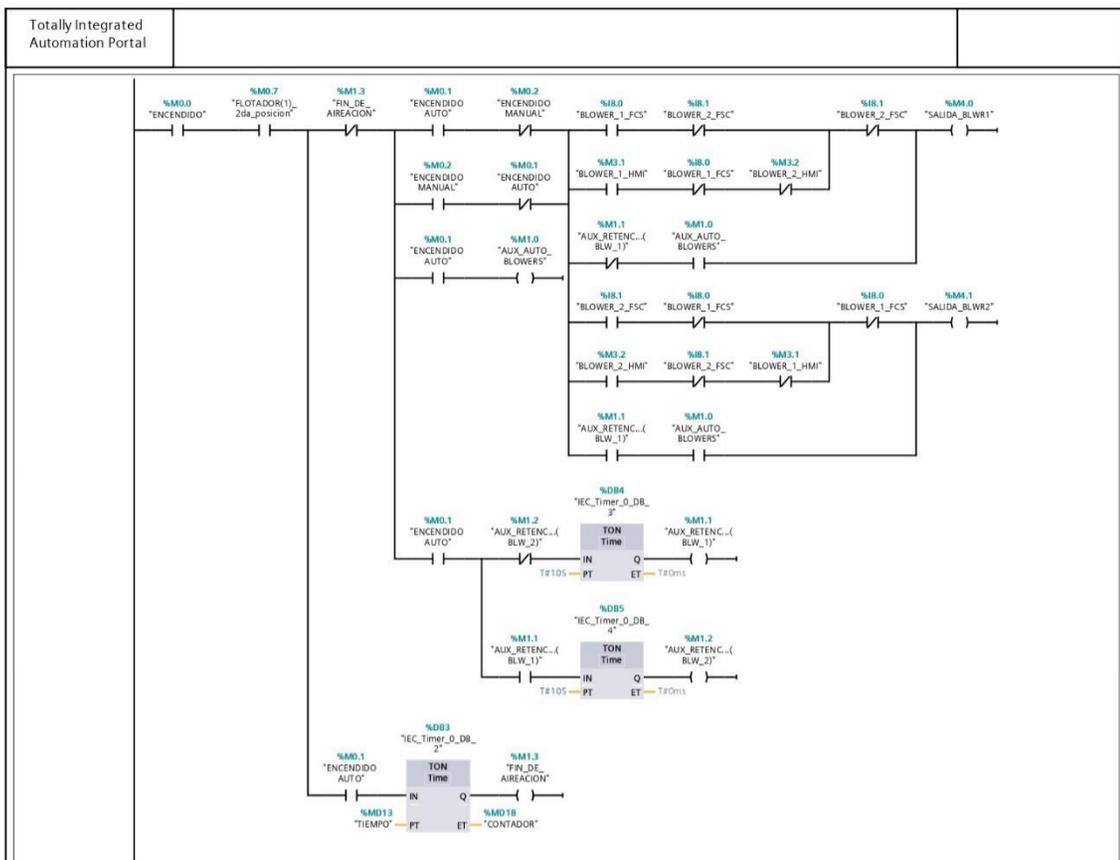


Segmento 5:

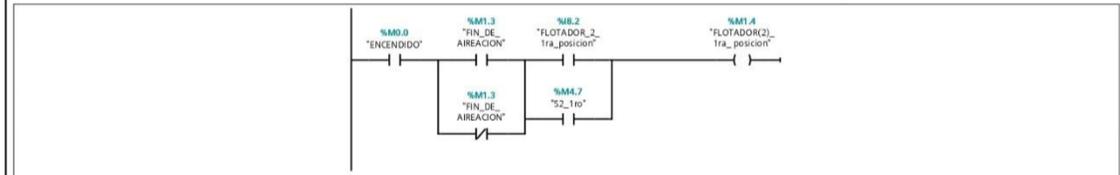


Segmento 6:

