



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
LOS EQUIPOS DESARENADORES DE LA "PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE
LOJA"(PTAR).

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR: FERNANDO MAURICIO COLLAHUAZO VICENTE

TUTOR: ING. JORGE GIOVANNI SAGBAY SACAQUIRIN.

Cuenca – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fernando Mauricio Collahuazo Vicente con documento de identificación N° 1104938814 manifiesto que:

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

Cuenca, 29 de julio del 2022

Atentamente,



Fernando Mauricio Collahuazo Vicente
1104938814

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

Yo, Fernando Mauricio Collahuazo Vicente con documento de identificación N° 1104938814, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: "Diseño e implementación de un sistema de control de los equipos desarenadores de la "Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja"(PTAR)" , el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 29 de julio del 2022

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "fernando cv", is written over a horizontal line.

Fernando Mauricio Collahuazo Vicente

1104938814

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Giovanni Sagbay Sacaquirin con documento de identificación N° 0702639063 , docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE LOS EQUIPOS DESARENADORES DE LA "PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE LOJA"(PTAR)", realizado por Fernando Mauricio Collahuazo Vicente con documento de identificación N° 1104938814, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 29 de julio del 2022

Atentamente,



Ing. Jorge Giovanni Sagbay Sacaquirin
0702639063

Dedicatoria

Fernando Mauricio

El presente proyecto de titulación está dedicado:

Allá en el cielo a mi querida Pinita, quien me ilumina y me guía desde pequeño

A mi madre Paquita Magdalena, por todo su amor y confianza en mí, por siempre creer en mí y estar a mi lado en cada etapa de mi vida, nunca bajando la guardia por fuerte que sea la tempestad.

A mi padre Juan Fernando, quien siempre me a dado su apoyo ,amor incondicional apoyándome y motivándome a seguir siempre adelante, enseñándome con su ejemplo que a pesar de todos los problemas y circunstancias que se presenten siempre hay una solución y motivo para seguir adelante

A mis hermanos: Santiago Alexander y Juan Pablo, al ser mis hermanos menores han sido mi inspiración y apoyo en momentos difíciles, y me han demostrado su lealtad y amor incondicional.

A mi Tía Sara Vicente por confiar en mí.

Sin más, dedico este triunfo a Dios y a la Virgen, que me acompañarán durante toda mi vida.

Agradecimientos

Fernando Mauricio

Agradecer a Dios y a la Virgen del Cisne, por brindarme cada día sabiduría en la toma de mis decisiones

A la Universidad Politécnica Salesiana en la figura de todo su cuerpo docente y administrativo, en especial a mi tutor Ing. Jorge Giovanni Sagbay Sacaquirin .

Al GAD-L y a la PTAR-L, por abrirme sus puertas y permitirme desarrollar mi trabajo de titulación en sus instalaciones.

A una gran persona y amigo Ing. Nelson Vaca, quien estuvo de una manera desinteresada, siempre atento para aclarar mis dudas y compartir sus conocimientos.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIII
Abstract	XIV
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Descripción del problema	3
2.3. Importancia y alcances	4
2.4. Delimitación	8
2.4.1. Espacial o geográfica	8
2.4.2. Temporal	8
2.4.3. Sectorial o institucional	9
2.5. Problema General	9
2.6. Problemas Específicos	9
3. Objetivos.	9
3.1. Objetivo General.	9
3.2. Objetivos Específicos	10
4. Hipótesis	10
4.1. Hipótesis General	10
4.2. Hipótesis Específicas	10

5. Marco Teórico	11
5.1. Importancia del agua.	11
5.1.1. Aguas Residuales	12
5.1.2. Municipios que han invertido sus recursos en Plantas Industriales y Plantas compactas para tratamiento de aguas residuales.	13
5.2. Planta de Tratamiento de aguas Residuales de Loja	13
5.2.1. Descripción importancia del Proceso de Desarenado	14
5.2.2. Desarenadores Aireados	16
5.3. Sistema SCADA	18
5.4. PLC:	18
5.5. Profinet	18
5.6. Profibus	19
5.7. Interfaz Humano-Máquina HMI	20
5.8. Tia Portal	21
5.9. MODBUS	22
5.9.1. MODBUS-TCP:	23
6. Marco metodológico	24
6.1. Metodología de la Investigación	24
6.1.1. Investigación de enfoque	24
6.1.2. De tipo	25
6.1.3. Presenta un diseño	25
6.1.4. Alcance	25
6.2. Metodología del proceso	25
6.2.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño del sistema de control de los desarenadores de la Planta de tratamiento de aguas Residuales de Loja(PTAR)	25
6.2.2. Propuesta del diseño de control de los desarenadores de la Planta de tratamiento de aguas Residuales de Loja(PTAR)	30
6.2.3. Descripción del Hardware	35
6.2.4. Switch de comunicación	37
6.2.5. Seleccin del HMI	37
6.2.6. Selección del PLC Esclavo	38
6.2.7. Switch de comunicación	40
6.2.8. Arquitectura del Sistema	40

6.2.9. Flujo de información	41
6.2.10. Programación del PLC, con descripción de su lógica	42
6.2.11. Asignación de Variables	52
6.2.12. Protocolo de comunicación MODBUS-TCP	53
6.2.13. Simulación del diseño mecánico y de control de los desarenadores de la Planta de tratamiento de aguas Residuales de Loja(PTAR)	61
6.2.14. Equipos y costos	64
6.3. Metodología estadística	66
6.3.1. Determinación de la población de estudio	66
6.3.2. Determinación del tamaño de la muestra	66
6.3.3. Encuesta	67
6.3.4. Análisis de Resultados de las encuestas	68
7. Resultados	73
7.1. Resultados de la simulación del diseño de control de PTAR	74
8. Conclusiones	76
9. Recomendaciones	77
Referencias	80
ANEXOS	81

Lista de Tablas

- 1. Número de de plantas de tratamiento de aguas residuales a nivel de Ecuador 13
- 2. Características Generales 28
- 3. Características Barredor de canal Desarenador 29
- 4. Ficha técnica PLC S7-1200 39
- 5. Lista de datos 41
- 6. Datos Técnicos 42
- 7. Tabla de entradas físicas 52
- 8. Variables de salida del PLC 53
- 9. Entradas digitales 53
- 10. Matriz de consistencia 82

Lista de Figuras

1.	Datos de Laboratorio de la Ptar	5
2.	Localización Geográfica	8
3.	Desarenadores de la PTAR Loja	16
4.	Representación de un desarenador aireado	17
5.	Ejemplo de Arquitectura de red Modbus	23
6.	Vista en planta	31
7.	PLC S7-1500 del laboratorio de Potencia de la UPS.	32
8.	HMI del laboratorio de Potencia de la UPS.	33
9.	Motor del laboratorio de Potencia de la UPS.	33
10.	Software de simulación.	34
11.	Arquitectura red LAN	35
12.	PLC S7-1500	36
13.	PLC S7-1200	38
14.	Programación PLC	42
15.	Programación PLC	43
16.	Programación PLC	43
17.	Modo manual motor de elevación pulsadores p1 p2 subida y bajada	44
18.	Pulsadores Derecha Izquierda Manual	44
19.	Activar Motor 3	45
20.	Programación PLC	45
21.	Programación PLC	46
22.	Fin de Carrera Subida	46
23.	Fin de Carrera Bajada	47
24.	Fin de carrera derecha	47
25.	Fin de carrera izquierda	48
26.	Contador idas y venidas	48
27.	Contador subidas y bajadas	49
28.	Subida bajada automática	50
29.	Fin de ciclo subida bajada automática	50
30.	Izquierda derecha automática	51
31.	Fin de ciclo ida y venida	52
32.	Módulos analógicos y digitales	54
33.	Conexión por protocolo profinet del HMI, PLC maestro y PLC esclavo	54

34.	Configuración del Slave	55
35.	En la figura se muestra los valores en los que se puede trabajar en el protocolo MODBUS-TCP, la longitud y el tipo de dato.	55
36.	Funcion y tipo de dato MODBUS-TCP	56
37.	Bloque de error	56
38.	Configuración Server	57
39.	Acceso vía comunicación PUT/GET	58
40.	Marcas de sistema y ciclos	58
41.	Controlador S7-1500 Dirección IP	59
42.	Asignación dirección IP S7-1200	59
43.	Figura de la configuración de el controlador s7-1200	60
44.	Conexión Pantalla Hmi	60
45.	PRESENTACIÓN	61
46.	SELECCIÓN DE MODO	62
47.	MODO MANUAL	62
48.	MODO AUTOMÁTICO	63
49.	GUARDAMOTOR AZ MPW12-3-D063S	64
50.	GUARDAMOTOR AUTOMÁTICO	64
51.	MINIBREAKER MDW-C16-3.	65
52.	CONTACTOR CWB40-11-30D13.	65
53.	Gráfica pregunta 1	68
54.	Gráfica pregunta 3	69
55.	Gráfica pregunta 4	70
56.	Gráfica pregunta 5	71
57.	Gráfica pregunta 6	72
58.	Simulación en PC de los laboratorios	74
59.	Simulación HMI	75
60.	Simulación conexión motores	75
61.	Simulación modo manual y automático	76
62.	Limites máximos permisibles para aguas de consumo	83

Resumen

El presente trabajo de investigación pretende aportar al manejo ordenado de emisiones al agua que ha emprendido el Gobierno Autónomo y descentralizado del cantón Loja, ya que en sus políticas alineadas a los ODS (objetivo seis relacionado con agua limpia y saneamiento, objetivo trece acción por el clima, objetivo catorce vida submarina) a realizado una inversión de cerca de los 18´000.000 (diez y ocho millones de dólares) con el objetivo de dar un buen manejo a las aguas servidas generadas por los habitantes del cantón Loja.

En esta inversión con la que se ha construido la Planta de Tratamientos de aguas residuales PTAR, se muestran equipos modernos, que algunos de ellos ya se encuentran operativos y automatizados, pero se ha podido detectar que aún hay equipos que no se encuentran anclados al Sistema SCADA, es por eso que surge la propuesta para que el proceso de pretratamiento, concretamente el desarenado con sus tres puentes, sean parte del control y automatización de la Planta.

El presente proyecto de investigación brindará las herramientas necesarias para que mediante el uso de PLC's se pueda programar los equipos del proceso de desarenado de la Planta, e incorporarlos a la programación ya existente del sistema SCADA con ayuda del protocolo de comunicación MODBUS-TCP. Paralelo a este objetivo, se utilizará la Plataforma TIA PORTAL junto con PLC-Sim que son programas de software de Siemens para conseguir la simulación de los sistemas y determinar su factibilidad y confiabilidad al incorporar a los tres equipos desarenadores al Sistema SCADA.

Palabras clave: Modbus-TCP, PLC, Sistema SCADA, Planta de Aguas Residuales, Desarenado.

Abstract

This thesis project aims to contribute to the orderly management of water emissions that has undertaken the Autonomous and decentralized Government of Loja canton, since in its policies aligned to the SDGs (goal six related to clean water and sanitation, goal thirteen climate action, goal fourteen underwater life) has made an investment of about 18'000,000 (eighteen million dollars) in order to give a good management of wastewater generated by the inhabitants of Loja canton.

In this investment with which the wastewater treatment plant PTAR has been built, modern equipment is shown, some of them are already operational and automated, but it has been detected that there is still equipment that is not anchored to the SCADA system, that is why the proposal arises so that the pretreatment process, specifically the desanding with its three bridges, are part of the control and automation of the plant.

This thesis will provide the necessary tools to program the equipment of the desanding process of the plant by means of PLC's, and incorporate them to the existing programming of the SCADA system with the help of the MODBUS-TCP communication protocol. Parallel to this objective, the TIA PORTAL Platform will be used together with PLC-Sim which are Siemens software programs to achieve the simulation of the systems and determine their feasibility and reliability when incorporating the three desanding equipments to the SCADA System.

Keywords: Modbus-TCP,PLC,SCADA System,Wastewater Treatment Plant,Wastewater Treatment Plant,Desanding Plant

1. Introducción

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Loja, sur de Ecuador. La PTAR instalación tiene una capacidad de 720 lit/seg y puede atender hasta 350.000 habitantes, cabe indicar que la PTAR, se encuentra proyectada para una capacidad de diseño de 1540 lit/seg cuando en su segunda etapa se incorporen dos decantadores adicionales.

La PTAR actualmente cuenta con una área de 10,5 hectáreas y está ubicada en la margen derecho del río Zamora, en el Barrio Florencia.

La PTAR, fortalece el proyecto Loja verde y sostenible ya que permite el manejo correcto de las aguas residuales de la ciudad, que hasta ahora se vertían sin ningún tratamiento ahora se pretende tratar, y evitar que estas aguas contaminen y afecten las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del río Zamora.

2. Problema

2.1. Antecedentes

La planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja ha sido una iniciativa del Municipio de Loja para satisfacer las necesidades de la población actual, controlar de forma decidida los problemas de contaminación y vertidos incontrolados que existen actualmente en el río Zamora, y al mismo tiempo predecir el crecimiento futuro de la planta, para permitir ampliaciones según el crecimiento poblacional que se pueda producir. La planta de tratamiento construida consta de dos líneas de decantación primaria, dos líneas de filtros percoladores y dos decantadores secundarios y permite cumplir con los requerimientos de vertido a cuerpos de agua dulce establecida en la normativa ambiental. (Vaca, 2021)

La planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Loja tiene una capacidad máxima de entrada de caudal a las instalaciones de $5.208 \text{ m}^3/h.$, con un caudal medio de $2.604 \text{ m}^3/h$. en la primera fase del proyecto, para una población equivalente en el año actual, de 250.000 hab-eq.(FuturENVIRO, 2021)

En la actualidad, el Municipio de Loja reconoce su responsabilidad con la sociedad y el medio ambiente y se compromete a realizar todas las actividades de acuerdo con los principios del desarrollo sostenible, por lo que se preocupa por respetar la normativa ambiental ecuatoriana y mejorar su cumplimiento mediante técnicas y métodos económicamente viables, prometiendo gestionar, monitorear y reducir el impacto ambiental causado por sus propias actividades productivas.

Promoviendo el cuidado y protección del medio ambiente solicita a las empresas, proveedores y contratistas; asegurarse de que comprendan los aspectos ambientales de sus actividades. Asegurando la implementación de políticas ambientales, obteniendo el suministro de recursos necesario para implementar y mantener un plan de manejo ambiental.

2.2. Descripción del problema

En el área de desarenado existen tres puentes; el objetivo de los desarenadores-desengrasadores es retener aquellos sólidos pequeños que pasan por las rejillas y son suficientemente ligeros para ser arrastrados gracias a la velocidad del agua, pero a su vez son los suficientemente pesados para ser separados por gravedad al disminuir la velocidad de arrastre.

Cada desarenador constará de un puente viajero, que los recorrerá de ida y vuelta. En cada puente se han instalado una bomba vertical para extraer las arenas depositadas en el fondo; además en el puente se dispone de una rasqueta con su correspondiente moto reductor de izado, para empujar las natas y sobrenadantes que se acumulan por la flotación a un canal de recogida, situado en uno de los extremos. desde este canal, mediante un chorro de agua proporcionado por las rampas telescópicas manuales, se conducirán hasta los concentradores.

Estos puentes y bombas mencionadas no disponen de un control ideal ya que están actualmente funcionando de una manera mecánica, y son accionadas por el personal de operación el cual controla su posición en su ir y venir existe un sistema de supervisión (SCADA) pero este sólo monitorea las señales de confirmación de marcha y falla de los motores.

Es por esta razón que se propone la automatización en particular de estos tres desarenadores que actualmente no disponen de un adecuado control y supervisión; de igual manera de las bombas que aquí se encuentran; se plantea obtener los datos de todos estos equipos y mediante el control SCADA se pretende monitorearlos y accionarlos remotamente, sin la necesidad del personal humano de operación.

2.3. Importancia y alcances

Loja cuenta con un colector marginal que recoge gran parte de las aguas servidas de la ciudad, estas descargaban en el sector norte de la ciudad, en terrenos cercanos al Parque Industrial, frente a la ciudadela Sauces Norte de la ciudad de Loja. Las aguas descargadas por el colector, no recibían ningún tratamiento antes de ser vertidas en el río Zamora, por lo que las características, físicas, químicas y microbiológicas del río son severamente afectadas, generándose un grave problema de contaminación, siendo este aun mayor en los sectores aledaños se evidenciaba un foco contaminante debido a estas descargas, situación delicada y de alta preocupación para sus pobladores.(DE, s.f.)

Para efectos de diseño de la Planta de tratamiento de aguas residuales, se realizó un estudio de la calidad del agua en los ríos Malacatos y Zamora, este estudio se lo realizo en octubre de 2013, en el cual se tomó ocho puntos de muestreo. De los resultados obtenidos en los análisis, se evidencia una tendencia muy parecida en todos los ensayos realizados, la contaminación desde el sitio de descarga que se realizó la muestra inicial en los Dos Puentes, hasta la calle 10 de agosto, es evidente el grado de contaminación, aunque a menor escala.

Un indicador muy preocupante es la contaminación microbiológica en los ríos Zamora y Malacatos, a estos dos ríos se suman las diferentes quebradas que descargan a lo largo de la ciudad, están descargan gran cantidad de agua contaminada, ya que sus viviendas están ubicadas a los márgenes de dichas quebradas, sumándose también la presencia de ganado de varios tipos que no tienen control alguno.

Todos estos factores han motivado para que se diseñe y construya una Planta de Tratamiento de aguas residuales, q permita devolver una calidad de agua acorde a la normativa vigente emitida por el ministerio del Ambiente.

Figura 1

Datos de Laboratorio de la PTAR Loja.



Nota: Toma de muestras de las diferentes etapas de tratamiento de aguas residuales de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja.

De izquierda a derecha en la figura 1 se tienen las muestras de los diferentes etapas de tratamiento

- Pozo de gruesos
- Arqueta de reparto a primarios,
- Decantador primario,
- Arqueta de reparto a secundarios,
- Decantador secundario y Descarga

En todo este proceso de tratamiento de aguas residuales existe un sector denominado Pretratamiento, en donde el agua que ingresa es separada en tres componentes principales: arenas, grasas y agua. En esta separación los parámetros físicos y químicos se encuentran más elevados, en relación a las características de la Tabla 9, lo más visible es el agua más turbia, mayor presencia de sólidos como también conductividad elevada.

Es aquí precisamente en donde equipos como motorreductores para traslación de puentes desarenadores, motorreductores para accionar rasquetas de grasas y bombas necesitan especial atención para ser incorporados al sistema SCADA.

Como importancia y beneficio al tener el control automatizado de esto equipos conlleva a conseguir mayor eficiencia del proceso, ya que, desde el centro de control, puede operar y monitorear la manera como se está llevando el proceso. Al manejar un historial de datos, estos nos permiten fortalecer un Programa de Mantenimiento, ya que al tener pleno conocimiento del número de horas que cada motor ha trabajado, sabremos cuando se debe intervenir para lubricación, cambio de cojinetes, cambio de rodamientos, es decir tendremos a disposición una gran cantidad de información.