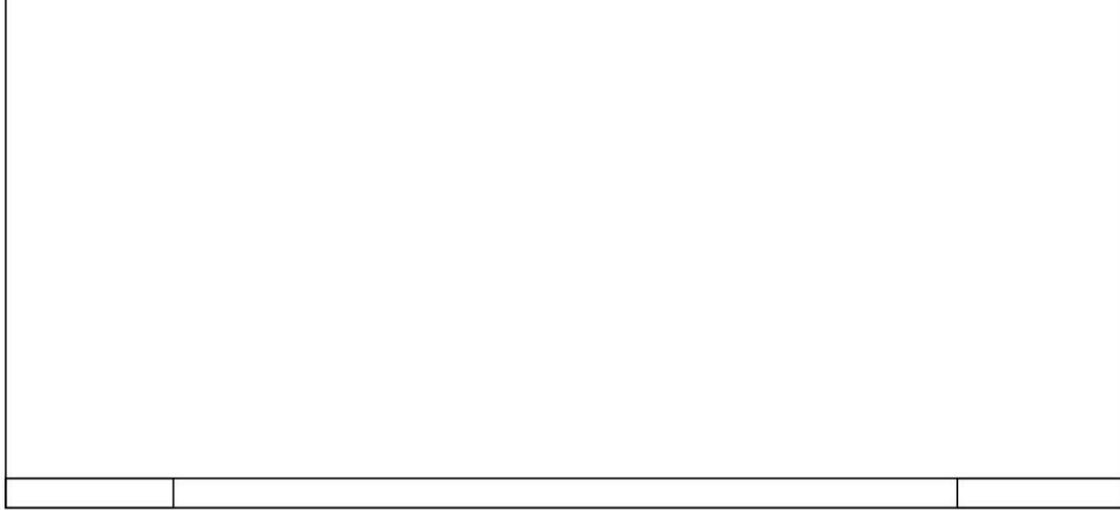


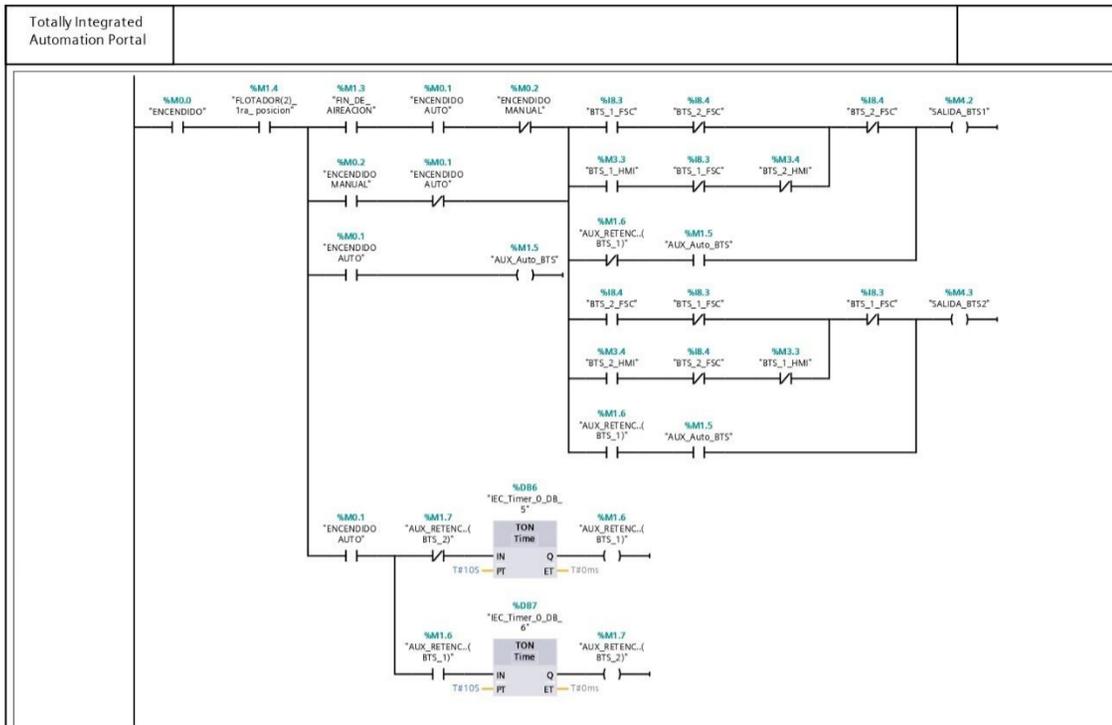


Segmento 7:

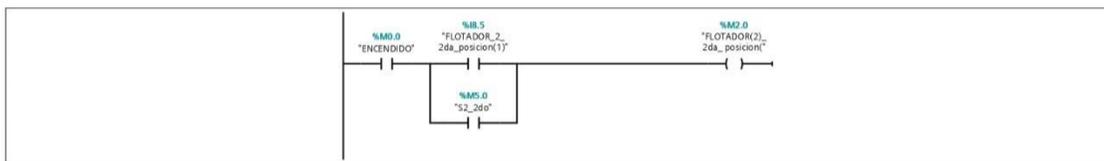


Segmento 8:

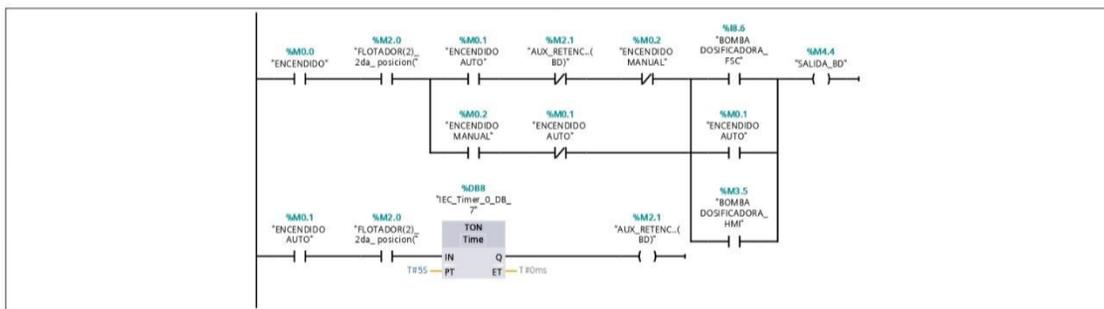




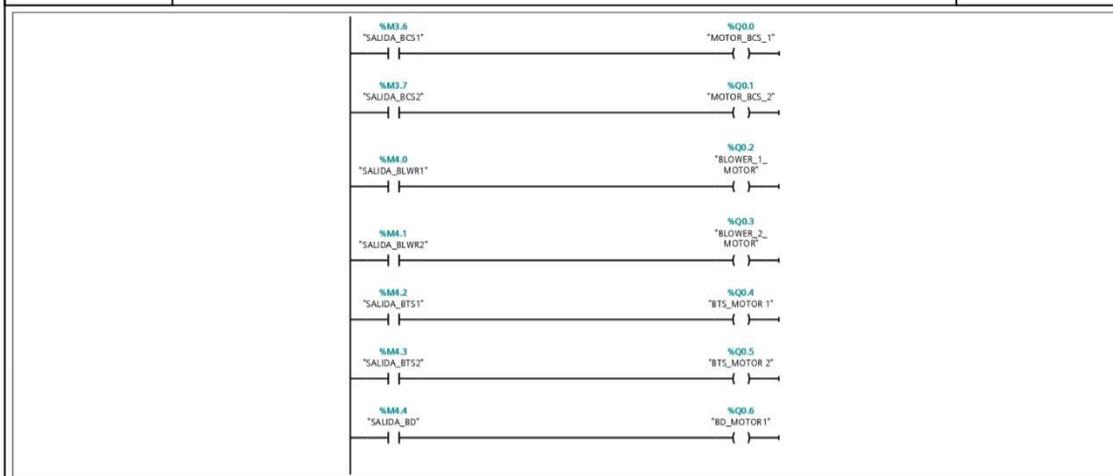
Segmento 9:



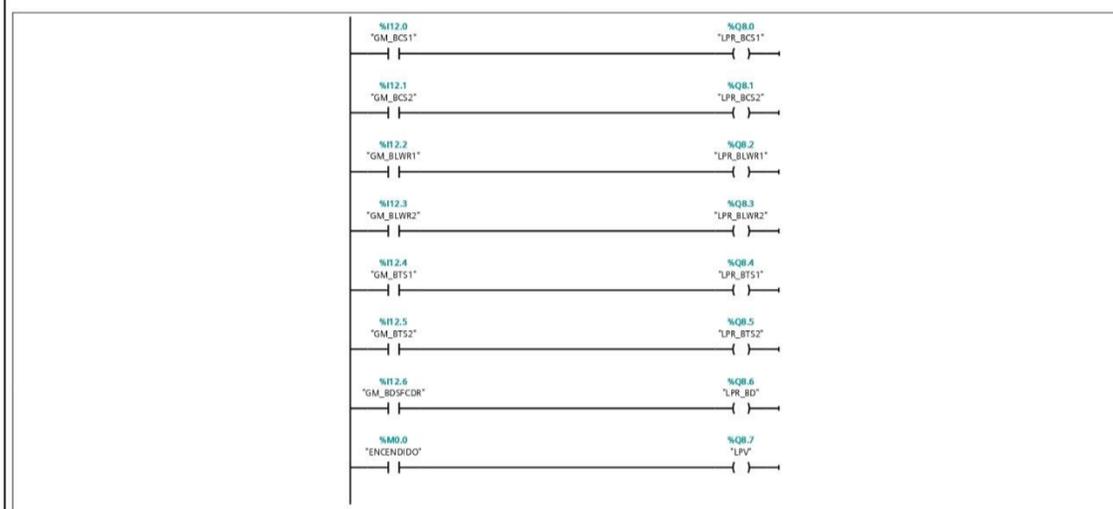
Segmento 10:



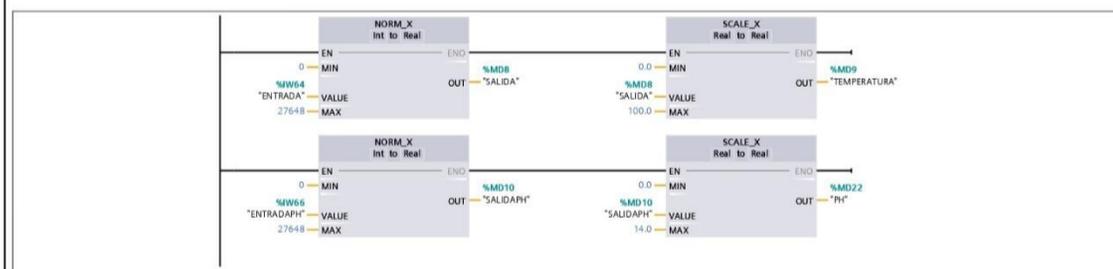
Segmento 11:



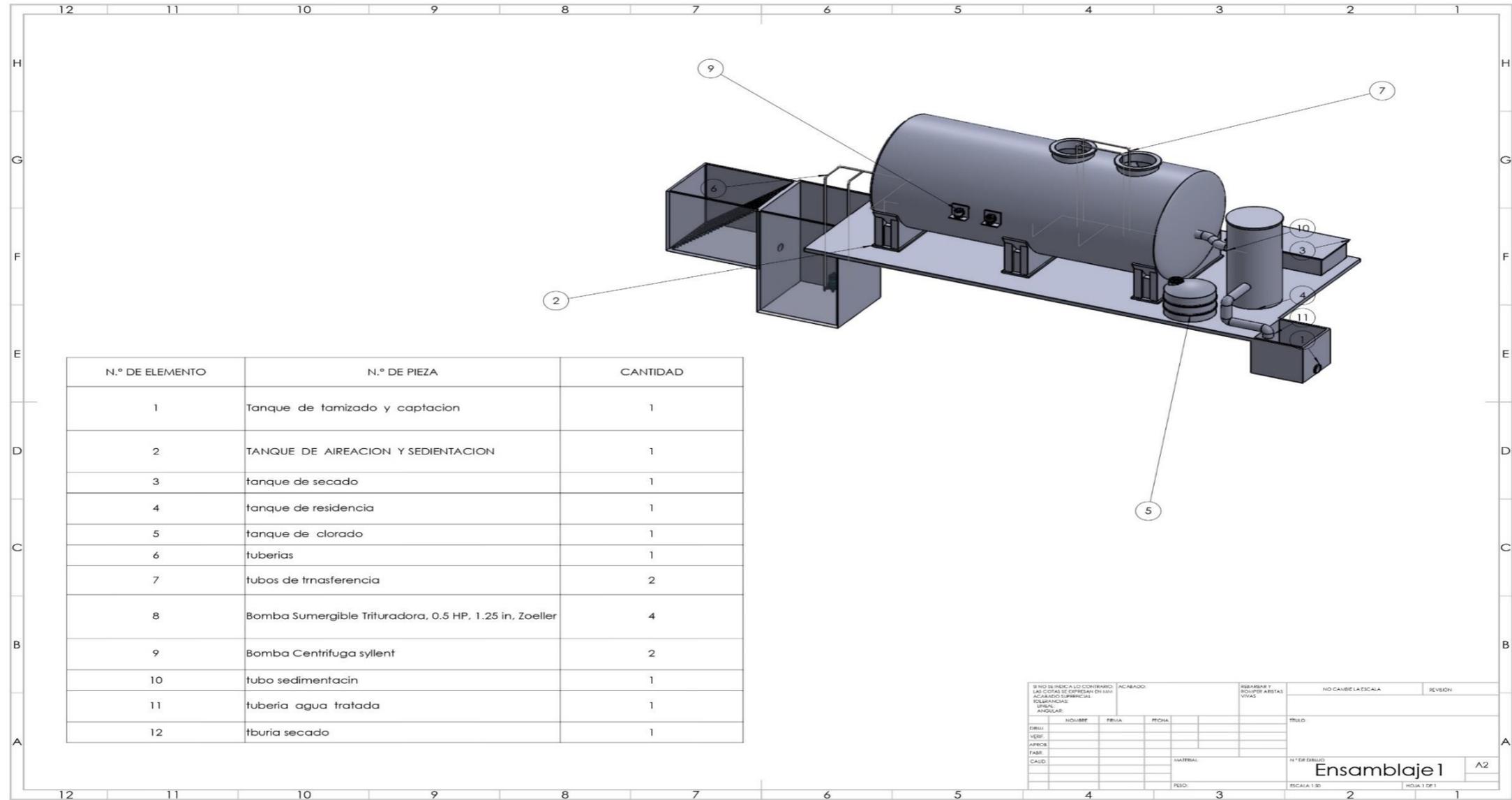
Segmento 12:



Segmento 13:



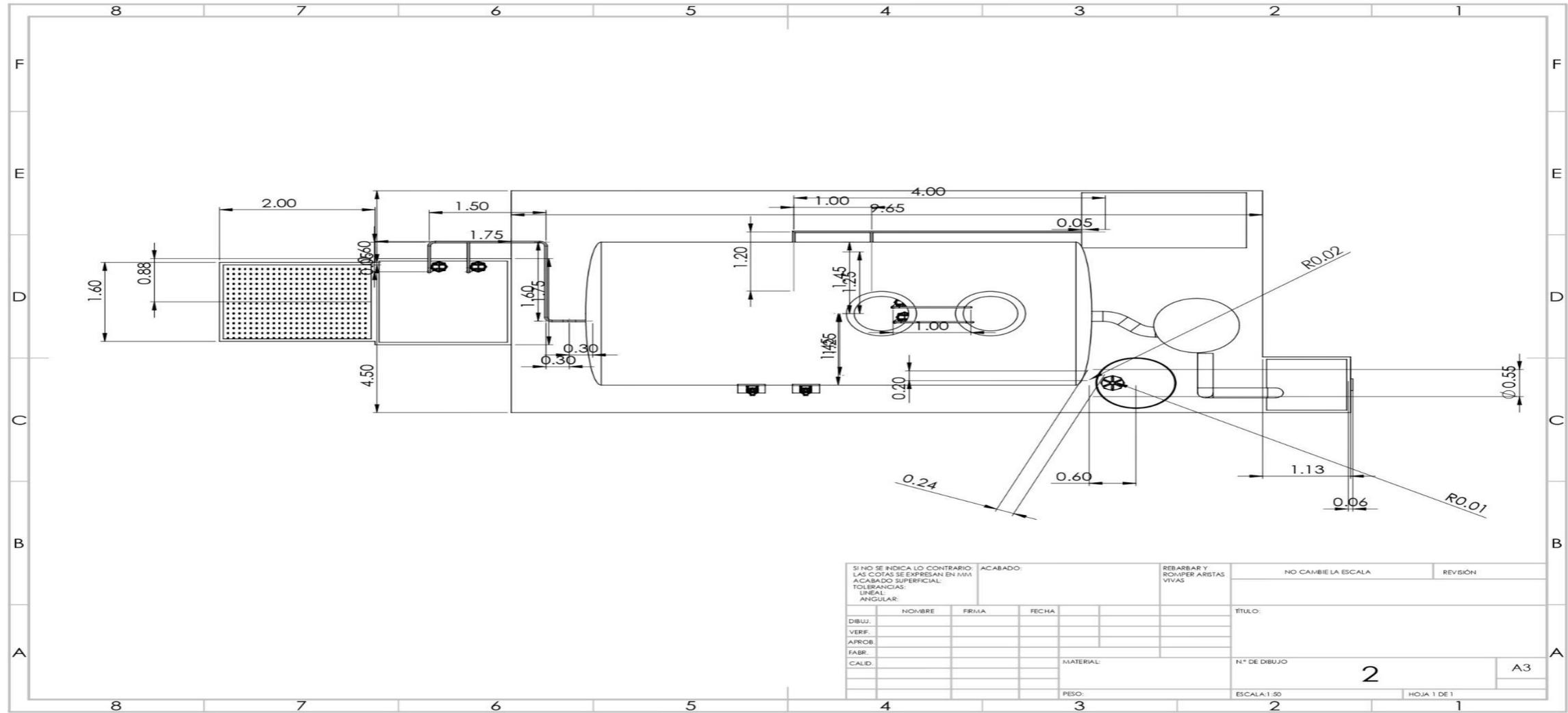
Anexo 7 Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Tanque de tamizado y captacion	1
2	TANQUE DE AIREACION Y SEDIMENTACION	1
3	tanque de secado	1
4	tanque de residencia	1
5	tanque de clorado	1
6	tuberias	1
7	tubos de trnsferencia	2
8	Bomba Sumergible Trituradora, 0.5 HP, 1.25 in, Zoeller	4
9	Bomba Centrifuga sylent	2
10	tubo sedimentacin	1
11	tuberia agua tratada	1
12	tburia secado	1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE ENTENDEN EN MM. ACABADO SUPERFICIAL: DESM. ANGULAR:		ACABADO: RUMBAR Y ROVER A BRETAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISION
DIBUJ: VERIF: APROB: FABR: CAUD:	NOMBRE FECHA FECHA	MATERIAL PESO:	TITULO: Ensamblaje 1	
ESCALA: 1:50			HOJA 1 DE 1	