El aporte del presente trabajo de investigación aportará a la optimización de la Planta, ya que mediante el sistema SCADA se generará un entorno amigable y de fácil acceso a quienes tengan a cargo la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

En horarios donde los operadores de la Planta tengan que desempeñar sus labores solos, (por lo general turnos de la noche y madrugada) tendrán el reporte de novedades de cada uno de los equipos y de esta manera intervenir para solucionar problemas que estarán plenamente identificados en la pantalla del sistema SCADA. En varias ocasiones, será suficiente con resetear los sistemas y poner operativos nuevamente a los equipos que presentaron algún tipo de fallo en el proceso de desarenado.

A la fecha actual no existe un registro histórico de las horas que cada equipo viene trabajando, esto dificulta la oportuna intervención para realizar tareas de mantenimiento preventivo.

Al presentarse un problema en los desarenadores lo que normalmente se viene realizando son inspecciones a cada uno de los equipos, para detectar cual es la posible falla, se requiere un sin número de herramientas mecánicas, eléctricas, instrumentos de verificación de voltaje, mediciones de intensidad, en definitiva, es un verdadero protocolo hasta lograr identificar el

posible problema o fallo del equipo.

Estas actividades se ven reflejadas en tiempos muertos o tiempos de para que debe invertirse para solucionar problemas y sin dudar afectan los balances económicos en lo que representa parar el proceso de tratamiento de toda la Planta, con costes directos e indirectos.

La presente investigación demostrará la eficiencia que puede conseguirse automatizando y controlando desde el sistema SCADA, se utilizara un equipo mínimo de operadores ya que todos los datos, alarmas y reportes, se presentan a través de la pantalla SCADA en el cuarto de control.

El presente trabajo de investigación dejará el diseño claro y concreto, incluye diagramas de fuerza y de control, lista de materiales, presupuesto, dibujos de detalle y dibujos de conjunto garantizándolo su funcionamiento con la simulación del presente en la plataforma del Tia Portal

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

La PTAR cuenta con un área de 10,5 hectáreas y está ubicada al Norte de la ciudad de Loja, concretamente en el barrio Florencia, del río Zamora en su margen oriental de ubica la PTAR, al norte del barrio Saucos Norte, esta se encuentra ya en el área rural del cantón Loja. La planta esta proyectada al 2030 con una capacidad de 1540 lit/seg. La delimitación espacial indica el lugar geográfico donde se recabará y analizará la información.

Figura 2

Localización Geográfica.



Nota: Se puede observar la localización de la planta extraída de *Google Earth* (2022).

2.4.2. Temporal

Colocar la delimitación temporal específica que se debe considerar el tiempo que se tiene desde que se da por aprobado el trabajo de titulación hasta el final de la asignatura TT2.

2.4.3. Sectorial o institucional

Se localiza en la ribera oriental del río Zamora, aproximadamente 1 km al norte del barrio Saucos Norte al final del área urbana de la ciudad. Para llegar a la planta de tratamiento se deberá extender el colector marginal, en un tramo que va desde el Parque Industrial hasta las estructuras de pretratamiento de la Planta de Depuración.

2.5. Problema General

- ¿Es posible diseñar un sistema de adquisición, control y supervisión de datos para la optimización del proceso en el área de desarenado de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja (PTAR) a través de adquisición de señales y mandos mediante un controlador y el protocolo MODBUS-TCP?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Es posible analizar el sistema de funcionamiento actual de la PTAR para generar una propuesta que permita mejorar parámetros de eficiencia, procesar los datos para tomar decisiones más inteligentes y comunicar los problemas del sistema para reducir el tiempo de inactividad.?
- ¿Se podrá diseñar el sistema SCADA, utilizando un control lógico programable y el protocolo de comunicación MODBUS-TCP en la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja?
- ¿Es factible simular el sistema SCADA utilizando el software TIA PORTAL para la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja?

3. Objetivos.

3.1. Objetivo General.

- Diseñar un sistema de adquisición, control y supervisión de datos para la optimización del proceso en el área de desarenado de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja (PTAR) a través de adquisición de señales y mandos mediante un controlador y el protocolo MODBUS-TCP.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar el sistema de funcionamiento actual de la PTAR para generar una propuesta que permita mejorar parámetros de eficiencia, procesar los datos para tomar decisiones más inteligentes y comunicar los problemas del sistema para reducir el tiempo de inactividad.
- Diseñar el sistema SCADA utilizando un control lógico programable y el protocolo de comunicación MODBUS-TCP en la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja.
- Simular el sistema SCADA utilizando el software TIA PORTAL para la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

- El diseño de un sistema de control permitirá la optimización del tiempo de operación del proceso en en el área de desarenado de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja (PTAR).

4.2. Hipótesis Específicas

- Se obtendrá una recolección de información, que nos permitirá generar una base de datos que permitirá fortalecer y mejorar el proceso de Desarenado de la Planta de Tratamientos de aguas residuales de la ciudad de Loja.
- Se diseñará el sistema SCADA utilizando un control lógico programable y el protocolo de comunicación MODBUS-TCP en la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja.
- Se simulará el sistema SCADA utilizando el software TIA PORTAL para la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja.

5. Marco Teórico

Para llevar a cabo este proyecto es necesario comprender la teoría de la automatización y los elementos a utilizar, es por ello por lo que es necesario leer y comprender los principios de funcionamiento del material; así como su reconocimiento físico. A continuación, se detalla la teoría del proceso en sí y los elementos a ser utilizados, destacando los diferentes procesos de aguas residuales y aclarando las razones para el uso del proceso en la PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja). Otro aspecto fundamental para tener en cuenta es que debido a la actual crisis ambiental mundial. Cada una de estas empresas debe ser responsable de la correcta gestión residuos, ya sean líquidos, sólidos o gaseosos, prioritarios

5.1. Importancia del agua.

Un agua se considera contaminada cuando se altera su composición, resultando menos apta para una o todas las funciones y propósitos para los que sería apropiada en su estado natural. (Hernández de Pool, 1990)

Según (Peña, Mayorga, y Montoya, 2018) en América Latina, aproximadamente la mitad de la población tiene un servicio de alcantarillado que recolecta alrededor de 40 millones de metros cúbicos de aguas residuales todos los días y desemboca en ríos, lagos y océanos, menos del 10 por ciento de los cuales son pretratados. Se estima que hay 250 ciudades costeras en la región con una población de más de 100.000 habitantes. Las aguas residuales sin tratar de estos centros densamente poblados contaminan las playas utilizadas para uso recreativo y los productos agrícolas y pesqueros cultivados en áreas cercanas, lo que tiene un impacto negativo en el desarrollo del turismo y los productos básicos y aumenta los riesgos para la salud de los consumidores. Se estima que el 70% de los episodios de diarrea infantil se deben a la presencia de microorganismos patógenos en agua y alimentos contaminados. El crecimiento de la población humana y la industrialización han llevado a la degradación de varios ecosistemas de los que dependen los seres humanos. En el caso de océanos y ríos, esta contaminación se debe principalmente a la descarga insuficiente del tratamiento de aguas residuales industriales y municipales. (Chan, Chong, Law, y Hassell, 2009)

Las aguas residuales han causado grandes problemas debido a las actividades humanas como la agricultura y la ganadería, dando como resultado una gran cantidad de aguas residuales que deben ser tratadas antes de ser enviadas de nuevo a la naturaleza. Si no se manejan adecuadamente, sus cargas contaminantes pueden causar daños ambientales severos y afectar directamente la salud humana. Las aguas residuales urbanas y agrícolas acumulan

grandes cantidades de contaminantes como compuestos orgánicos, nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales, subterráneas y en el suelo. Estos contaminantes son responsables de la eutrofización y son nutrientes para una amplia variedad de especies microbianas.(Trikoilidou, Samiotis, Bellos, y Amanatidou, 2016)

5.1.1. Aguas Residuales

Las aguas residuales son aguas que tienen propiedades físicas, químicas o biológicas alteradas debido a la introducción de determinadas sustancias que las hacen inseguras para determinados usos, como el riego, la recreación, etc. Los seres humanos dependen principalmente del agua para sus actividades diarias y, por lo tanto, descargan "desechos" en el agua. Algunas de estas sustancias incluyen desechos corporales (heces y orina), cabello, restos de comida, aceites, detergentes para ropa, acondicionadores de telas, detergentes, suciedad, microorganismos (bacterias), que pueden enfermar a animales y personas. Esto demuestra la importancia del tratamiento. El tratamiento de aguas residuales es el proceso y la tecnología que se utiliza para eliminar la mayoría de los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales para garantizar un medio ambiente saludable y una buena salud pública.(Eddy, 2003)

El tratamiento de aguas residuales nos ayuda a reducir el nivel de contaminación orgánica e inorgánica, los contaminantes se presentan disueltos en el agua o en partículas; para que podamos usar esta agua para diferentes propósitos, o mejorar su calidad, hacer que cumpla con los límites permisibles o hacer que su uso sea repetible. Como lo menciona la Ley de Conservación de la Materia, no podemos eliminar por completo nuestros contaminantes, sino que solo los transformaremos, o en este caso los removeremos del agua residual.(Noyola, Morgan, y Leonor, 2013)

Ecuador tiene pocas ciudades que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales. Entre ellas, se pueden citar: Jipijapa, Shushufindi, Portoviejo y Cuenca, todas de poca población a excepción de esta última (Barbecho y Bósquez, 2008).De los 215 municipios del país, solo el 62% trata el agua residual, mientras que en el resto no se realiza ningún tipo de tratamiento. A nivel regional, la sierra posee el mayor número de plantas de tratamiento (50% del total del país); en la región costera está el 31%; el 18.5% en la región amazónica y el 0,5% restante en la región insular.(AME-INEC, 2016)

5.1.2. Municipios que han invertido sus recursos en Plantas Industriales y Plantas compactas para tratamiento de aguas residuales.

Las inversiones realizadas en nuestro país, actualmente se encuentran localizadas en la provincia de Pichincha (Quitumbe), Cuenca, Ambato e Ibarra. La de Ambato presenta una tecnología bastante desarrollada ya que ellos procesan de 750 a 1200 litros por segundo; la Planta de tratamiento de aguas residuales de Loja actualmente se encuentra trabajando con una capacidad de 200 litros por segundo a pesar que su diseño previsto es de 720 litro por segundo esto debe a que el cantón Loja no cuenta con un plan maestro de alcantarillado.

Dentro de la delimitación geográfica no existen empresas privadas que se dediquen a prestar sus servicios para el tratamiento de agua, en el caso de la PTAR, el servicio es brindado por el municipio de la ciudad de Loja a todos los habitantes de esta ciudad. Sin embargo, si nos centramos a nivel del país existen 421 plantas de tratamiento de aguas residuales compactas, las cuales se encuentran en 133 GAD municipales. (AME-INEC, 2016)

En la siguiente tabla se indican cuantas existen en cada región.

Tabla 1

Número de de plantas de tratamiento de aguas residuales a nivel de Ecuador.

Región	Numero de Plantas
Total	421
Región Sierra	210
Región Costa	129
Región Amazónica	80
Región Insular	2

Nota: Se puede observar el número de plantas compactas a lo largo de Ecuador según cada región, la información ha sido tomada de AME-INEC (2016).

5.2. Planta de Tratamiento de aguas Residuales de Loja

El agua cruda llega a la PTAR mediante un colector de 1.400 mm en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV). El pozo de gruesos tiene un volumen de 79,1 m^3 de volumen,

al cual se ha incorporado una cuchara bivalva de 250l. para recogida de los residuos más voluminosos. En dicho pozo se instaló una reja manual de protección del desbaste, de 100 mm de paso.

Este pozo de gruesos dispone de una salida de seguridad mediante tubería de 1.400 mm conectada al by-pass general de la planta. A este pozo de gruesos llegan los vaciados de la decantación primaria y secundaria, así como los vaciados y sobrenadantes del clasificador de arenas y separador de grasas, estos últimos mediante 1+1 (en reserva) bombas sumergibles de $170 \text{ m}^3/\text{h}$ de caudal unitario.(FuturENVIRO, 2021)

Línea de agua,pretratamiento: Esta unidad consta para el desbaste grueso con cuatro canales instalados de 1,1 m. de ancho dotados de compuertas automáticas de aislamiento aguas arriba y abajo.Tres de los canales han sido equipados con rejas automáticas de gruesos de 20 mm de luz de paso, con una capacidad máxima por línea de $1.823 \text{ m}^3/\text{h}$, y para la cuarta línea se dispone de una reja manual de 10 mm para casos de emergencia.

Después de las rejas automáticas se han implementado tres tamices de finos, también automáticos, con una luz de paso de 5 mm. Los residuos de las rejas y tamices son recogidos con sendos tornillos transportadores- compactadores hasta dos contenedores de almacenamiento. Los cuatro canales disponen de vaciado independiente, los que se comunican con el pozo de bombeo de vaciados del pretratamiento, indicado anteriormente.El agua a la salida de los canales de desbaste llega a las tres líneas de desarenado-desengrase previstas. Cada desarenador tiene unas dimensiones de 18 m de longitud y 4 m de anchura, con un volumen unitario de 180 m^3 .(Vaca, 2021).

El sistema de aireación de cada desarenador se realiza con tres electro turbinas por línea de 1,5 kW de potencia unitaria. Las bombas de arenas van a bordo del puente desarenador y tiene una capacidad unitaria por línea de $55 \text{ m}^3/\text{h}$. Toda la mezcla agua-arenas de los tres desarenadores, confluyen en el clasificador que tiene una capacidad de $120\text{-}240 \text{ m}^3/\text{h}$. Este elemento separa las arenas del agua y las almacena en un contenedor abierto de 5 m^3 de volumen.

Por otro lado, las grasas se recogen en los desarenadores-desengrasadores mediante rasquetas de superficie y se envían al separador-concentrador de grasas, que separa también los aceites y grasas del agua, almacenándolos en un contenedor de 5 m^3 .(Vaca, 2021)

5.2.1. Descripción importancia del Proceso de Desarenado

El término arena se usa a menudo en términos de tratamiento de aguas residuales y suele equipararse con partículas de arena y grava, aunque en la práctica el término también puede

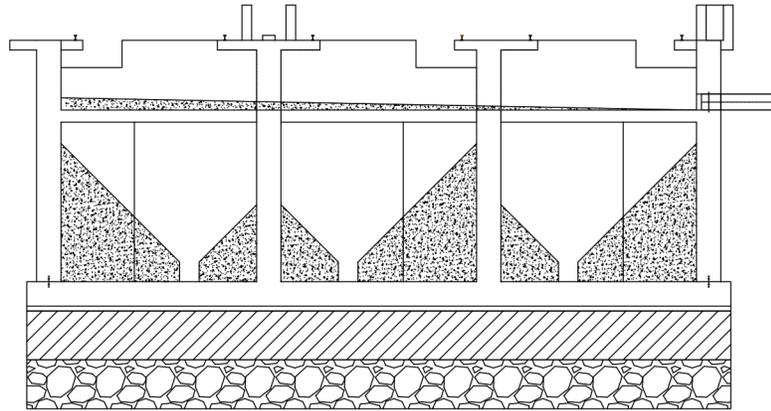
referirse a materiales similares a la arena y la grava debido a su abrasividad y altas tasas de sedimentación; incluso puede decirse ser material granular. Las cenizas, semillas, cáscaras de huevo y otras sustancias no perecederas y más pesadas que las orgánicas transportadas por las aguas residuales son similares a la arena y consisten en arena de sílice, asfalto, concreto y varias otras sustancias con una gravedad específica de 2,65. Además, estas partículas no son esferas perfectas y están expuestas a grasas, aceites y jabones que recubren el grano y alteran su velocidad de sedimentación. (Davis, 2019)

Los desarenadores se diseñan para remover partículas de arena mayores a 0,200 mm en agua limpia con una gravedad específica promedio de $2,65 \text{ t/m}^3$, con una tasa de remoción promedio del 90%. Si se esperan grandes cantidades de partículas de menor diámetro, a veces se diseñan para eliminar estas partículas. La eliminación de arena durante el pretratamiento en la PTAR es importante para:

- Proteger las bombas, especialmente las de las líneas de lodos, y otros equipos mecánicos en movimiento (centrífugas o equipos de bombeo en la etapa de deshidratación) del desgaste innecesario. El uso y desgaste acorta la vida útil del equipo y aumenta los costos de operación y mantenimiento.
- Evitar el bloqueo de depósitos en tuberías y conductos, que pueden reducir el caudal.
- Evitar la acumulación de sólidos en la parte inferior del decantador primario y en el digestor de lodos. En los digestores anaeróbicos, puede haber una producción de metano reducida, sólidos volátiles reducidos o problemas de mezcla y homogeneización que son críticos en el proceso de tratamiento de estas aguas.
- Reducción de la acumulación de material inerte en los tanques de aireación, lo que resulta en tiempos de residencia más cortos. En la mayoría de las plantas de tratamiento, la acumulación de arena suele producirse de forma gradual y continua, hasta que el sistema colapsa y el proceso pasa desapercibido, con problemas de paradas y laboriosas operaciones de extracción que se derivan.

Figura 3

Representación desarenadores de la PTAR Loja



Nota: Se puede observar un corte transversal de los desarenadores de la PTAR de Loja.

5.2.2. Desarenadores Aireados

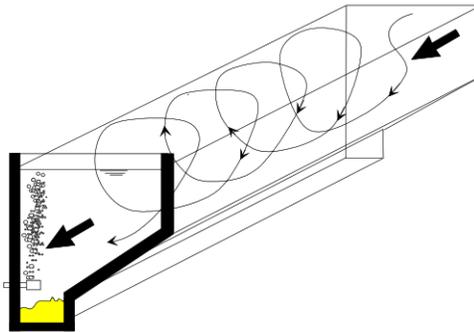
Un enfoque común que se usa actualmente en instalaciones de remoción de arena de mediana y gran escala son las trampas de arena aireadas. Los desarenadores aireados se pueden adaptar a diferentes condiciones para lograr un rendimiento óptimo y refrescar las aguas residuales agregando aire para reducir los olores y mejorar la eliminación primaria.

Usando dispositivos aireados de remoción de sedimentos, se suministra aire a través de un difusor ubicado en el costado del tanque a medida que las aguas residuales pasan a través del tanque, creando un patrón de flujo en espiral en las aguas residuales. La entrada y la salida de la ranura están posicionadas para dirigir el flujo perpendicular a la forma helicoidal. La velocidad de los rodillos es suficiente para mantener en suspensión las partículas orgánicas más ligeras y asentar las partículas de arena más pesadas.

El flujo de aire debe ser ajustable para proporcionar índices de volteo óptimos. Las pautas de diseño de WEF establecen que un tiempo mínimo de retención hidráulica de 3 minutos a un índice de flujo máximo por hora garantiza una eliminación adecuada de arena gruesa.

Figura 4

Representación de un desarenador aireado



Nota: Se puede observar la circulación helicoidal del agua en un desarenador con aireación.

Según (Droste, 2019) la aireación tiene muchos beneficios en el tratamiento del agua. Muchos materiales problemáticos que se eliminan por aireación se encuentran a menudo en las aguas subterráneas. Esto generalmente proviene de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y aguas residuales. Estas sustancias deben estar presentes en cantidades que sean perjudiciales o provoquen un uso excesivo de productos químicos en el proceso de tratamiento del agua esto antes de que se pueda integrar el equipo de aireación en el proceso de tratamiento, en algunos casos se puede considerar la aireación para mezclar en el estanque de coagulación. Sin embargo, el grado de tratamiento de aireación en los coagulantes de aireación difusa puede no ser tan alto como en las unidades de aireación; además, la velocidad de eliminación de algunos compuestos se ve alterada por la adición de coagulantes durante el proceso de precoagulación.

El uso principal de la aireación de las aguas residuales es la oxigenación de los procesos de tratamiento biológico aeróbico. Otro uso de las aguas residuales es la extracción de aire para eliminar los compuestos orgánicos volátiles tóxicos. El principal objetivo y efecto de la aireación en el tratamiento del agua es el posterior crecimiento de algas. El sistema de ventilación externo expone el agua a la luz solar y promueve el crecimiento de algas. Estas algas pueden producir compuestos de sabor y olor. Alternativamente, desarmar el sistema de distribución puede causar problemas similares. Los desarenadores aireadores ofrecen algunos beneficios:

- El agua está aireada, lo que ayuda a evitar o reducir la creación de olores.

- La salida permanece constante para los cambios en el flujo.
- Pérdida de carga muy pequeña.
- Las arenas extraídas tienen un bajo contenido de materia orgánica, siempre que el flujo de aire esté bien controlado.
- Puede utilizarse como desengrasante, cuando el contenido de grasa en el agua cruda no sea excesivo.

5.3. Sistema SCADA

Los sistemas SCADA se conocen en español como Control Supervisor y Adquisición de Datos según (Penin, 2011), el SCADA es cualquier software que permite el acceso a datos remotos y permite, utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso, el control del mismo.

Según (Cerrada, Cardillo, y Prada, 2011) los SCADA ofrecen una nueva característica de automatización que realmente pocos sistemas tienen: la de supervisión. El clásico supervisor soportado por un SCADA es un sistema de control que integra las tareas de detección y diagnóstico de fallas, como una actividad previa que permite incorporar de manera natural el control de fallas.

5.4. PLC:

Se entiende por controlador lógico programable (PLC) a toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales, son ampliamente utilizados en el control de maniobras de máquinas, maniobra de instalaciones y en aplicaciones de señalización y control. No podemos dejar de lado los pequeños PLCs para uso más personal. (Antonio, Cisneros, y Vernon, 2022)

5.5. Profinet

El Instituto Nacional de Ciberseguridad citado por (Bowne, 2020) propone la siguiente definición al término Profinet. ‘PROFINET es un estándar abierto de Ethernet industrial.

Es un protocolo de comunicación que intercambia datos entre controladores y dispositivos de automatización. Con más de 25 millones de nodos instalados (2018), PROFINET es uno de los estándares de Ethernet industrial más usados del mundo. PROFINET tiene 3 canales de comunicación: TCP/IP y UDP/IP, tiempo real (RT) y tiempo real isócrono (IRT)'.

PROFINET es un nuevo concepto de automatización que emerge de la tendencia general hacia plantas modulares con maquinaria reutilizable con inteligencia distribuida. PROFINET está disponible como especificación, incluyendo datos sobre como conectarse y los módulos a utilizar. Asimismo, incluye el código que se debe usar en su implementación con lo que se permite una rápida integración de las diferentes partes del proyecto. Esto quiere decir que los problemas de interacción entre partes del bus quedan reducido a un mínimo. (Guevara Ortiz y Rosero Ortíz, 2013)

Este tipo de protocolo de comunicación nos sirve y facilita el intercambio de datos entre los controladores y dispositivos de comunicación. Asimismo PROFINET IO utiliza hardware y software Ethernet tradicional para definir una red estructurada que intercambia datos, alarmas y diagnósticos con PLC y otros controladores.

PROFINET IO utiliza hardware y software Ethernet tradicional (red de comunicación capaz de procesar extensa cantidad de datos a velocidades de 10 Mbps y hasta 1500 bytes) para definir una red estructurada que intercambia información, señales y diagnósticos con PLC y otros controladores, este se concreta en procesar datos de controladores lógicos programables.

PROFINET CBA (Automatización basada en componentes) se centra en los sistemas de automatización, este proporciona un sistema basado en DCOM (Modelo de objeto de componente distribuido) para organizar sistemas de automatización en redes de pares que pueden intercambiar datos automáticamente mediante relaciones sistema predefinido entre interfaces de componentes de automatización. (Guevara Ortiz y Rosero Ortíz, 2013)

5.6. Profibus

Es un bus de campo que permite la comunicación entre controladores, actuadores, instrumentación y sensórica en entornos industriales. Es el bus de campo más utilizado a nivel mundial con más de 50 millones de dispositivos que lo utilizan.

PROFIBUS elimina cableado en las líneas de producción, reduciendo costes de diseño e

instalación. Proporciona un mejor control que el cableado Ethernet clásico, mejorando así la gestión de activos para asegurar una mayor productividad.(Mirmi, 2018)

PROFIBUS es un bus de campo estandarizado para sensores y actuadores en red. Se utiliza en diversos sectores de la automatización industrial como la automatización de procesos o de edificios. PROFIBUS permite la comunicación entre dispositivos de diferentes fabricantes sin necesidad de adaptaciones de interfaz.(Wiedemann, 2018)

Podemos definir que PROFIBUS como un bus de campo, comprende protocolos integrados en el mismo paquete de tecnología, los usuarios pueden combinar múltiples protocolos PROFIBUS con su propio componente lógico, brindando una aplicación única con muchos perfiles disponibles, este bus de campo satisface requerimientos específicos. Los dispositivos PROFIBUS corresponden a redes confiables y de alta calidad.

5.7. Interfaz Humano-Máquina HMI

Se trata de una Interfaz Humano-Máquina, la abreviación se debe por su nombre en inglés: Human-Machine Interface.

Las HMI convierten variables de proceso complejas en información utilizable y procesable. El HMI proporciona una vista operativa del proceso y controla y optimiza el proceso ajustando la producción y sus objetivos. El propósito de la HMI es mostrar información operativa en tiempo real de una manera fácil de entender. Los gráficos visuales del proceso dan significado y contexto al estado del motor y la válvula, los niveles del tanque, la presión, la vibración y otros parámetros del proceso.

El sistema HMI le presenta el proceso, para que pueda controlarlo y optimizarlo ajustando los resultados y los objetivos del proceso. También ayudan a los gerentes y supervisores a mejorar los procesos al proporcionar histórico de información y proyecciones sobre eficiencia de equipos o la calidad del producto. La flexibilidad y la funcionalidad avanzada del software HMI actual ofrece nuevas y enormes oportunidades para aumentar la eficiencia de las máquinas y los procesos. (Seghers, 2019)

Esta interfaz es el medio de comunicación entre un operador y un determinado hardware, para el caso de control de procesos la HMI, se caracteriza por entregar al usuario datos básicos de todo el sistema de control de procesos, en las diferentes variables como de proceso, de control y set point. o de consigna, que caracteriza la HMI es que entrega los datos en tiempo real, es decir al instante que se ejecuten las diferentes variantes. Es preciso que una HMI

este provista de detalles gráficos y componentes numéricos. Además debe incluir terminología estandarizada y clara para el operador.

Es muy relevante que las variables de proceso, set point y variable de control sean lo más específicas, claras y precisas de tal manera que para el operador sea fácil su operación; además, llevar un registro histórico de las variantes que se den en todo el proceso con el objetivo de estudiar su comportamiento. (Ruíz Lizama, Inche Mitma, y Chung Pinzás, 2008)

5.8. Tia Portal

TIA PORTAL (Totally Integrated Automation Portal) se considera una herramienta que integra diferentes software SIEMENS como: SIMATIC STEP 7, WinCC así como componentes y módulos para soluciones de automatización basadas en PC con SIMATIC.

Esto es para una mejor planificación, procesamiento y operación de proyectos de automatización. SIEMENS TIA PORTAL incorpora funciones técnicas especiales que permiten aplicaciones de control PID y aplicaciones de control de movimiento con salidas analógicas y digitales mediante servomotores o motores paso a paso. SIEMENS se refiere al software TIA PORTAL como el concepto de integración de diferentes herramientas de automatización en un solo paquete para PLC, paneles de operador, redes de comunicación y otros dispositivos. (Álvarez Salazar y Mejía Arango, 2017)

El Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) brinda acceso ilimitado a una gama completa de servicios de automatización digital, desde planificación digital e ingeniería de integración hasta operaciones transparentes. La nueva versión reduce el tiempo de comercialización, por ejemplo, con herramientas de simulación, aumenta la productividad de la planta con diagnósticos adicionales y funciones de administración de energía, y brinda mayor flexibilidad al conectarse al nivel de administración. (Álvarez Salazar y Mejía Arango, 2017)

El ingeniero Industrial (Vaello, 2019) propone la siguiente definición al término Tia Portal: ‘Es la plataforma de ingeniería de Siemens que ofrece soluciones de automatización en todos los sectores industriales del mundo, integrando todas las tareas de automatización de un proceso industrial. Vivimos en un mundo en el que las plantas y procesos industriales son cada vez más complejos. Cada vez más sistemas están conectados en red, y como consecuencia de esto el número de herramientas de ingeniería crece exponencialmente y cada una de ellas

es diferente de la otra. Con lo cual, la complejidad para los técnicos es mucho mayor. Para intentar solucionar esta complejidad, Siemens creó hace 10 años Tia Portal con la idea de combinar todas estas herramientas en una.'

Por lo tanto podemos comprender TIA Portal es un innovador sistema de ingeniería que permite la configuración intuitiva y eficiente de todos los procesos de planificación y fabricación. Impresiona por su funcionalidad probada y proporciona un entorno de ingeniería unificado para todas las tareas de control, visualización y accionamiento.

Con una nueva generación de editores programables más eficientes, se optimizan la calidad, la eficiencia y la consistencia de todo el proceso de producción. Como resultado, están disponibles textos estructurados, diagramas de escalera, diagramas de funciones, listas de instrucciones y capacidades de programación de cadenas de procesos.

5.9. MODBUS

El protocolo MODBUS es uno de los protocolos industriales más antiguos, apareció para transmitir el recibir datos de control entre los controladores y los sensores mediante comunicación serial RS-232, RS-422 o RS485. Modbus es una estructura de mensajería estableciendo la comunicación maestro/esclavo, en el que cada solicitud del maestro es tratada de forma independiente por el esclavo.(Gómez Zeballos, 2014)

En una red MODBUS se dispone de un equipo maestro que puede acceder a varios equipos esclavos. Cada esclavo de la red se identifica con una dirección única de dispositivo. Un maestro puede hacer dos tipos de peticiones a un esclavo: para enviar datos a un esclavo y espera su respuesta confirmación, o para pedir datos a un esclavo y espera su respuesta con los datos. Las peticiones de lectura y escritura que envía un maestro llevan asociado un código de función que el esclavo debe ejecutar. Según ese código, el esclavo interpretará los datos recibidos del maestro y decidirá qué datos debe devolver. Los códigos de función dependen de los dispositivos y de las tareas que estos pueden realizar.(Candelas, 2018)

Podemos definir el termino Modbus como un protocolo de comunicación abierto que se utiliza para transferir información a través de una red en serie entre dispositivos electrónicos. Los dispositivos que solicitan información se denominan maestros Modbus y los dispositivos que brindan información son esclavos Modbus.

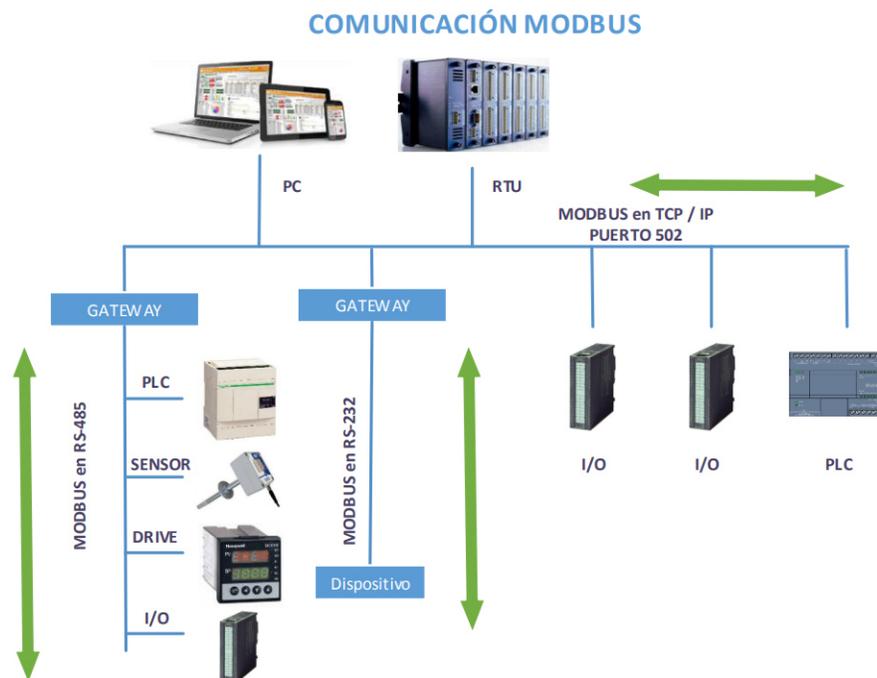
En la práctica, esto significa que el dispositivo esclavo no puede proporcionar información; tienes que esperar el aviso. El maestro escribe datos en los registros esclavos y lee datos de

los registros esclavos. Su sencillez y el hecho de que los fabricantes puedan integrarlo en sus productos de forma gratuita lo ha convertido en el método de conexión electrónica industrial más popular. Por lo tanto, son estos protocolos abiertos los que muchos fabricantes están adaptando para integrar fácilmente sus productos en el mercado.

Para intercambiar las peticiones y respuestas, los dispositivos de una red MODBUS organizan los datos en tramas.

Figura 5

Ejemplo de Arquitectura de red Modbus.



Nota: En la Figura se indica que cualquier equipo tiene la posibilidad de iniciar una operación remota. El gateway permite una comunicación del bus serial y el bus Ethernet TCP. extraída de Aguirre Espin (2018)

5.9.1. MODBUS-TCP:

MODBUS TCP/IP hace referencia al protocolo de control de transmisión y al protocolo de Internet, que proporciona el medio de transmisión para los mensajes Modbus TCP/IP. En pocas palabras, TCP/IP permite el intercambio de bloques de datos binarios entre computadoras. La función principal de TCP es garantizar que todos los paquetes se reciban correctamente,

mientras que IP garantiza que los mensajes se direccionen y enruten correctamente. La combinación TCP/IP no es más que un protocolo de transporte y no define qué significan los datos o cómo se interpretan.

En resumen, Modbus TCP/IP utiliza TCP/IP y Ethernet para transferir datos de estructura de mensajes Modbus entre dispositivos compatibles.

Ventajas del protocolo

- Un dispositivo con un propósito simple solo necesita implementar uno o dos tipos de mensajes, y la administración y expansión son relativamente simples.
- No se requieren herramientas de configuración complicadas al agregar nuevas estaciones a una red Modbus/TCP.
- Cualquier sistema informático con una pila TCP/IP puede utilizar Modbus/TCP. Se puede utilizar para comunicarse con una gran cantidad de dispositivos MODBUS instalados utilizando productos de conversión que no requieren configuración.
- Su rendimiento es muy alto y suele estar limitado por las capacidades de comunicación del sistema operativo del ordenador.
- Se pueden lograr altas tasas de transferencia en una sola estación y la red se puede configurar para lograr tiempos de respuesta garantizados en el rango de milisegundos. Responderán a las solicitudes entrantes en tiempos que normalmente varían entre 20 y 200 milisegundos. Su complejidad es escalable.

6. Marco metodológico

6.1. Metodología de la Investigación

Este trabajo presenta la siguiente metodología:

6.1.1. Investigación de enfoque

- **Cuantitativo:** La propuesta de "Diseño de un sistema de control para los tres equipos desarenadores de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja(PTAR), a través de adquisición de señales y mandos mediante un controlador y el protocolo MODBUS-TCP", tiene un enfoque metodológico cuantitativo.

La investigación cuantitativa es una forma de hacer ciencia a través de estudios empíricos cuyos datos se recogen mediante herramientas numéricas. Es decir, los fenómenos observados por el investigador se pueden cuantificar y registrar, ya sea de una manera estadística, computacional o matemática en general.(Berkeley, 2014)

6.1.2. De tipo

- **Aplicada:** se enfoca a brindar soluciones al Municipio de Loja, quien mantiene una responsabilidad social con la comunidad lojana

6.1.3. Presenta un diseño

- **Experimental:**Se va a manipular y medir variables para poder controlar y validar el diseño a implementar.

6.1.4. Alcance

- **Exploratorio:**Se identificarán las variables así como se determinará el espacio físico que estas van a requerir.
- **Descriptivo:** Especificación de las variables y el espacio físico.
- **Correlacional:** Asocia las variables:
 - Variabes de control
 - Variabes mecánicas
 - Materiales

6.2. Metodología del proceso

6.2.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño del sistema de control de los desarenadores de la Planta de tratamiento de aguas Residuales de Loja(PTAR)

Un hecho histórico representa que la ciudad de Loja este dentro de las primeras ciudades responsables de cuidar el medio ambiente, es esta una de las principales motivaciones que ha llevado a que el presente proyecto de investigación se desarrolle dentro de la PTAR.

Se empezó con una visita a la Planta donde se ha tenido el primer acercamiento para identificar alguna problemática que pueda ser solucionada con el aporte de la Academia en el marco de un Proyecto de Tesis.

A esta iniciativa se sumó un aspecto positivo que es el Convenio de Cooperación Interinstitucional entre la UPS sede en Cuenca y el GAD-L, firmado el 26 de octubre del 2020 en el cual se da la posibilidad de desarrollar el tema de investigación dentro de la institución.

En la primera visita se ha tenido el acercamiento con el Ing. Jefferson Marchena en su calidad de Especialista de Proceso de la PTAR, con el Analista Eléctrico Ing. Oscar Cabrera y en representación del Consorcio español con el Ing. Nelson Vaca. Se realizó un recorrido por la Planta y se ha podido tener un dialogo de cerca con los operadores de turno.

Continuando con las visitas, mismas que han sido varias y con el objetivo de buscar la problemática más notoria de la PTAR, se solicitó autorización al GAD-L para realizar una encuesta a todos los operadores, Analistas tanto eléctrico como mecánico, laboratorista y Especialista de Procesos de la PTAR.

Los resultados han enfocado a presentar alternativas de solución a los puentes desarenadores. Es preciso indicar que en el Sistema SCADA existente no incluyen a los puentes desarenadores, por situaciones contractuales estos equipos no han sido incluidos para su control y automatización.

Una vez identificado dicha problemática se ha presentado formalmente al GAD-L la respectiva solicitud, para que se autorice los estudios correspondientes a Diseño e implementación de un sistema de control de los equipos desarenadores de la "Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja"(PTAR)".