Anexo 8 Dimensiones de la planta de tratamiento de aguas residuales



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FRMA	FECHA		TÍTULO:	
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL:	N° DE DIBUJO	A3
				PESO:	2	
					ESCALA: 1:50	HOJA 1 DE 1

Anexo 9 Desarrollo de ecuaciones de BOOL

Encendido				Ecuación
Entradas			Salidas	
Paro	Arranque	Memoria	Encendido	
P'	A	M	E	$E = P' \cdot A \cdot M + P' \cdot A' \cdot M + P' \cdot A \cdot M'$
1	1	1	1	$E = P' \cdot (A \cdot M + A' \cdot M + A \cdot M')$
1	0	1	1	$E = P' \cdot [M \cdot (A + A') + A \cdot M']$
1	1	0	1	$E = P' \cdot (M + A)$

Modalidad								Ecuación
Entradas						Salidas		
Encendido	STOP	Memoria de automatico	Pulsador de automatico	Pulsador de manual	Memoria de manual	Automatico	Manual	
E	S'	MA	PA	PM'	MM'	AUTO	MAN	
1	1	1	1	1	1	1	0	$AUTO = E \cdot S' \cdot MA \cdot PA \cdot PM' \cdot MM' + E \cdot S' \cdot MA' \cdot PA \cdot PM' \cdot MM' + E \cdot S' \cdot MA \cdot PA' \cdot PM' \cdot MM'$
1	1	0	1	1	1	1	0	$AUTO = E \cdot S' \cdot PM' \cdot MM' \cdot (MA \cdot PA + MA' \cdot PA + MA \cdot PA')$
1	1	1	0	1	1	1	0	$AUTO = E \cdot S' \cdot PM' \cdot MM' \cdot [PA \cdot (MA + MA') + MA \cdot PA']$
1	1	1	0	1	1	1	0	$AUTO = E \cdot S' \cdot PM' \cdot MM' \cdot (PA + MA)$
Encendido	STOP	Memoria de automatico	Pulsador de automatico	Pulsador de manual	Memoria de manual	Automatico	Manual	
E	S'	MA'	PA'	PM	MM	AUTO	MAN	
1	1	1	1	1	1	0	1	$MAN = E \cdot S' \cdot MA' \cdot PA' \cdot PM \cdot MM + E \cdot S' \cdot MA' \cdot PA' \cdot PM' \cdot MM + E \cdot S' \cdot MA' \cdot PA' \cdot PA \cdot MM'$
1	1	1	1	0	1	0	1	$MAN = E \cdot S' \cdot MA' \cdot PA' \cdot (MM \cdot PM + MM' \cdot PM + MM \cdot PM')$
1	1	1	1	0	1	0	1	$MAN = E \cdot S' \cdot PA' \cdot MA' \cdot [PM \cdot (MM + MM') + MM \cdot PM']$
1	1	1	1	1	0	0	1	$MAN = E \cdot S' \cdot PA' \cdot MA' \cdot (PM + MM)$
1	1	1	1	1	0	0	1	$MODALIDAD = E \cdot S' \cdot \{ [PA' \cdot MA' \cdot (PM + MM)] + [PM' \cdot MM' \cdot (PA + MA)] \}$

Flotador 1-1			Ecuación
Entrada		Salida	
Encendido	FLOTADOR1-1	Nivel Bajo	
E	FL	NB	
1	1	1	$NB = E \cdot FL$

Flotador 2-1			
Entrada		Salida	Ecuación
Encendido	FLOTADOR2-1	Nivel Alto	
E	FL	NB	
1	1	1	$NB = E \cdot FL$

Bombas de transferencia Maunal								
Entradas					Salidas			Ecuación
Encendido	Nivel Bajo	Manual	Automatico	PBomba1	PBomba1	Bomba de Transferencia1	Bomba de Transferencia 2	
E	NB	MAN	AUTO'	PB1	PB2'	BT1	BT2	
1	1	1	1	1	1	1	0	
Encendido	Nivel Bajo	Manual	Automatico	PBomba1	PBomba1	Bomba de Captación1	Bomba de Captación2	$BCS = E \cdot NB \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot PB1 \cdot PB2' + E \cdot NB \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot PB1' \cdot PB2$ $BCS = E \cdot NB \cdot MAN \cdot AUTO' \cdot (PB1' \cdot PB2 + PB1' \cdot PB2)$
E	NB	MAN	AUTO'	PB1'	PB2	BC1	BC1	
1	1	1	1	1	1	1	0	1