La respuesta por parte de la primera autoridad fue inmediata aceptando la presente petición y delegando al Ing Jefferson Marcheno, para que realice el repectivo acompañamiento.

El proceso de investigación ha sido bastante extenso, comprende varias visitas a la PTAR, revisión de Dossier de los equipos que se encuentran instalados, conocer los voltajes con que trabajan los equipos, sus respectivas protecciones, ubicar cada uno de los CCM, además a requerido una serie de aprendizajes en lo relacionado con manejo de Software como Solidworks,

Tía Portal, Inventor, Autocad, CADE-SIMU, EPLAN.

Ya en tareas practicas se ha utilizado los Laboratorios de Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana donde se han utilizado los PLCs s7-1500 para la simulación del proceso y para la comprobación del entorno Hombre maquina propuesto se ha conectado el computador y han sido puesto en marcha en dispositivos HMIs con los que cuentan los laboratorios.

Dentro del marco de estudio se han obtenido los siguientes datos que se describen a continuación que corresponden a el proceso de desarenado con el fin de entender como funciona el proceso e identificar las variables a controlar

- **Descripción del equipo desarenador**

El equipo Desarenador de barrido alternativo, es una máquina de diseño sencillo y robusto,previsto para montar directamente sobre un tanque rectangular de obra civil. Sobre los muros laterales, se instalan sendos carriles de rodadura para el desplazamiento longitudinal del puente.

El puente está construido con perfiles laminados electrosoldados, con barandillas de protección tubulares y piso de entramado galvanizado, sobre el que se instalan todos los elementos de del desarenador.

El accionamiento se realiza a través de un motorreductor de sinfín-corona de eje hueco, que va montado directamente sobre el eje de transmisión, el cual transmite el movimiento a las ruedas motrices a través de un acoplamiento rígido y una junta tipo CARDAN, imprimiendo una velocidad final al eje motriz de 1,6 m/min.

En el otro extremo hay un par ruedas locas que giran sobre cojinetes de bolas autoalineables. El raspador de limpieza flotante es accionado por un motorreductor de sinfín-corona, que tiene un eje principal para el movimiento hacia arriba y hacia abajo, controlado por finales de carrera limitadores de recorrido. La gestión de todo el puente se realiza a través de un cuadro eléctrico local instalado en el puente.

- **Ficha Técnica del Puente Desarenado Desengrasador**

Tabla 2*Características Generales.*

Ficha Técnica	
Puente Desarenador Desengrasador	
Marca	Filtramasa
Modelo	DS 3101163
Proceso	Puente móvil barredor de canal desarenador
Características Generales	
Tipo	Puente móvil barredor de canal desarenador
Longitud de recorrido	18m
Ancho libre de canales	4m
Accionamiento	
Traslación del puente	Motorreductor de 0,25 Kw
Elevación rasquetas flotantes	Motodreductor 0.18kw
Tensión y frecuencia	460V / 60Hz

- **Ficha Técnica del Barredor**

Tabla 3*Características Barredor de canal Desarenador.*

Ficha Técnica	
Barredor de canal desarenador	
Marca	Licar
Modelo	T41-80
Proceso	Extracción de arenas
Características Generales	
Tipo	Bomba Centrifuga Vertical
Punto de Funcionamiento	A rodete medio
Caudal	$55m^3/h$
Altura de impulsión	2.5 mca
Longitud de eje	1515 mm
Rendimiento Hidráulico	35%
Peso aproximado	250 kg
Motor	
Modelo	1AV3104C
Marca	SIEMENS
Potencia	1.75 Kw
N. de Polos	4
Tensión/frecuencia	460V / 60Hz
N. de fases	Trifásico

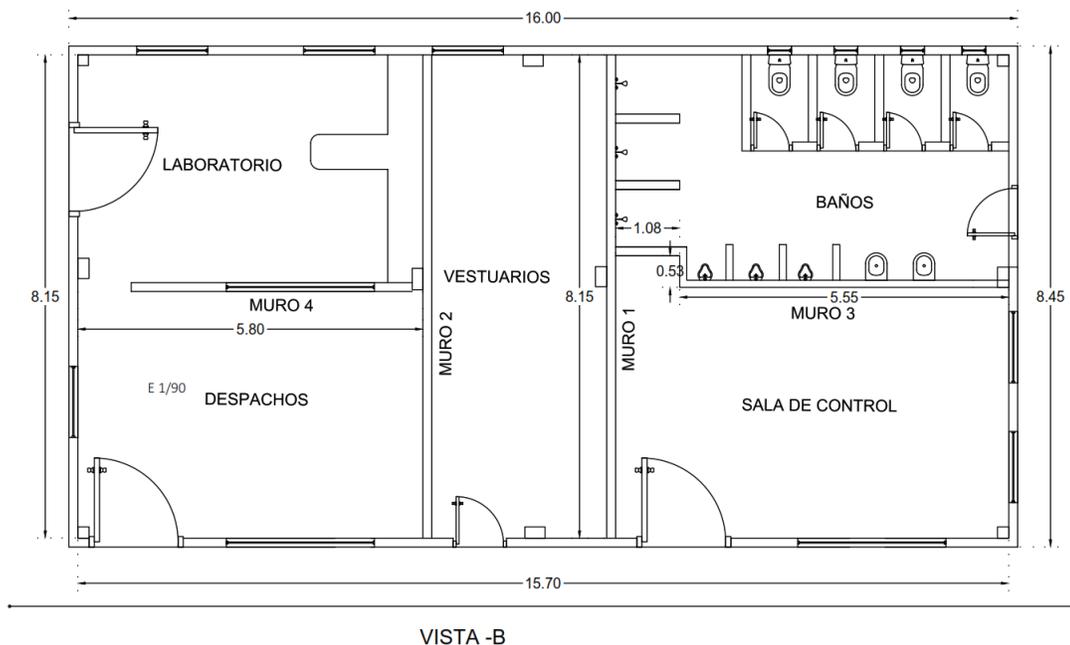
6.2.2. Propuesta del diseño de control de los desarenadores de la Planta de tratamiento de aguas Residuales de Loja(PTAR)

El sistema SCADA para control automatizado de la planta de tratamiento debe estar funcional en un Centro de Operaciones dispuesto en el edificio administrativo (debe constar con mecanismos de respaldo, conexión a Internet, UPS, impresora, etc).

El software controlará en forma automatizada el funcionamiento de los desarenadores de la planta. Para que este software funcione de manera efectiva se debe llevar a cabo una serie de trabajos de preparación y chequeo de su funcionamiento. Estos trabajos, denominados talleres o laboratorios, ejecutados digitalmente en computadora pueden ser ejecutados durante la Instalación inicial del software SCADA Y los PLCs o, alternativamente, durante el periodo de puesta en marcha de la planta de tratamiento. aprobados, al inicio de la operación de la planta de tratamiento.

Figura 6

Vista en planta.



VISTA EN PLANTA SALA DE CONTROL
Escala: 1/150

Nota: Se puede observar la vista en planta de la sala de Control, se puede ver el dibujo en completo en anexos

Todos los sistemas de control eléctricos, motorizados y mecánicos deberán ser supervisado en cuanto a conexión y operación al inicio del proceso de la PTAR.

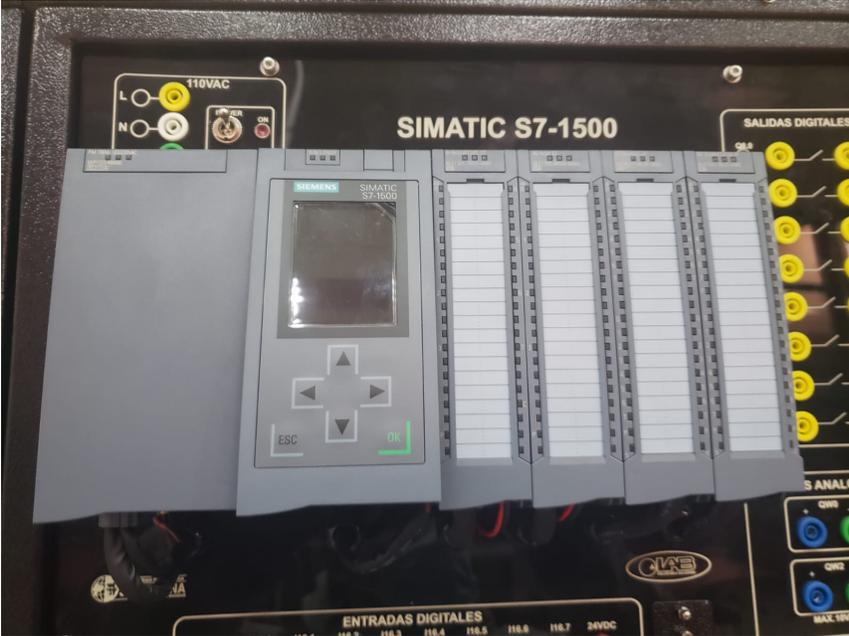
Los equipos tendrán certificados oficiales expedidos por laboratorios , que avalen la configuración de acuerdo a los requerimientos y que superen los ensayos de inmunidad ante radiaciones electromagnéticas y perturbaciones eléctricas, de acuerdo a lo establecido por las normas IEC.

El sistema de control, previa su instalación, será probado en un laboratorio o banco de pruebas de la Universidad Politécnica Salesiana donde se chequeará la operación de cada elemento del sistema (software). Esta prueba en un laboratorio de sistemas permitirá definir la

forma como el programa SCADA ha sido configurado para controlar el proceso de desarenado de la planta.

Figura 7

PLC S7-1500 del laboratorio de Potencia de la UPS.



Nota: Fuente Autor.

Figura 8

HMI del laboratorio de Potencia de la UPS.



Nota: Fuente Autor.

Figura 9

Motor del laboratorio de Potencia de la UPS.



Nota: Fuente Autor.

El Proveedor de los equipos facilitará el Protocolo de Pruebas con antelación suficiente

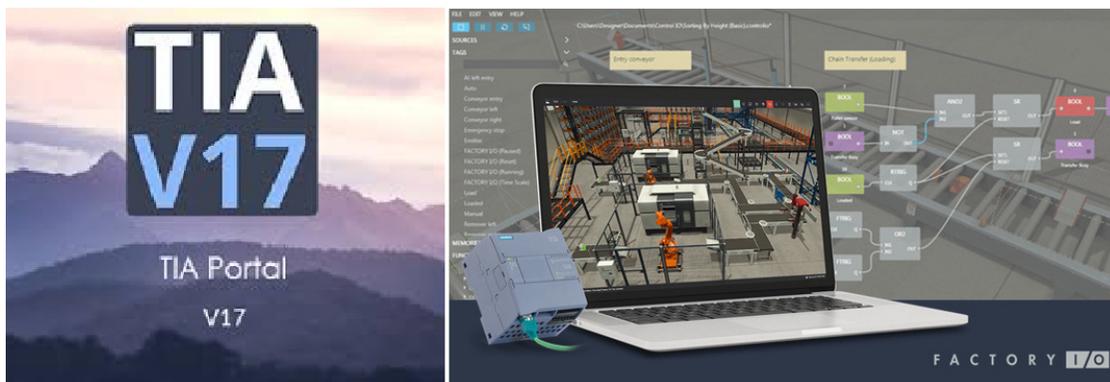
para verificar las pruebas necesarias para el funcionamiento del sistema de control. Este documento deberá ser aprobado por el Administrador de la planta como .condición previa al comienzo del período de puesta en marcha.

Para todas las pruebas y comprobaciones de la configuración y tratamiento. programación del sistema se utilizará un simulador. Al inicio del periodo de puesta en marcha, todos los diferentes procesos simulados en el laboratorio de sistemas serán chequeados con los sistemas conectados a los diferentes PLCs y controles. En particular se chequeará la funcionalidad de la lógica, las secuencias, los lazos control e interfaces de comunicaciones.

Se usaran los softwares de TIA-Portal y los bancos de practica de la Universidad Politecnica Salesiana para la comprobación y simulación del proceso planteado.

Figura 10

Softwares de simulación.



Nota: Software de simulación Tia Portal.

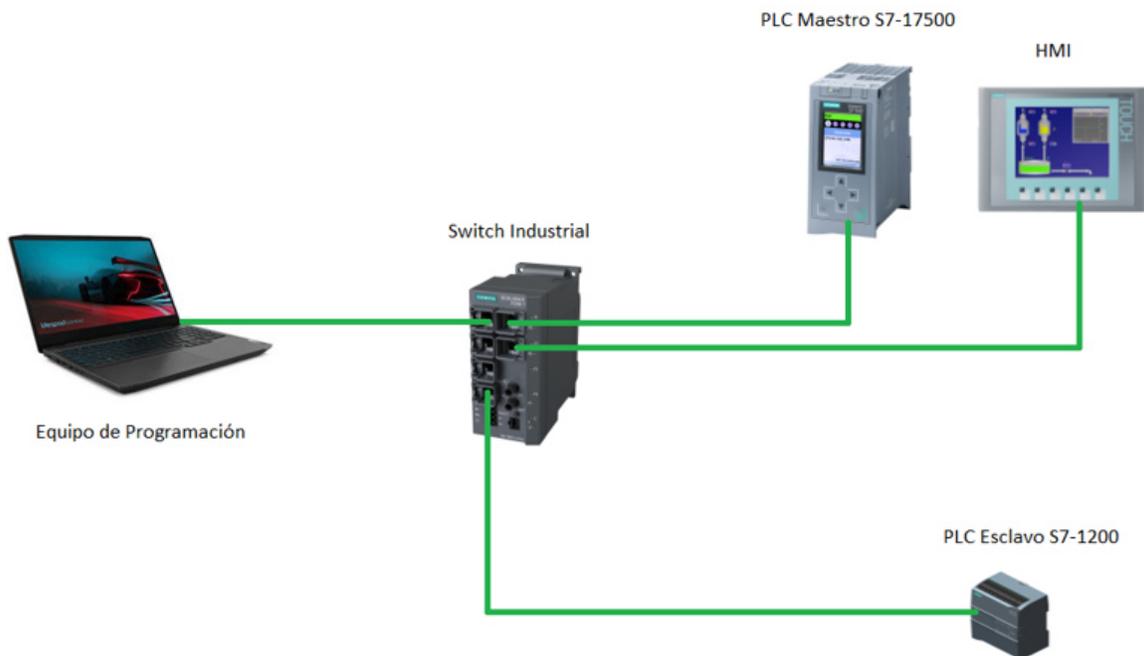
6.2.3. Descripción del Hardware

Comunicación mediante protocolo Modbus TCP/IP Modbus TCP está basado en la arquitectura cliente/servidor a nivel de capa de aplicación, por lo tanto, para implementar una red de comunicación TCP es importante establecer inicialmente cuáles serán actores que conforman la red, su función y el direccionamiento respectivo. Como se muestra en la figura, la red TCP cuenta con tres equipos aptos para comunicarse bajo el protocolo Modbus TCP/IP, estos son:

- PLC SIMATIC S7-1200
- Pantalla Táctil HMI
- PLC SIMATIC S7-1500

Figura 11

Arquitectura red LAN



- Selección del PLC Maestro

Los controladores avanzados SIMATIC S7-1500 proporcionan el máximo rendimiento para máquinas de tamaño mediano a alto con altas exigencias en cuanto a rendimiento, comunicación, flexibilidad y funciones tecnológicas. El controlador SIMATIC S7-1500 incrementa el tiempo de reacción y, con ello, la productividad de tu planta.

- Marca: Siemens
- Modelo: 6ES7 214-1BE30-0XB0
- CPU: 1212C

Figura 12

PLC S7-1500.



Nota: PLC S7-1500 (Siemens, 2019)

Información General	
Designación del tipo del producto	CPU 1515-2 PN
Version Funcional del HW	FS03
Versión de firmware	V2.9
Funcion del Producto	
Datos de I&M	SI; I&M0 A IM&3
Modo Isócrono	SI; Centralizado y descentralizado; con ciclo OB 6x mínimo de 500 us(descentralizado) y 1 ms (centralizado)
Ingeniería con	
STEP 7 TIA Portal configurable/integrado desde version	V17 (FW V2.9)/ V13 (FW V1.5) o superior
Control de la configuración	
Via Registro	SI
Display	
Diagonal de pantalla [cm]	6.1 cm
Elementos de mando	
Nº de teclas	6
Slector de modo	1
Tensión de Alimentación	
Valor nominal (DC)	24V
Rango admisible, limite inferior (DC)	19,2V
Rango admisible, limite superior (DC)	18,8V
Protección contra versión de polaridad	Si

6.2.4. Switch de comunicación

Se a elegido el equipo SCALANCE X206-1, managed IE Switch, 6x 10/100 Mbits/s puertos RJ45, 1x 100 Mbits/s BFOC multimodo, diagnóstico led, Contacto de señalización de fallo con pulsador SET, parada, alimentación redundante, dispositivo PROFINET IO, gestión de red, administrador de redundancia integrado.(Siemens, 2019)

6.2.5. Seleccion del HMI

HMI KTP600 El dispositivo KTP600 Basic Color ofrece una pantalla táctil de 5,7 pulgadas y, además, 6 teclas táctiles. Está disponible en dos versiones: de color KTP600

Basic DP para las conexiones MPI / PROFIBUS DP y PN de color KTP600 Basic con una interfaz Ethernet.(Siemens, 2019)

6.2.6. Selección del PLC Esclavo

La marca SIEMENS posee varios controladores programables, dentro de ella la gama S7 – 1200 que con no mucho tiempo en el mercado se ha caracterizado por ser óptimas para tareas de automatización no complejas o sencillas, pero que requieren de alta precisión, controladores de alta velocidad de procesamiento, compactos, configuración flexible y con un amplio juego de instrucciones para su programación.(Siemens, 2019)

- Marca: Siemens
- Modelo:6ES7 214-1BE30-0XB0
- CPU: 1212C

Figura 13

PLC S7-1200.

SIEMENS



Nota: PLC S7-1200 (Siemens, 2019)

Tabla 4*Ficha técnica PLC S7-1200.Extraída de (Siemens, 2019)*

CPU 1212c	
Dimensiones físicas(mm)	90 x 100 x 75
Memoria de usuario :	
* Memoria de trabajo	25 KB
* Memoria de carga	1 MB
* Memoria remanente	2KB
E/S integradas locales	
* Digitales	8 entradas/ 6 salidas
* Analógicas	2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para etradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)
Área de marcas (M)	4096 bytes
Ampliación con módulos de señales	2
Signal Board	1
Módulos de comunicación	3(Ampliación en el lado izquierdo)
Contadores rápidos	4
* Fase simple	3 a 100 kHz
	1a 30 kHz
* Fase en cuadratura	3 a 80 kHz
	1220 kHz
Salidas de impulsos	2
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40%
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 us/instrucción
Velocidad de ejecución booleana	0,1 s/instrucción

6.2.7. Switch de comunicación

Se a elegido el equipo SCALANCE X206-1, managed IE Switch, 6x 10/100 Mbits/s puertos RJ45, 1x 100 Mbits/s BFOC multimodo, diagnóstico led, Contacto de señalización de fallo con pulsador SET, parada, alimentación redundante, dispositivo PROFINET IO, gestión de red, administrador de redundancia integrado

6.2.8. Arquitectura del Sistema

Con la automatización del proceso de desarenado pretendemos lograr una supervisión, control creando una base de datos de tiempos de funcionamiento de los equipos, estos datos servirán para plantear un plan de mantenimiento en base a las horas y ciclos que se encuentran funcionando los equipos. Alargando así la vida útil y evitando tiempos muertos que puedan perjudicar a la producción. PLCS a cargo del control de la planta De componentes de la planta se tienen los siguientes:

- ◇ Un PLC principal que actúa en forma de servidor recibiendo datos e información y enviando los mismos a un SCADA.
- ◇ Un PLC esclavo que será el encargado de la automatización del proceso de desarenado Controlador del sistema en general
- ◇ Supervisión por parte de los empleados de la PTARL
- ◇ Actuadores y por la pantalla HMI
- ◇ El tablero de distribución

Por parte de los PLCs principales encargados del proceso de control de desarenado de la planta tienen las funciones de:

- ◇ Atraves de sus salidas, enviar información hasta el SCADA del comportamiento del proceso para que pueda ser monitoreado visualmente y aplicar los respectivos correctivos e caso de existir algún error.
- ◇ En base a los ciclos y tiempos de trabajo los PLCs principales serán de mucha ayuda a la hora de programar un mantenimiento ya que se sabrá en base a las tendencias cuando el sistema es más propenso a fallar lo que hará planificar un mantenimiento preventivo en base a estos datos y tendencias.

- ◊ Con todos estos datos de entradas y salidas que llegan hasta los PLCs son enviadas hacia un HMI en el que se podrán visualizar estos datos a tiempo real e identificar cualquier novedad en el proceso.
- ◊ A su vez se dispone de un sistema de control de manera manual que permite aislar las señales del PLC ,y mediante ordenes estando físicamente en el tablero se podrá controlar la posición del puente de desarenado.

6.2.9. Flujo de información

El proceso de desarenado desengrasado al ser anteriormente controlado de manera electro-mecánica presentaba de un escaso control y debía estar siendo supervisado a cada momento por si se presentara alguna novedad con el diseño de un sistema de control se pretende añadir, modificar la estructura física e instalar distintos componentes que permitan la automatización del sistema que constara de un PLC principal, un PLC esclavo y una interfaz HMI donde se supervisarán los datos en general.

El proceso en general involucra que se genere una gran cantidad de variables e información, ya que con la automatización se controlaría el estado de las bombas, el tipo de proceso que se encuentran realizando, el número de idas, vueltas, subidas y bajadas y tiempos que han requerido dichas actividades

Tabla 5

Lista de datos

DATO CANDIDATO	FUNCIÓN	MEDIOS
Tiempo de ejecución de los equipos de tratamiento del agua	Mostrar el tiempo de ejecución del proceso de los motores de traslación,elevación y rotación	Barras de tiempo en la pantalla HMI
Indicador de funcionamiento .manual/automático	Indicar de que manera se realiza el proceso de desarenado	Luces Piloto en el tablero y aviso en pantalla HMI
Alarma señal de emergencia	Indicar errores que podrían poner en riegos a los operarios y al equipo	Parlante en la sala general de control,aviso en pantalla HMI
Estado de los motores	Indicar el ON/OFF de los motores para información del operador	Luces Piloto en el tablero y aviso en pantalla HMI
Estado de la bomba	Indicar el ON/OFF de las bombas para información del operador	Luces Piloto en el tablero y aviso en pantalla HMI
Protección de la información y programación	Evitar que terceros puedan alterar el código o dañar el protocolo de comunicación	Clave para administrador y bloqueo del sistema

Tabla 6

Datos Técnicos

MODO DE FUNCIONAMIENTO	
Atributo	Tipo de dato
Modo Manual .	Discreto
Modo Automático .	Discreto
Alarmas de aviso.	Discreto

Se realiza una breve descripción del software, el programa del PLC es secuencial, de forma que debe cumplir la lógica iniciado por su predecesora.

- Inicio del proceso
- Identificación de la posición del puente
- Activación del motor de traslación dependiendo de posición del puente
- Operación de ajuste
- Manipulación de errores en el sistema

6.2.10. Programación del PLC, con descripción de su lógica

Cada Modo posee un pulsador una bobina y un contacto normalmente cerrado que evita la energización simultanea de los dos modos de operación. Cada bobina envía la señal a sus debidos pulsadores

Figura 14

Programación PLC.

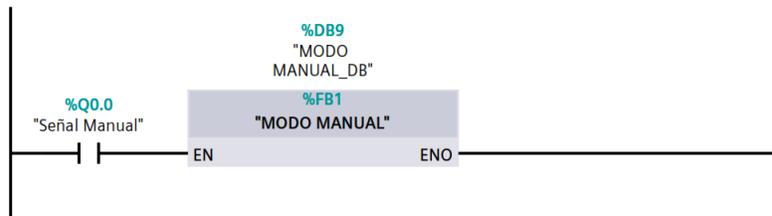


Nota: Fuente: Autor.

Con el selector en modo manual se habilita este bloque y avanza hacia los pulsadores respectivos

Figura 15

Programación PLC.

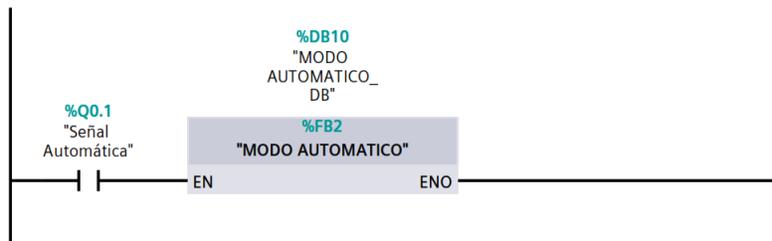


Nota: Fuente: Autor.

Con el selector en modo automático se habilita este bloque y avanza hacia los pulsadores respectivos.

Figura 16

Programación PLC.

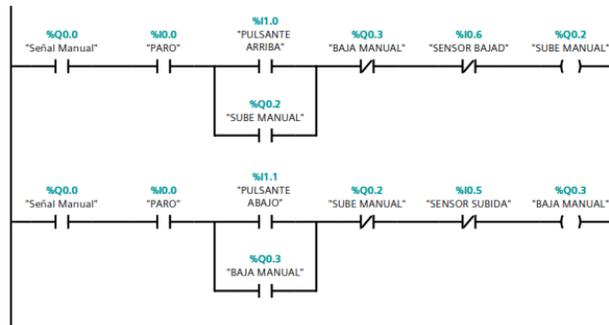


Nota: Fuente: Autor.

Con el selector en modo manual se habilitan estos pulsadores, cada pulsador envía la señal para accionar el motor en un sentido u otro hasta su respectivo fin de carrera (PD derecha y PI izquierda) , P1 sube y P2 baja , contactos normalmente cerrados para evitar energización simultánea .

Figura 17

Modo manual motor de elevación pulsadores P1 P2 subida y bajada

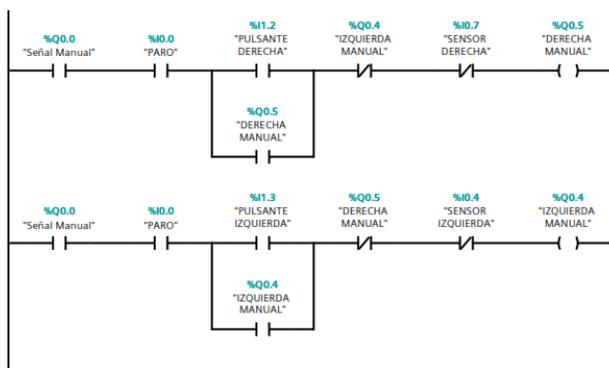


Nota: Fuente: Autor.

Se envía la señal para accionar el motor en un sentido u otro hasta su respectivo fin de carrera (PD derecha y PI izquierda), P3 izquierda y P4 Derecha , contactos normalmente cerrados para evitar energización simultánea .

Figura 18

Pulsadores Derecha Izquierda Manual

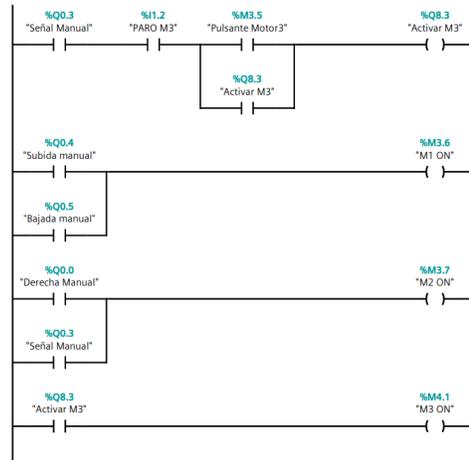


Nota: Fuente: Autor.

Modo Manual motor 3, para el motor 3 en modo manual se puede activar y desactivar tanto desde el cuadro de control como desde el HMI del PLC.

Figura 19

Activar Motor 3.

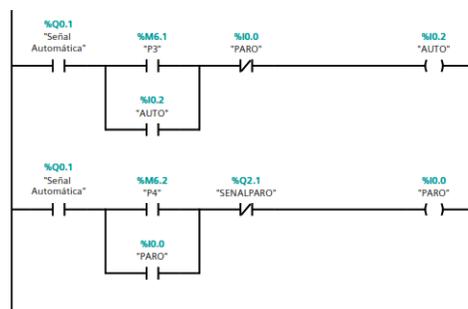


Nota: Fuente: Autor.

Con el selector en modo automático se activan estos pulsadores , P3 envía señal para activar ciclo infinito de bajadas y subidas de segundos y tiempos de espera de 10 : en cada posición . P4 envía señal para desactivación de modo infinito y regresar al punto de origen (Abajo) , contactos normalmente cerrados para evitar energizaciones simultáneas .

Figura 20

Programación PLC.



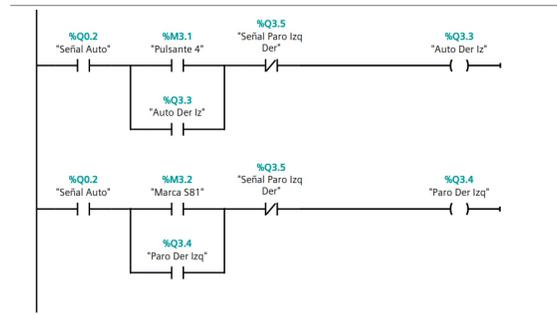
Nota: Fuente: Autor.

En modo automático P4 envía señal para activar ciclo infinito de bajadas y subidas de

segundos y tiempos de espera de 10 : en cada posición . P4 envía señal para desactivación de modo infinito y regresar al punto de origen (Abajo) , contactos normalmente cerrados para evitar energización simultaneas .

Figura 21

Programación PLC.

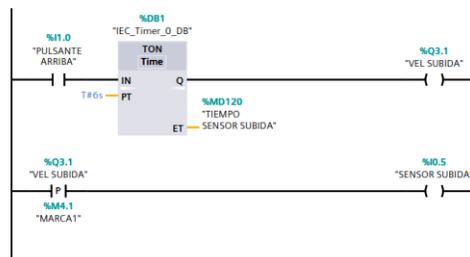


Nota: Fuente: Autor.

Fin de Carrera Subida : Por motivo de simulación y de acuerdo en lo medido en el proceso el motor subida bajada demora un tiempo de 6 segundos en llegar de arriba hacia abajo por lo que usaremos un timer para que después de 6 segundos active el sensor subida

Figura 22

Fin de Carrera Subida.

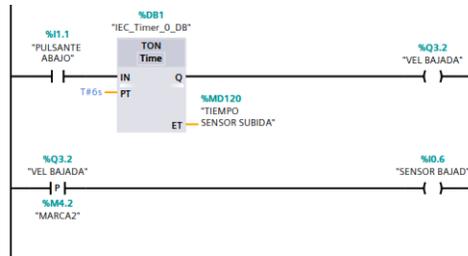


Nota: Fuente: Autor.

Fin de carrera bajada : Por motivo de simulación y de acuerdo en lo medido en el proceso el motor subida bajada demora un tiempo de 6 segundos en llegar de arriba hacia abajo por lo que usaremos un timer para que después de 6 segundos active el sensor bajada.

Figura 23

Fin de Carrera Bajada.

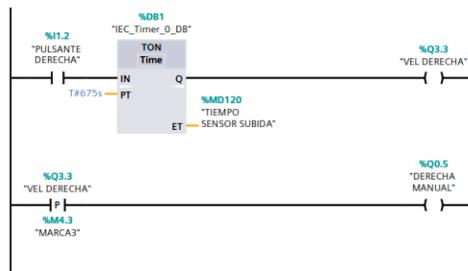


Nota: Fuente: Autor.

Fin de carrera derecha: Para el fin de carrera se supone que el puente al ir a una velocidad de 1.6 m/min llega al fin de carrera en 675 segundos , a los 675 segundos el timer envía una señal de disparo a S1 para desactivar y revertir el giro del puente.

Figura 24

Fin de carrera derecha.

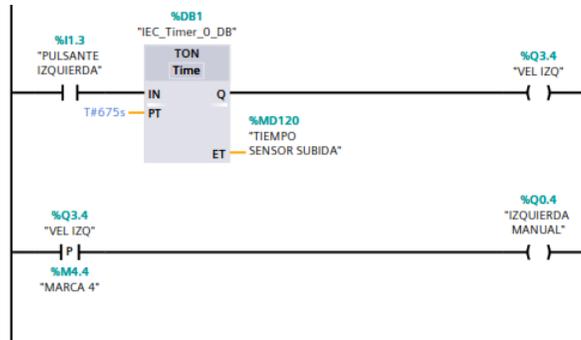


Nota: Fuente: Autor.

Fin de carrera izquierda: Para el fin de carrera se supone que el puente al ir a una velocidad de 1.6 m/min llega al fin de carrera en 675 segundos , a los 675 segundos el timer envía una señal de disparo a S2 para desactivar y revertir el giro del puente.

Figura 25

Fin de carrera izquierda.

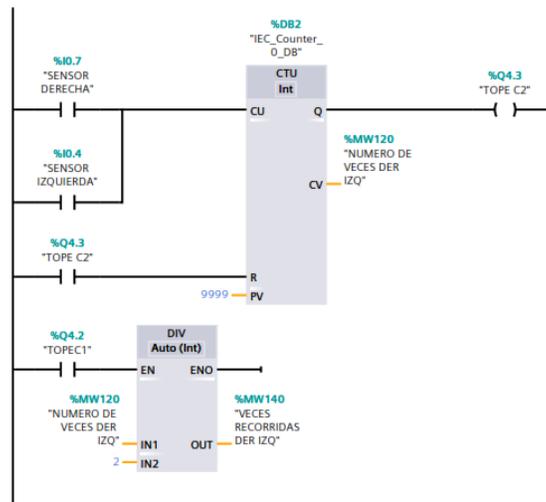


Nota: Fuente: Autor.

Contador idas y venidas Este contador sensa cada vez que los fines de carrera S1 y S2 son activados , el contador posee una señal de tope que reiniciara al mismo cuando llegue a su limite de cuentas , se divide este valor contado por C1 para saber el numero de subidas y bajadas como unidad .

Figura 26

Contador idas y venidas.



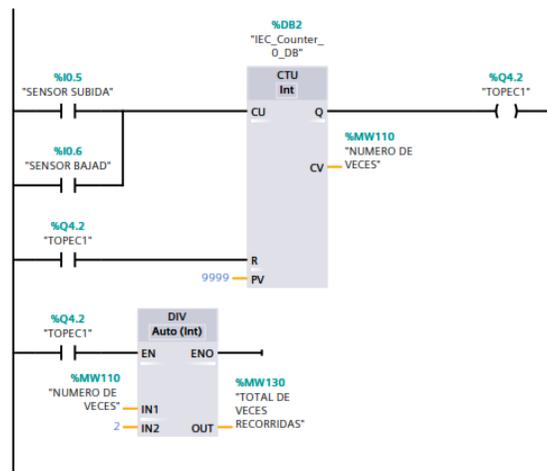
Nota: Fuente: Autor.

Contador subidas y bajadas:

Este contador sensa cada vez que los fines de carrera S3 y S4 son activados , el contador posee una señal de tope que reiniciara al mismo cuando llegue a su límite de cuentas , se divide este valor contado por C2 para saber el número de subidas y bajadas como unidad .

Figura 27

Contador subidas y bajadas.



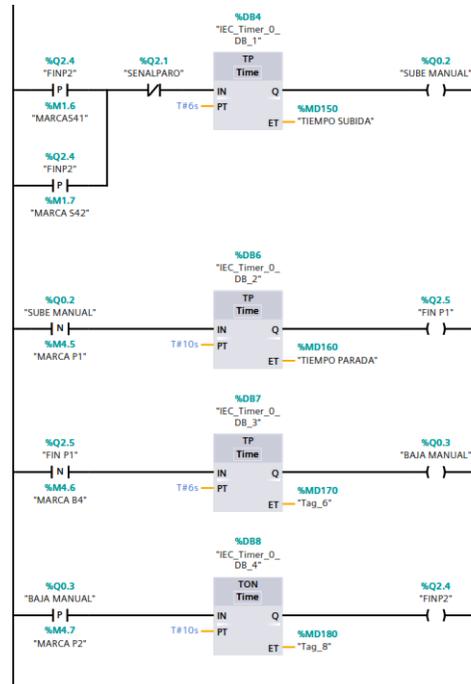
Nota: Fuente: Autor.

Subida bajada automática:

Aquí se genera el ciclo automático iniciado por P3 , es un ciclo infinito de subidas y bajadas de 4s y esperas de 10s después de cada recorrido , este ciclo consta de temporizadores de impulso , los cuales están conectados entre si para generar un bucle sin fin iniciando con una subida de 45 , una parada 1 de 10s , bajada de 4 : y una parada 2 de 10s , al finalizar la parada 2 , esta envía una señal al timer de subida para reiniciar el ciclo , este ciclo solo se detiene si se activa la señal de disparo , dejando la carga en su estado original (Abajo) .

Figura 28

Subida bajada automática.



Nota: Fuente: Autor.

Fin de ciclo subida bajada automática: Al pulsar el pulsador P4 se envía la señal de paro a través de un flanco negativo del fin de la parada 2 para dejar la carga abajo cuando se pulse el paro. La señal de parada y de modo automático se desactivan cuando la carga este abajo y después de los 10 segundos de la parada 2 ya no sube más.

Figura 29

Subida bajada automática.