Flotador 2-2			
Entrada		Salida	Ecuación
Encendido	FLOTADOR2-2	Nivel Alto	
E	FL	NB	
1	1	1	$NA = E \cdot FL$

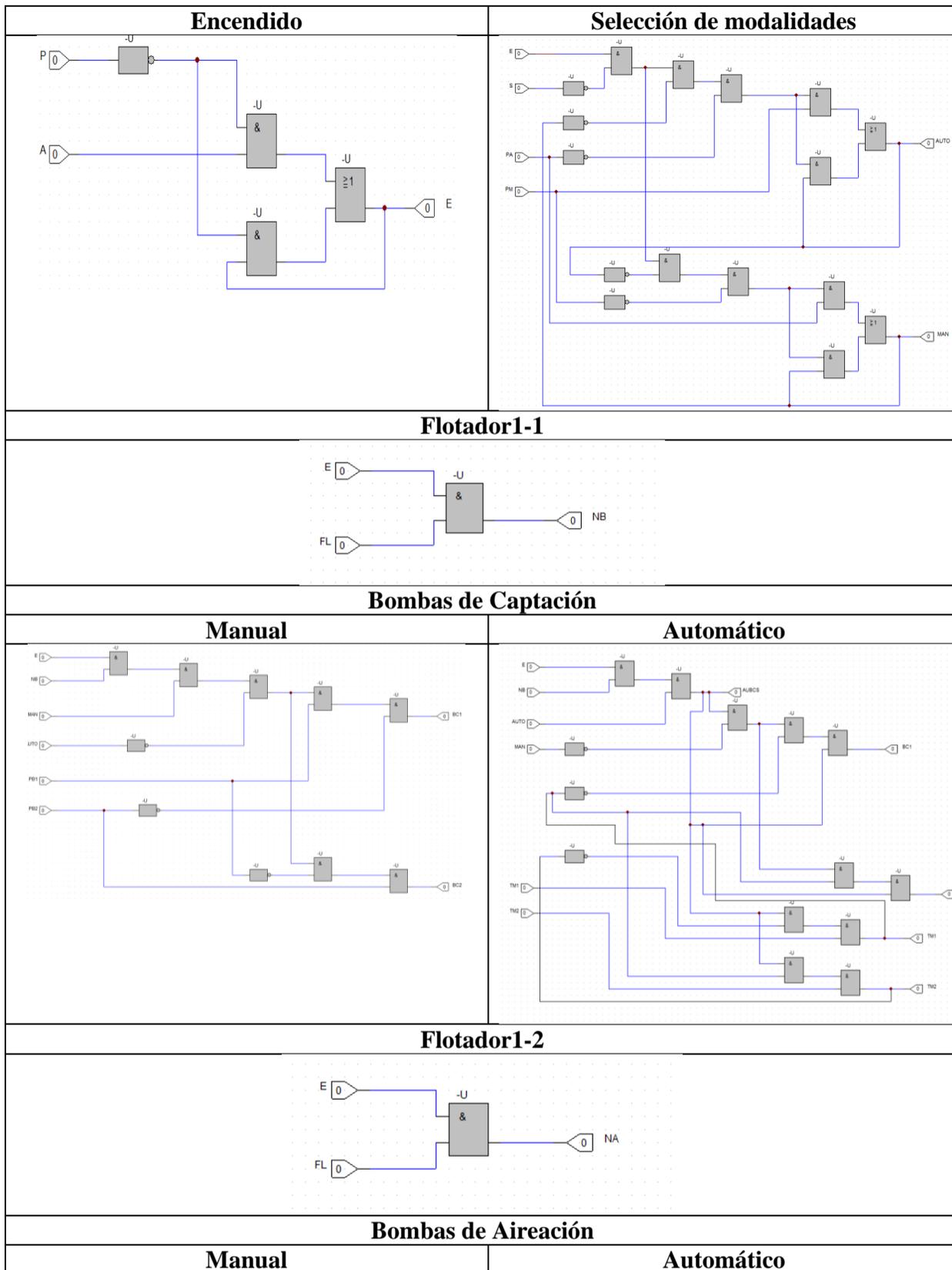
Bomba dosificadora manual						
Entradas				Salidas		Ecuacion
Encendido	Nivel Alto	Manual	Automatico	PBomba1	Bomba Dosificadora	
E	NA	MAN	AUTO'	PB1	BD	
1		1	1	1	1	