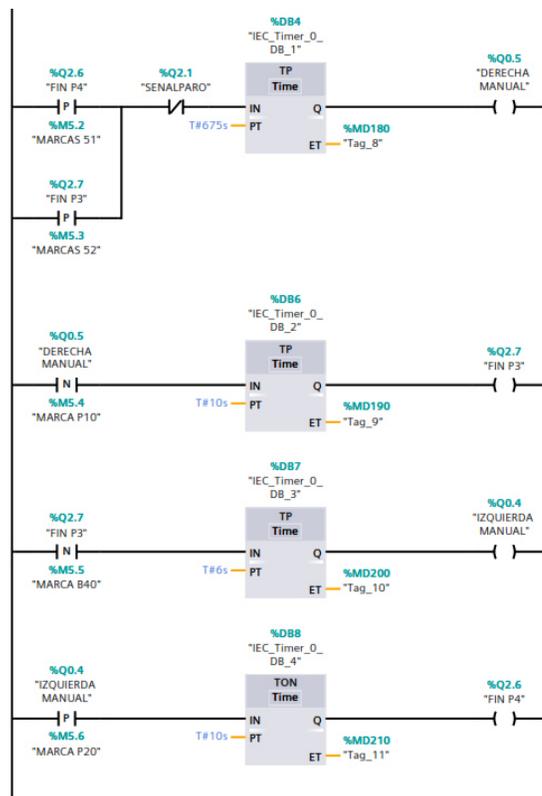


Nota: Fuente: Autor.

Izquierda derecha automática: Aquí se genera el ciclo automático iniciado por P4 , es un ciclo infinito de subidas y bajadas se supone que el puente al ir a una velocidad de 1.6 m/min llega al fin de carrera en 675 segundos y espera de 2s antes de hacer el cambio de giro, este ciclo consta de temporizadores de impulso , los cuales están conectados entre sí para generar un bucle sin fin,al finalizar la parada 2 , esta envía una señal al timer de subida para reiniciar el ciclo , este ciclo solo se detiene si se activa la señal de disparo , dejando la carga en su estado original

Figura 30

Izquierda derecha automática.



Nota: Fuente: Autor.

Fin de ciclo ida y venida: Al pulsar el pulsador P4 se envía la señal de paro a través de un flanco negativo del fin de la parada 2 para dejar la carga abajo cuando se pulse el paro . La señal de parada y de modo automático se desactivan cuando la carga este abajo y después de los 10 segundos de la parada 2 ya no sube más .

Figura 31

Fin de ciclo ida y venida.



Nota: Fuente: Autor.

6.2.11. Asignación de Variables

Tabla 7

Tabla de entradas físicas

VARIABLES DE ENTRADAS FÍSICAS	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
PARO	%I0.0	PARO GENERAL DEL SISTEMA
MANUAL	%I0.1	ACTIVACIÓN SELECTOR MANUAL
AUTO	%I0.2	ACTIVACIÓN SELECTOR AUTOMÁTICO
PULSANTE M3	%I0.3	ACTIVA MOTOR 3
SENSOR SUBIDA	%I0.4	SENSOR SUBIDA RASQUETA
SENSOR BAJADA	%I0.5	SENSOR BAJADA RASQUETA
SENSOR DERECHA	%I0.6	FIN DE CARRERA DERECHA
SENSOR IZQUIERDA	%I0.7	FIN DE CARRERA IZQUIERDA

Tabla 8*Variables de salida del PLC*

VARIABLES DE SALIDA	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
SEÑAL MANUAL	%Q0,1	RELE ELECTROVALVULA 1
SEÑAL AUTO	%Q0.2	RELE ELECTROVALVULA 2
SUBE MANUAL	%Q0.3	RELE ELECTROVALVULA 3
BAJA MANUAL	%Q0.4	RELE ELECTROVALVULA 4
IZQUIERDA MANUAL	%Q0.5	RELE ELECTROVALVULA 5
DERECHA MANUAL	%Q0.6	RELE ELECTROVALVULA 6
ACTIVA MOTOR	%Q0.7	RELE ELECTROVALVULA 7

Tabla 9*Entradas digitales*

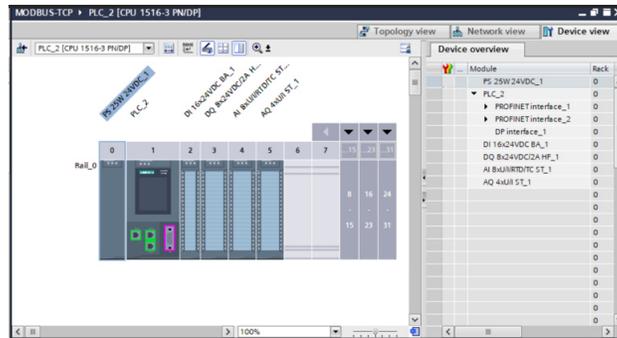
ENTRADAS DIGITALES	DIRECCIÓN
PULSANTE ARRIBA	%I1,0
PULSANTE ABAJO	%I1,1
PULSANTE DERECHA	%I1,2
PULSANTE IZQUIERDA	%I1,3
RELE M1	%I1,4
RELE M2	%I1,5
RELE M3	%I1,6

6.2.12. Protocolo de comunicación MODBUS-TCP

- Añadimos nuestro dispositivo usado por la PTAR que es el s7-1500 el cual trabajar como el Maestro o en función de servidor. Este dispositivo actualmente ya se encuentra instalado y funcionando en las instalaciones de la PTAR y se agregan los módulos desde la ventana de catálogo de hardware
 - ◇ PS 25W 24VDC
 - ◇ DI 16x24VDC BA
 - ◇ DQ 8x24VDC/2A HF
 - ◇ AI 8xU/I/RTD/TC ST
 - ◇ AQ 4xU/I ST

Figura 32

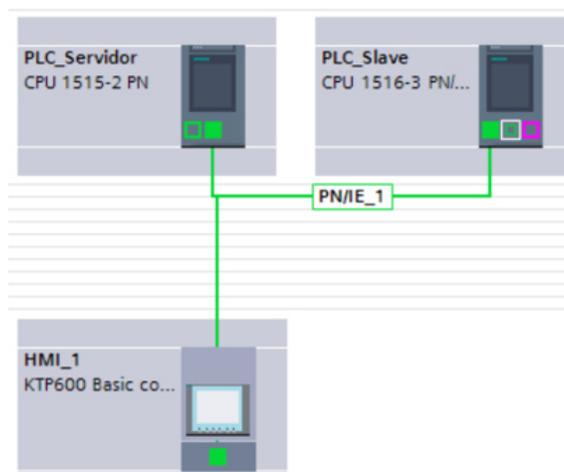
Módulos analógicos y digitales



- Asignamos las ips correspondientes tanto a nuestra HMI, PLC maestro y PLC esclavo

Figura 33

Conexión por protocolo profinet del HMI, PLC maestro y PLC esclavo



- Configuración del Slave
 - ◇ Se crea un nuevo bloque y se le asigna el nombre de cliente (Slave).
 - Se crea el Protocolo de comunicación y se configura de la siguiente manera:

- ◇ 64 corresponde al Server con el que nos vamos a comunicar.
- ◇ Como soy Cliente pongo TRUE.
- ◇ En address coloco la dirección de mi PLC.
- ◇ Entre remoto y local puedo escoger uno de los dos como el dispositivo va a trabajar en modo esclavo;escojo remoto.
- ◇ Los datos los libero por el puerto 502, este puerto es el default para el protocolo MODBUS/TCP.

Figura 34

Configuración del Slave

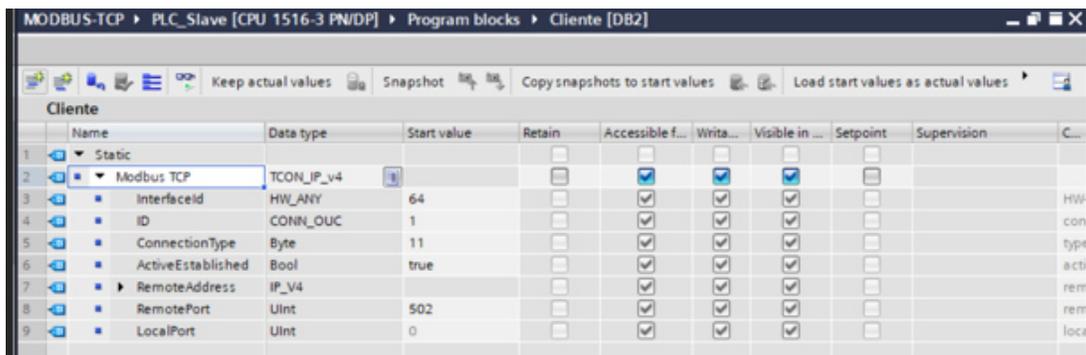


Figura 35

En la figura se muestra los valores en los que se puede trabajar en el protocolo MODBUS-TCP, la longitud y el tipo de dato.

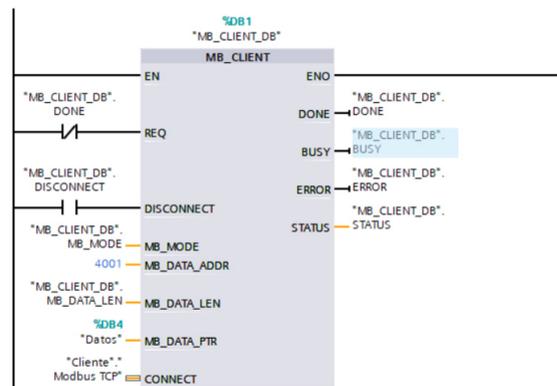
MB_MODE	MB_DATA_ADDR	MB_DATA_LEN	Función Modbus	Función y tipo de datos
0	de 1 a 9.999	de 1 a 2.000	01	Leer de 1 a 2.000 bits de salida en la dirección remota de 0 a 9.998
0	de 10.001 a 19.999	de 1 a 2.000	02	Leer de 1 a 2.000 bits de entrada en la dirección remota de 0 a 9.998
0	<ul style="list-style-type: none"> • de 40.001 a 49.999 • de 400.001 a 465.535 	de 1 a 125	03	<ul style="list-style-type: none"> • Leer de 1 a 125 registros de parada en la dirección remota de 0 a 9.998 • Leer de 1 a 125 registros de parada en la dirección remota de 0 a 65.534

Se crea un bloque de comunicación y se procede a configurarlo de la siguiente manera

- ◇ En req se crea un contacto normalmente cerrado con la finalidad de que este siempre activo.
- ◇ En disconnect para poder activar se asigna un contacto normalmente abierto
- ◇ Para *MB – DATA* se le asigna el valor de 4001 como es el caso 0 se transfieren los datos hacia el slave o cliente.

Figura 36

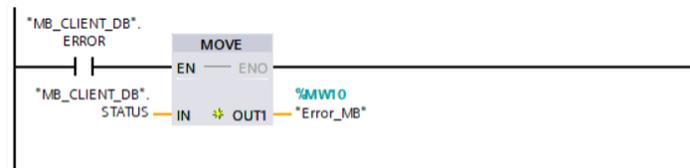
Funcion y tipo de dato MODBUS-TCP



Se crea un bloque para el error con un contacto y una transferencia que hará que cuando el error se active el status de error hará pasarlo a una variable de PLC.

Figura 37

Bloque de error



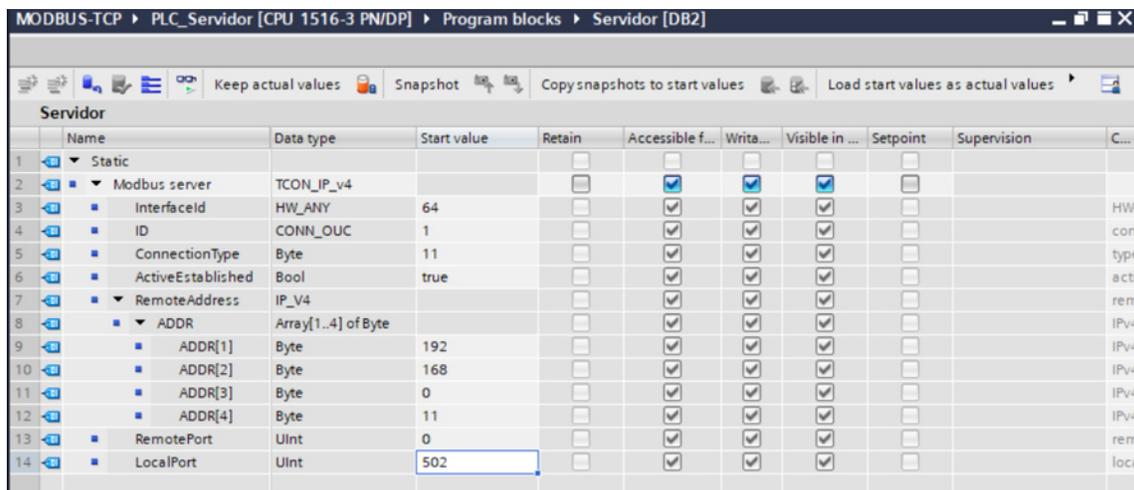
■ Configuración Server

Se configura de la siguiente manera:

- ◇ Como el dispositivo va a trabajar en servidor se configura en false
- ◇ En address se colocó la dirección del PLC modo Slave
- ◇ Entre remoto y local puedo escoger uno de los dos
- ◇ Como el dispositivo va a trabajar en modo servidor se eligió local los datos se los libera por el puerto 502, este puerto es el default para el protocolo MODBUS-TCP.

Figura 38

Configuración Server



	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervision	C...
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Modbus server	TCON_IP_v4		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	InterfaceId	HW_ANY	64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	HW...
4	ID	CONN_OUC	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	conn...
5	ConnectionType	Byte	11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	type...
6	ActiveEstablished	Bool	true	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	acti...
7	RemoteAddress	IP_V4		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	rem...
8	ADDR	Array[1..4] of Byte		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IPv4...
9	ADDR[1]	Byte	192	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IPv4...
10	ADDR[2]	Byte	168	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IPv4...
11	ADDR[3]	Byte	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IPv4...
12	ADDR[4]	Byte	11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	IPv4...
13	RemotePort	UInt	0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	rem...
14	LocalPort	UInt	502	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	loca...

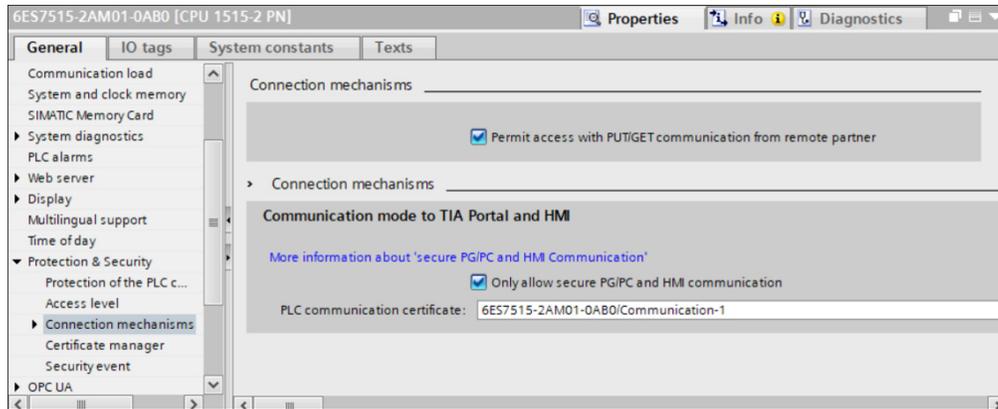
Se crea un bloque datos donde se recibirá o transferirá los datos.

Este bloque debe ser igual al bloque en Cliente es decir deben de tener la misma estructura.

En mecanismos de comunicación se le configura para permitir el acceso vía comunicación PUT/GET con el fin de habilitar la comunicación en tiempo real de ambos dispositivos.

Figura 39

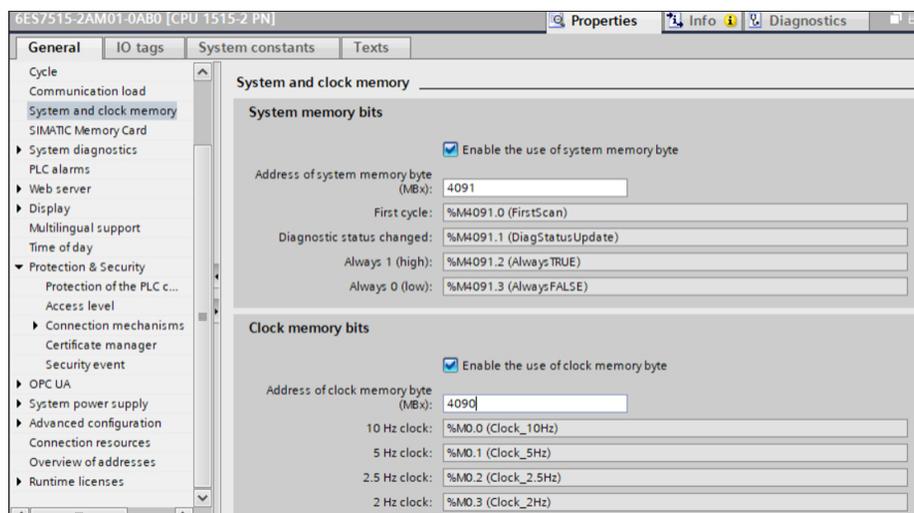
Acceso vía comunicación PUT/GET



En marcas de sistema y ciclos se les asigna valor de 4091 y 4090 respectivamente con el fin de que quede lo mas lejano posible en el mapa de la memoria para evitar una posible congestión.

Figura 40

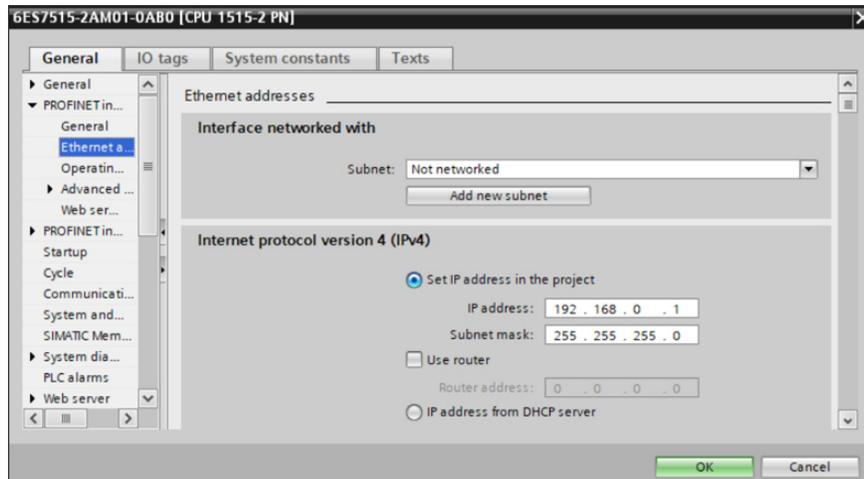
Marcas de sistema y ciclos



Se le asigna la dirección IP al servidor.

Figura 41

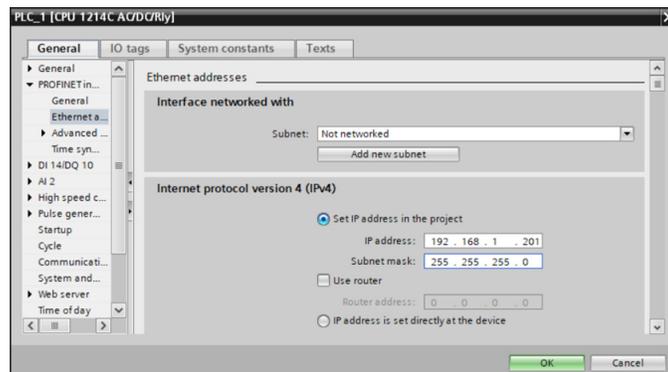
Controlador S7-1500 Dirección IP



Se le asigna la dirección IP al esclavo

Figura 42

Asignación dirección IP S7-1200



- **Configurar el controlador s7-1200** Para el caso del S7 1200 la configuración queda de la siguiente manera:
 - ◇ En el parámetro es true porque este es el cliente
 - ◇ La dirección viene del s7-1500
 - ◇ Se conecta en remoto a diferencia del otro que esta en local

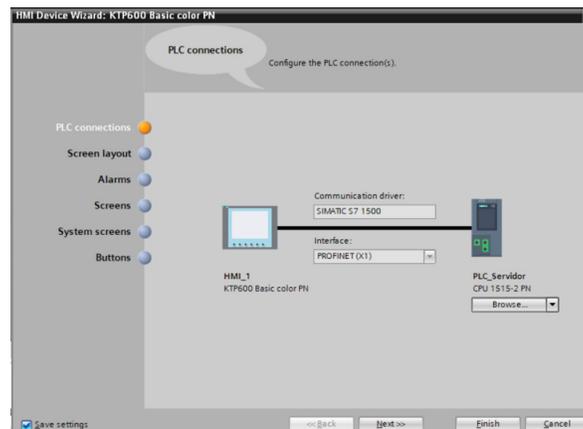
Figura 43

Figura de la configuración de el controlador s7-1200

Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static							
2	Modbus TCP	TCON_IP_v4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	Interfaced	HW_ANY	64					HW-identifier of IE-interface submodule
4	ID	CONN_OUC	1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		connection reference / identifier
5	ConnectionType	Byte	11		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		type of connection: 11=TCP/IP, 19=UDP (17=
6	ActiveEstablished	Bool	true		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		active/passive connection establishment
7	RemoteAddress	IP_V4			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		remote IP address (IPv4)
8	ADDR	Array[1..4] of Byte			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IPv4 address
9	ADDR[1]	Byte	192		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IPv4 address
10	ADDR[2]	Byte	168		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IPv4 address
11	ADDR[3]	Byte	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IPv4 address
12	ADDR[4]	Byte	2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IPv4 address
13	RemotePort	UInt	502		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		remote UDP/TCP port number
14	LocalPort	UInt	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		local UDP/TCP port number
15	<Add new>							

Figura 44

Conexión Pantalla Hmi



6.2.13. Simulación del diseño mecánico y de control de los desarenadores de la Planta de tratamiento de aguas Residuales de Loja(PTAR)

Se procede a mostrar las pantallas HMI que formarán parte del diseño del sistema de control del proceso de desarenado

Figura 45

PRESENTACIÓN

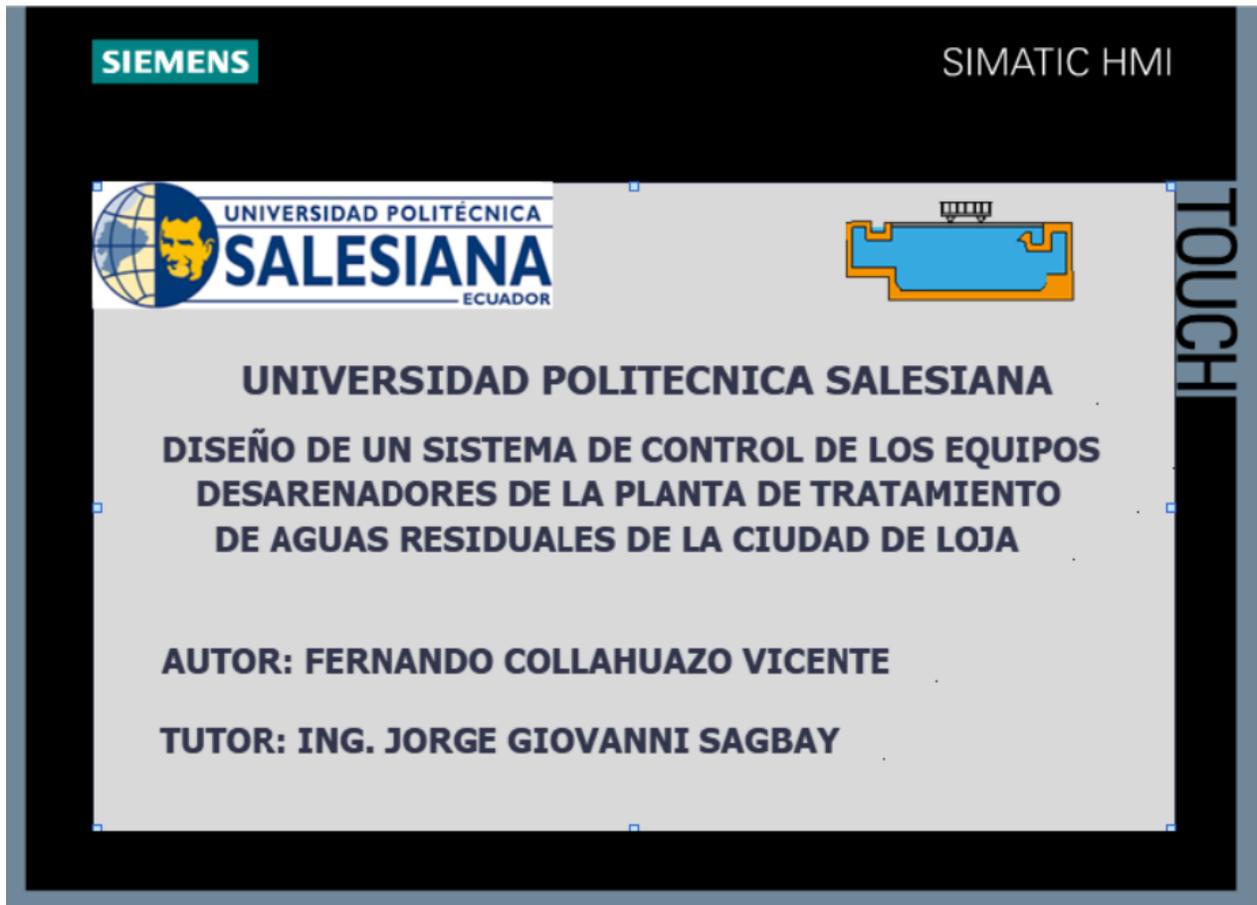


Figura 46

SELECCIÓN DE MODO



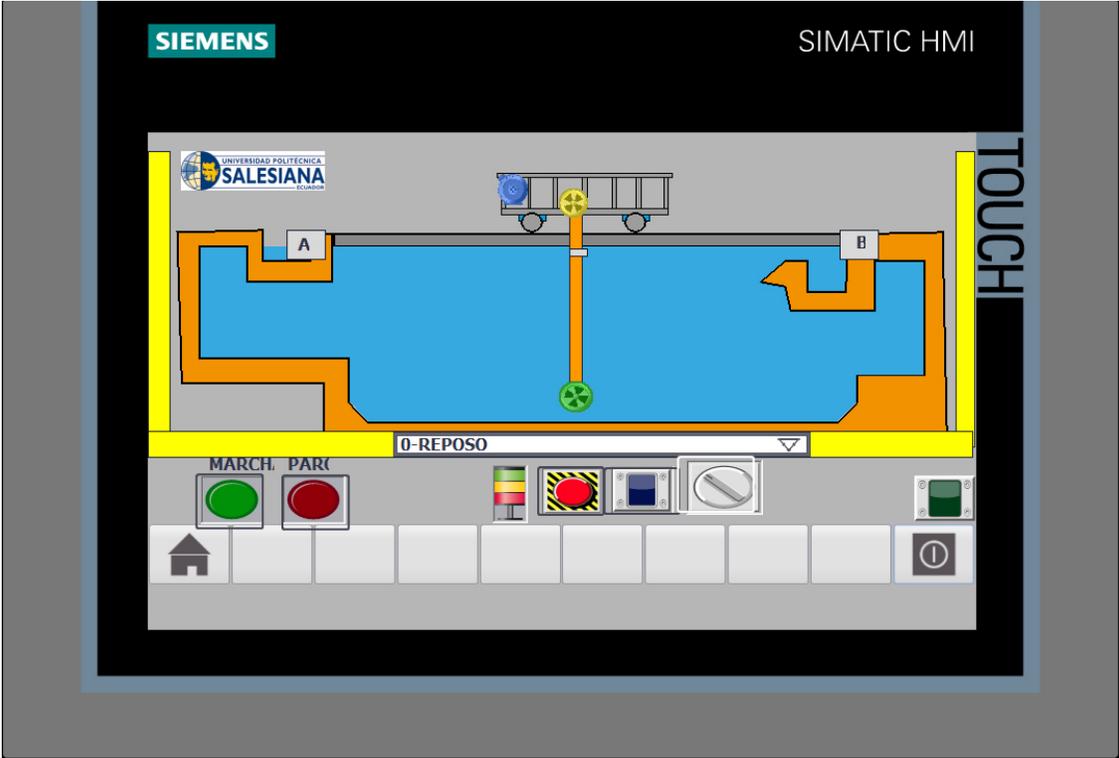
Figura 47

MODO MANUAL



Figura 48

MODO AUTOMÁTICO



6.2.14. Equipos y costos

Figura 49

GUARDAMOTOR AZ MPW12-3-D063S



Corriente Nominal	12A ión C27 316L
Tipo de Terminal:	Resorte
Rango de Corriente:	4-6,3 A.

Figura 50

GUARDAMOTOR AUTOMÁTICO



Protector de motores clase 10 de 16A

Figura 51

MINIBREAKER MDW-C16-3.



Voltaje de operación	440Vac
Corriente Nominal	16 A
Numero de Polos	3 Polos
Frecuencia	50/60 Hz

Figura 52

CONTACTOR CWB40-11-30D13.



Voltaje de operación	110 Vac
Corriente Nominal	40 A
Numero de Polos	3 Polos
Frecuencia	60 Hz

Producto	Serie	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Guarda Motor	AZ MPW12-3-D063S	3	73	219
MINIBREAKER	MDW-C16-3	3	18	54
Guardamotor Automático	BVS14,0102	3	53,7	161,1
Guarda motor	MPW18-3-U004	3	85	255
Transformadores de aislamiento monofásico	SERIE PXR	1	394,82	394,82
Bloque de contactos auxiliar	WEG BFC0	4	8,95	35,8
MINICONTACTOR	CWC09-10-30D24	1	22	22
Contactador arranque de Motor	LC1D09P5	16	55	880
PLC S7-1200	CPU 1212C	1	924	924
Cable N 18	metros	100	20	20
				2965,72
				x3
			Total	8897,16

6.3. Metodología estadística

6.3.1. Determinación de la población de estudio

Se han estimado como universo a los trabajadores de la planta de tratamientos de agua residuales de la ciudad de Loja. Mientras la población de estudio fueron las personas que se dedican específicamente a realizar el proceso de desarenado de esta planta; esta población son los operarios.

6.3.2. Determinación del tamaño de la muestra

Como existen 8 operarios a nivel de la planta de tratamiento de agua de la ciudad de Loja, no se cree pertinente realizar un cálculo de la muestra, ya que, la encuesta va a ser aplicada a todos los operarios encargados del proceso. La encuesta que va a ser aplicada se muestra a continuación.

6.3.3. Encuesta

La Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca tiene la cordialidad de saludarle a usted a través de esta encuesta realizada por nuestros estudiantes de la sede Cuenca de la carrera de Mecatrónica. El objetivo de esta encuesta es obtener datos relevantes de los operarios, acerca del proyecto de diseño y automatización del proceso de desarenador de la planta de tratamientos de aguas residuales de la ciudad de Loja.

De antemano se agradece su colaboración y se le anticipa que la encuesta es anónima y totalmente confidencial.

1. ¿Conoce algún otro método/tipo/herramienta para el proceso de desarenado-desengrasado?
2. ¿Cuántas horas diarias trabaja el desarenador?
3. ¿Considera que el tiempo de desarenado se puede emplear en otra actividad?
4. ¿Cuáles son las fallas más comunes que se presentan en el desarrollo del proceso de desarenado?
5. Al momento de operar el desarenador ¿Se presenta alguna incomodidad?
 - Sí
 - No
6. De ser su respuesta sí, ¿Cuál es la incomodidad? Califique su grado de incomodidad, siendo 5 lo más incómodo y 1 lo menos.
 - a) 1
 - b) 2
 - c) 3
 - d) 4
 - e) 5
7. ¿Qué mejoras cree conveniente implementar al desarenador-desengrasador?

6.3.4. Análisis de Resultados de las encuestas

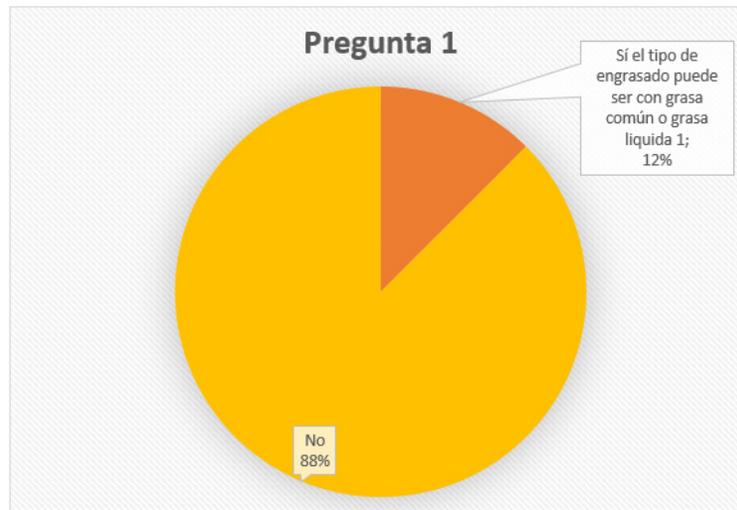
Pregunta 1

- ¿Conoce algún otro método/tipo/herramienta para el proceso de desarenado-desengrasado?

Respuestas	Número
No	7
El tipo de engrasado puede ser con grasa común o grasa líquida	1

Figura 53

Gráfica pregunta 1



Como se observa en la gráfica obtenida el 88% no conoce algún otro método, herramienta o tipo para realizar el proceso de desarenado; este porcentaje corresponde a 7 operarios. Mientras que el porcentaje restante, 12%, corresponde a una sola persona.

Pregunta 2

- ¿Cuántas horas diarias trabaja el desarenador?

Respuestas	Número
24 horas / 7 días a la semana	8

Dentro de la tabulación de esta encuesta se obtiene un 100% de que el desarenador trabaja las 24 horas al día durante los 7 días de la semana.

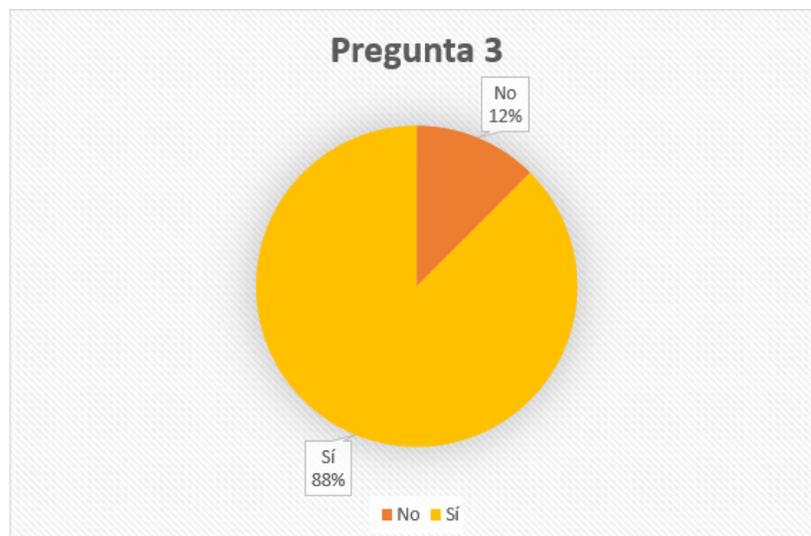
Pregunta 3

- ¿Considera que el tiempo de desarenado se puede emplear en otra actividad?

Respuestas	Número
No	1
Sí	7

Figura 54

Gráfica pregunta 3



Como se observa en la gráfica obtenida el 87% cree que el tiempo que se emplea en el desarenado pueda ser empleado en alguna otra actividad; este porcentaje corresponde a 7 operarios. Mientras que el porcentaje restante, 13%, que corresponde a una sola persona, no cree que se pueda emplear en otra actividad.

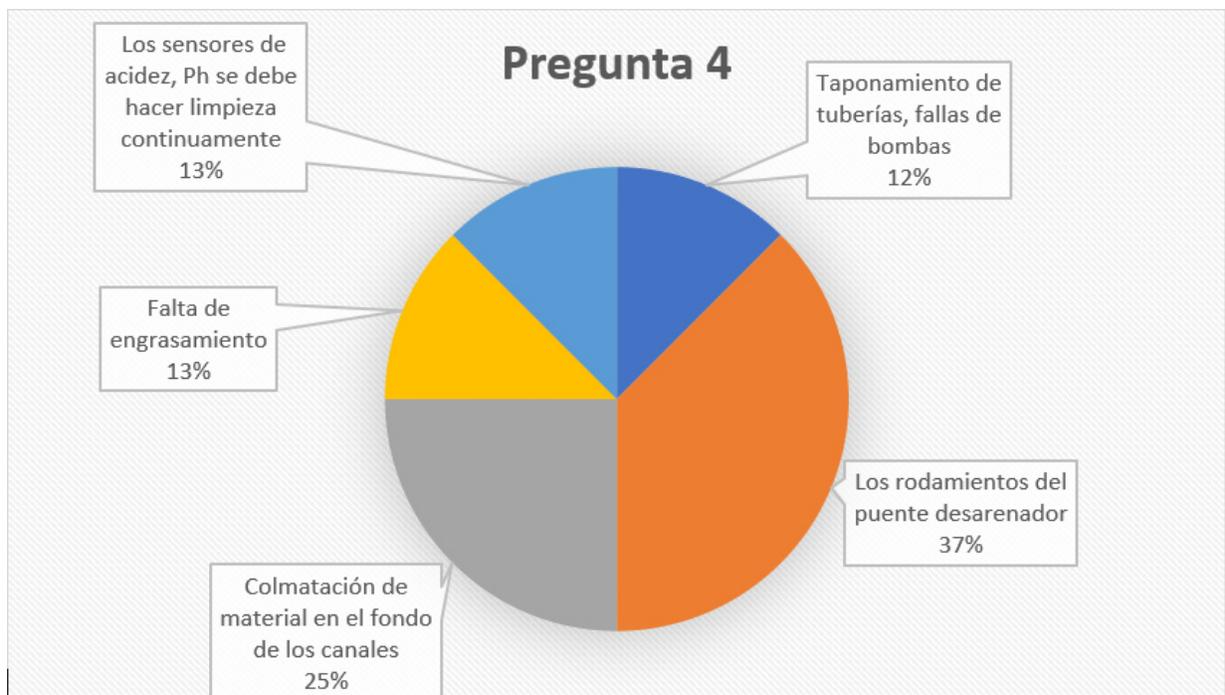
Pregunta 4

- ¿Cuáles son las fallas más comunes que se presentan en el desarrollo del proceso de desarenado?