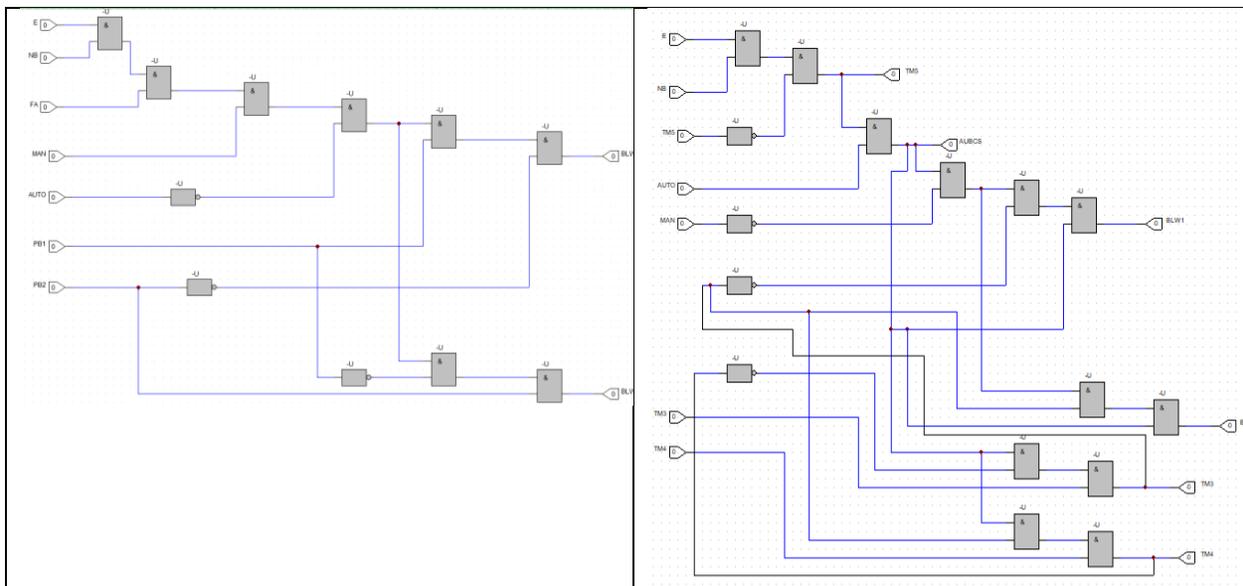
Bombas de transferencia Automatico														
Entradas									Salidas					Ecuación
Encendido	Nivel Bajo	Automatico	Manual	Auxiliar BT1	Auxiliar BTS	Auxiliar BT2	TIME 6	TIME 7	Bomba de Captación1	Bomba de Captación2	Auxiliar BCS	Auxiliar BCS1	Auxiliar BCS2	
E	NB	AUTO	MAN	AUXBT1	AUXBTS	AUXBCT2	TM6 BT1	TM7 BT2	BT1	BT2	AUXBTS	AUXBT1	AUXBT2	$BT1 = 3 \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN \cdot AUXBT1 \cdot AUXBTS \cdot AUXBCT2 \cdot TM6 \cdot TM7 + 3 \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN \cdot AUXBT1 \cdot AUXBTS \cdot AUXBCT2 \cdot TM6 \cdot TM7$ $BT2 = 3 \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN \cdot AUXBT1 \cdot AUXBTS \cdot AUXBCT2 \cdot TM6 \cdot TM7 + 3 \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN \cdot AUXBT1 \cdot AUXBTS \cdot AUXBCT2 \cdot TM6 \cdot TM7$ $AUXBTS = 3 \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN \cdot AUXBT1 \cdot AUXBTS \cdot AUXBCT2 \cdot TM6 \cdot TM7 + 3 \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN \cdot AUXBT1 \cdot AUXBTS \cdot AUXBCT2 \cdot TM6 \cdot TM7$ $AUXBT1 = 3 \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN \cdot AUXBT1 \cdot AUXBTS \cdot AUXBCT2 \cdot TM6 \cdot TM7 + 3 \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN \cdot AUXBT1 \cdot AUXBTS \cdot AUXBCT2 \cdot TM6 \cdot TM7$ $AUXBT2 = 3 \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN \cdot AUXBT1 \cdot AUXBTS \cdot AUXBCT2 \cdot TM6 \cdot TM7 + 3 \cdot NB \cdot AUTO \cdot MAN \cdot AUXBT1 \cdot AUXBTS \cdot AUXBCT2 \cdot TM6 \cdot TM7$
1	1	1	1'	1'	1	1'	0	0	1	0	1	0	0	
1	1	1	1'	1	1	1'	1	0	0	1	1	1	0	
1	1	1	1'	1	1	1'	0	1	1	0	1	0	1	

Flotador 2-2				
Entrada		Salida		Ecuación
Encendido	FLOTADOR2-2	Nivel Alto		
E	FL	NB		NA = 3·AL
1	1	1		

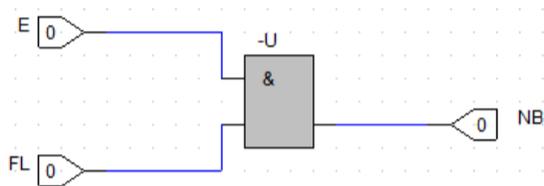
Bomba dosificadora AUTOMATICA								
Entradas					Salidas			Ecuación
Encendido	Nivel Alto	Automatico	Auxiliar retencion	Manual	TIME 7 Bomba Dosificadora	Bomba dosificadora	Auxiliar BD	
E	NA	AUTO	AUXRE	MAN	TM7 BD	BD	AUXBD	$BD = 3 \cdot NA \cdot AUTO \cdot AUXRE \cdot MAN \cdot TM7 \cdot BD$
1	1	1	1	1	0	1	0	
E	NA	AUTO	AUXRE	MAN	TM7 BD	BD	AUXBD	$AUXBD = 3 \cdot NA \cdot AUTO \cdot AUXRE \cdot MAN \cdot TM7 \cdot BD + 3 \cdot NA \cdot AUTO \cdot AUXRE \cdot MAN \cdot TM7 \cdot BD$
1	1	1	0	1	1	0	1	

Anexo 10 Simulación de ecuaciones de BOOL en puertas lógicas



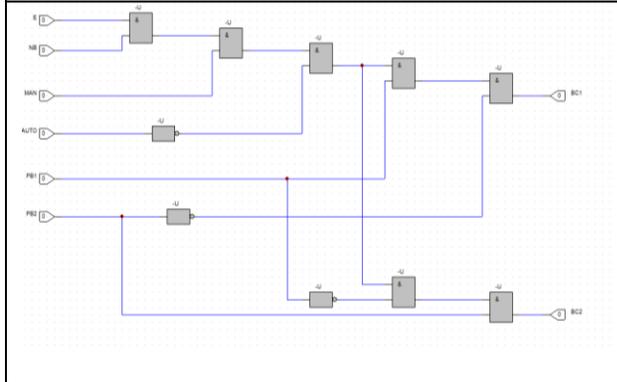


Flotador2-1

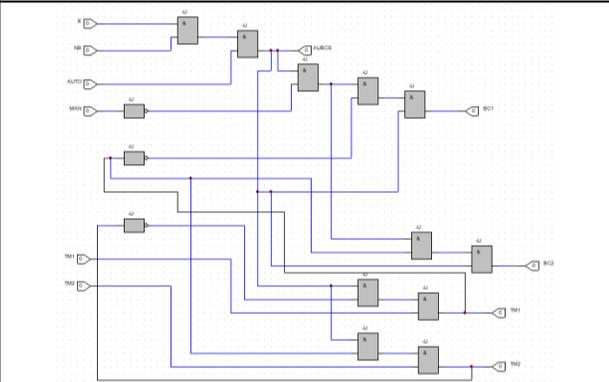


Bombas de Transferencia

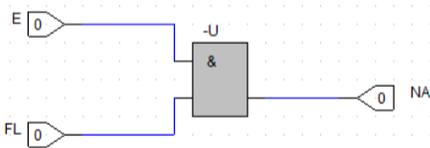
Manual



Automático

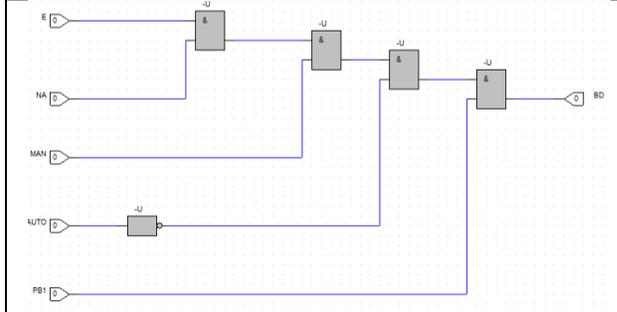


Flotador2-1

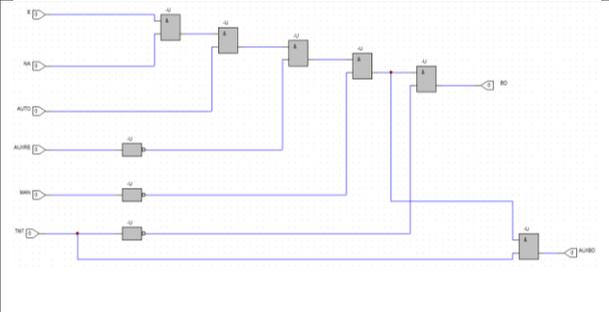


Bomba Dosificadora

Manual



Automático



Anexo 11 Criterios de calidad de agua

CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA EL USO AGRÍCOLA EN RIEGO			
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aluminio	AL	mg/l	5.0
Arsénico	As	mg/l	0.1
Berilio	Be	mg/l	0.1
Boro	Br	mg/l	0.75
Cadmio	Cd	mg/l	0.05
Cinc	Zn	mg/l	2.0
Cobalto	Co	mg/l	0.01
Cobre	Cu	mg/l	0.2
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0.1
Flúor	F	mg/l	1.0
Hierro	Fe	mg/l	5.0
Litio	Li	mg/l	2.5
Mercurio	Hg	mg/l	0.001
Manganeso	Mn	mg/l	0.2
Molibdeno	Mo	mg/l	0.01
Níquel	Ni	mg/l	0.2
pH	pH	mg/l	6-9
Plomo	Pb	mg/l	5.0
Selenio	Se	mg/l	0.02
Vanadio	V	mg/l	0.1
Coliformes fecales	NMP	mg/l	1000
Huevos de parásitos		mg/l	Ausencia
Aceite y grasas	Película Visible	mg/l	Ausencia
Materia flotante	Visible	mg/l	Ausencia

CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA EL USO AGRÍCOLA EN RIEGO				
PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN		
		Ninguno	Ligero Moderado	Severo
Salinidad: (1)				
CE (2)	milimhos/cm	0,7	0,7-3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450-2000	>2000
Infiltración: (4)				
RAS=0-3yCE=		0,7	0,7 - 0,2	<0,2
RAS=3-6yCE=		1,2	1,2 - 0,3	<0,3
RAS=6-12yCE=		1,9	1,9 - 0,5	<0,5
RAS=12-20yCE=		2,9	2,9 - 1,3	<1,3
RAS=20-40yCE=		5,0	5,0 - 2,9	<2,9
Toxicidad por iones específicos (5)				
Sodio:				
Irrigación superficial RAS (6)	meq/l	3,0	3,0-9,0	>9
Aspersión	meq/l	3,0	3,0	
Cloruros:				
Irrigación superficial	meq/l	4,0	4,0-10,0	>10
Aspersión	meq/l	3,0	3,0	
Boro:	meq/l	0,7	0,7 - 3,0	>3
Efectos misceláneos (7)				
Nitrógeno (NNO3)	mg/	5,0	5,0 - 30,0	>30
Bicarbonato (HCO3) Solo aspersión	l meq/l	1,5	1,5-8,5	>8,5
pH	Rango Normal		6,5-8,4	