Respuestas	Número
Taponamiento de tuberías, fallas de bombas	1
Los rodamientos del puente desarenador	3
Falta de engrasamiento	1
Los sensores de acidez, Ph se debe hacer limpieza continuamente	1

Figura 55

Gráfica pregunta 4



Al realizar la tabulación de la pregunta 4 se obtiene que la falla más común percibida por los operarios se da en los rodamientos del puente desarenador. Luego vienen las fallas de colmatación de material en los canales y taponamiento de tuberías y las menos comunes la falta de engrasamiento y la limpieza de los sensores.

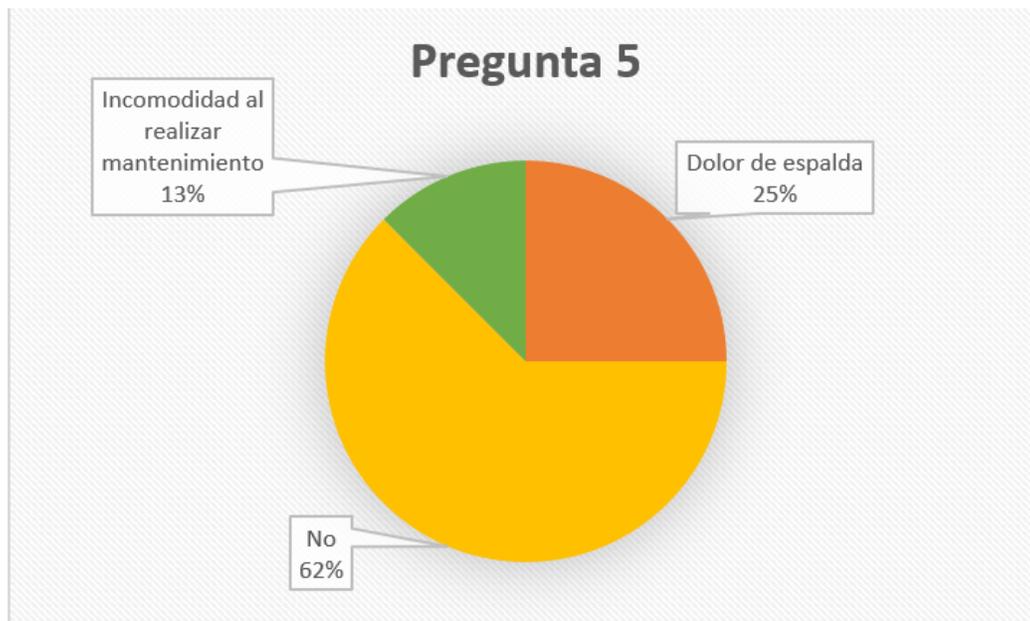
Pregunta 5

- Al momento de operar el desarenador ¿Se presenta alguna incomodidad?

Respuestas	Número
Dolor de espalda	2
Incomodidad al realizar mantenimiento	1
No	5

Figura 56

Gráfica pregunta 5



El 60% de los operarios no han percibido alguna incomodidad al momento de operar el desarenador, Dos operarios especifican que presentan dolores en la espalda al momento de operar el desarenador y solo un operario que representa al 13% ha percibido una incomodidad de nivel 3; que se presenta al momento de realizar el mantenimiento al desarenador.

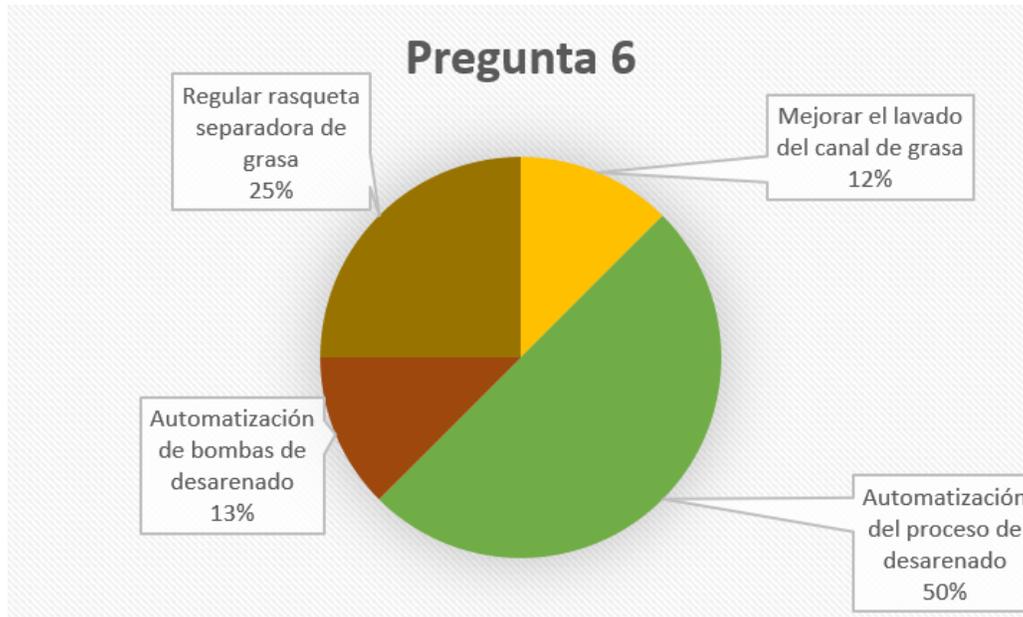
Pregunta 6

- ¿Qué mejoras cree conveniente implementar al desarenador-desengrasador?

Respuestas	Número
Mejorar el lavado del canal de grasa	1
Automatización del proceso de desarenado	4
Automatización de bombas de desarenado	1
Regular rasqueta separadora de grasa	2

Figura 57

Gráfica pregunta 6



De la tabulación de la última pregunta se observó que el 50%, 4 operarios, cree conveniente implementar una automatización del proceso de desarenado, un 25% que corresponde a 2 operarios propones que se debe mejorar o regular la rasqueta separadora de grasa, el 13%, 1 operario cree que se debe mejorar el proceso de lavado del canal de grasa, y un 12%, 1 operario, cree que se debe automatizar las bombas de desarenado.

De acuerdo con lo observado en los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas a los operarios de la Planta de tratamientos de aguas Residuales de la Ciudad de Loja, se tiene que en base a las preguntas planteadas se logró recabar información importante.

Se ha tenido un acercamiento con los operarios que trabajan día a día en el proceso de desarenado con el fin de conocer las necesidades presentadas al momento de desarrollar el proceso, investigar las inconformidades que se presentan y así mismo se les pidió que desde su punto de vista recomienden alguna alternativa de solución a dichos problemas.

Se midió el grado de aceptación que generaría la implementación de un sistema autónomo en los desarenadores, la cual recibió una buena acogida ya que esto facilitaría a los operarios a enfocar su trabajo y atención a otros problemas que se presentan en la planta.

También se identificaron algunas necesidades específicas por parte de los encuestados, permitiendo el desarrollo de una serie de recomendaciones que aportaran a una satisfacción

por parte de ellos entre las que se mencionaron están mejorar el sistema para la limpieza, lavado de los desarenadores ya que es una labor bastante trabajosa y que demanda de mucho esfuerzo.

Observando las opiniones se pudo identificar que existen taponamientos, falta de mantenimiento en los rodamientos y falta de engrasamiento lo que ayudará a tomar en cuenta estos detalles para la propuesta de diseño del sistema de control para el proceso de desarenado.

7. Resultados

- ◇ Se tomó a consideración las necesidades que los operarios perciben y presentan inconformidades al momento de realizar el proceso de Desarenado de la planta de tratamientos de aguas residuales de Loja. Debido a esto se han planteado soluciones a estas necesidades y se ha podido diseñar un sistema de control que ayude y solvante esta problemática.
- ◇ En vista de que el proceso de desarenado es una tarea que estará trabajando las 24 horas del día y los 7 días de la semana se han seleccionado instrumentos industriales robustos y que de acuerdo a su normativa garantizan una vida útil larga y resisten el trabajo continuo, por este motivo se ha escogido un PLC S7-1200 ya que es un equipo muy reconocido a nivel nacional y su funcionalidad y características que brinda se adaptan a los requerimientos del diseño para el proceso de control.
- ◇ Con el monitoreo del sistema de alarmas será una ayuda fundamental para los operadores ya que en la pantalla del SCADA presentará el tipo de falla que presenta el equipo, tales como : fallas en motores ya sean el de traslación, elevación o el de la bomba, mediante el HMI identificará cual de los motores a entrado en fallo y se realizará un mantenimiento más eficiente ya que se sabe cual es el equipo que presenta la falla y evitará que se pierda el tiempo buscando uno a uno los equipos para localizar dicha falla.
- ◇ Todo el proceso está programado para que trabaje todo el día de manera continua; con el respectivo paro en el modo automático en caso de detectar falla en los motores o sensores
- ◇ Se añadió un contador tanto para el motor de traslación y de elevación para tener el numero de repeticiones que se realizan al día con el fin de ir armando un plan de mantenimiento que con el uso de estos datos se pueda identificar futuros fallos.

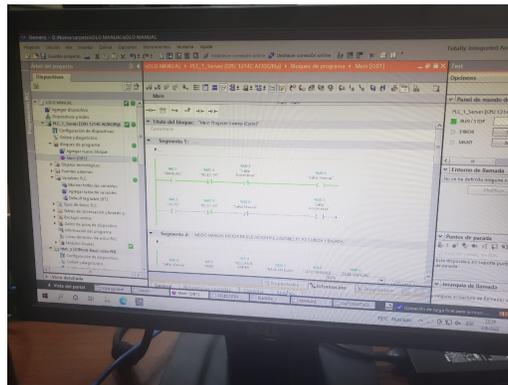
- ◊ Se añadió un timer que almacena el tiempo de trabajo de los equipos tanto del motor de traslación, el motor de elevación y el de la bomba
- ◊ Con la simulación del proceso se han obtenido resultados positivos ya que se ha logrado cumplir con el objetivo propuesto

7.1. Resultados de la simulación del diseño de control de PTAR

Para la simulación del proceso se han hecho uso de laboratorios de PLC de la Universidad Politécnica Salesiana donde se han utilizado los PLCs s7-1200 para la simulación del proceso y para la comprobación del entorno Hombre maquina propuesto se ha conectado el computador y han sido puesto en marcha en dispositivos HMIs con los que cuentan los laboratorios.

Figura 58

Simulación en PC de los laboratorio

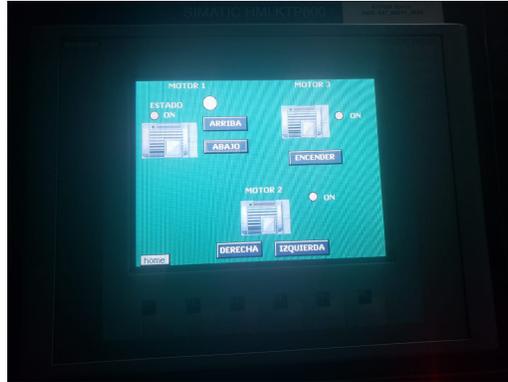


Nota: Fuente: Autor.

Se ha puesto a prueba la conexión y se han enviado los datos desde el PC hacia el controlador y su HMI obteniendo la comunicación punto a punto con los equipos.

Figura 59

Simulación HMI en los laboratorios



Nota: Fuente: Autor.

Se han conectado los motores representando los motores de la Planta de Tratamiento de aguas residuales a los cuales se hará el respectivo control con el fin de comprobar el código planteado y verificar la correcta disposición de las variables.

Figura 60

Simulación conexión motores

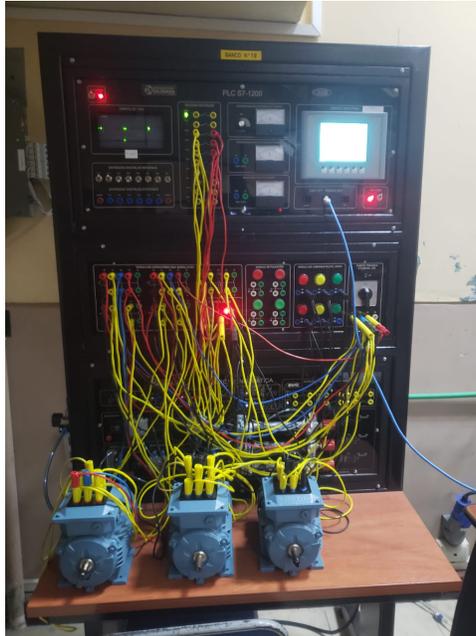


Nota: Fuente: Autor.

Una vez conectados los equipos se ha procedido a comprobar mediante la pantalla HMI el modo Manual y Automático

Figura 61

Simulación modo manual automático



Nota: Fuente: Autor.

Dentro del marco de estudio se han obtenido favorables positivos ya que se cumplió con el objetivo de simulación del proceso con el que se ha comprobado la funcionalidad del proceso tanto en modo manual como en modo automático.

8. Conclusiones

- Analizando el sistema actual de la Planta de tratamientos de aguas residuales se ha generado un diseño que permite la automatización del proceso de desarenado mejorando el desarrollo del mismo, reduciendo costos por mano de obra y aumentando la producción.
- Dentro del diseño del algoritmo de control se utilizó el lenguaje ladder para la programación del comportamiento del proceso de desarenado, gracias al numero de entradas y salidas del sistema a futuro se pueden acoplar nuevos métodos de control según se vayan presentando necesidades logrando una gran flexibilidad en el proceso ya que en el caso de requerir más entradas o salidas del PLC con la implementación de un modulo

se puede cubrir esta necesidad.

Al contar con un control preciso y un monitoreo en tiempo real prácticamente se logra eliminar los errores humanos; automatizando tareas que son repetitivas y que eran realizadas por el operario, lo que aumenta la productividad ya que el operario se puede enfocar a otras tareas que requieran de su atención sin tener que preocuparse de que vaya a ocurrir alguna falla en el proceso controlado.

- Con la simulación del proceso se pudo comprobar y corregir fallas que existían en la programación del proceso comprobando la funcionalidad y validando el diseño del proceso

9. Recomendaciones

- Para garantizar la funcionalidad del proceso y tomando en cuenta que estará activo las 24 horas del día se recomienda invertir en componentes de alta calidad que garanticen una larga vida útil.
- Se debe tener un conocimiento de cada equipo del proceso de desarenado antes de entrar a manipular la planta, este conocimiento es necesario para que en caso de algún fallo o anomalía sepamos como reaccionar.
- Al momento de el uso del protocolo de comunicación MODBUS-TCP se debe tener claro como es lo que se envían y reciben los paquetes de datos, para poder lograr una buena programación del protocolo.

Referencias

- Aguirre Espin, D. F. (2018, noviembre). Desarrollo de una herramienta computacional que contenga comunicación Modbus RTU y Modbus TCP para la implementación de sistemas de control supervisorio y adquisición de datos a bajo costo. (Accepted: 2018-11-14T19:15:27Z Publisher: Quito, 2018.)
- AME-INEC. (2016). AME-INEC, 2016 Estadística de información ambiental económica en gobiernos autónomos descentralizados municipales 2015 (agua y alcantarillado). , 21.
- Antonio, M., Cisneros, M., y Vernon, J. (2022). CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE.
- Barbecho, V. P., y Bósquez, C. V. (2008, febrero). *Estudio de prefactibilidad del tratamiento de aguas residuales del colector norte, en la ciudad de puyo*. Descargado 2022-01-27, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/992>
- Berkeley, B. (2014). Exploring structured thematic inquiry in social research. *Open Access Library Journal*, 1(6), 1–7.
- Bowne, M. (2020). *Canales de comunicación PROFINET – PI Norte América*. Descargado de <https://us.profinet.com/canales-de-comunicacion-profinet/>
- Candelas, F. A. (2018). Comunicación con RS-485 y MODBUS. , 28.
- Cerrada, M., Cardillo, J., y Prada, A. (2011). Diagnóstico de fallas basado en modelos: Una solución factible para el desarrollo de aplicaciones SCADA en tiempo real. *Ciencia e Ingeniería*, 32(3), 163–172. Descargado 2022-01-20, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550793006> (Publisher: Universidad de los Andes)
- Chan, Y., Chong, M., Law, C., y Hassell, D. (2009). A Review on Anaerobic–Aerobic Treatment of Industrial and Municipal Wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155, 1–18. doi: 10.1016/j.cej.2009.06.041
- Davis, M. L. (2019). *Water and wastewater engineering: Design principles and practice* (Second ed.). McGraw-Hill Education.
- DE, N. D. C. A. Y. (s.f.). Norma de calidad descarga de efluentes: Recurso agua.
- Droste, R. L., Ronald L.; Gehr. (2019). *Theory and practice of water and wastewater treatment*. Wiley.
- Eddy. (2003). *Ingeniería de aguas residuales, Volumen 1, 3ra Edición*. Descargado 2022-01-27, de https://www.academia.edu/35963101/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edici%C3%B3n_METCALF_and_EDDY_FREELIBROS_ORG_pdf
- FuturENVIRO. (2021, noviembre). *Planta De Tratamiento de Aguas Residuales para la Ciudad de Loja (Ecuador) | FuturENVIRO - Revista técnica bilingüe de medio ambiente*. Descargado 2022-01-26, de <https://futurenviro.es/planta-de-tratamiento-de>

- aguas-residuales-para-la-ciudad-de-loja-ecuador/
 Google earth. (2022). Descargado 2022-07-10, de <https://earth.google.com/web/search/Loja/@-3.93241297,-79.22397885,2016.79198176a,1432.24946158d,35y,-156.24139954h,63.75845774t,0r/data=CigiJgokCbU9hEhiIzVAEbI9hEhiIzXAGZWBfZCwTEBAIQ7ms0rynlHA>
- Guevara Ortiz, M. L., y Rosero Ortíz, J. M. (2013, junio). *Diseño e implementación de una red industrial utilizando protocolo profinet para monitoreo y control de las estaciones de nivel, flujo, presión y temperatura en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la ESPE Extensión Latacunga*. Descargado de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/6425>
- Gómez Zeballos, A. H. (2014, julio). Diseño e implementación de una red inalámbrica para un proceso industrial utilizando protocolo Modbus. *Pontificia Universidad Católica del Perú*. Descargado 2022-01-21, de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5426> (Accepted: 2014-07-10T16:24:05Z Publisher: Pontificia Universidad Católica del Perú)
- Hernández de Pool, D. (1990). *Contaminación ambiental :Causas, efectos y control* (1.^a ed.). Venezuela: Maracaibo :Universo de Venezuela, 1990.
- Mirmi, J. (2018). *¿Qué es Profibus?* Descargado de <https://www.profiworks.com/que-es-profibus/>
- Noyola, A., Morgan, J., y Leonor, P. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. Descargado 2022-01-27, de <https://blogdelagua.com/documentacion/biblioteca/seleccion-de-tecnologias-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales-municipales-pdf-descargable/>
- Penin, A. R. (2011). *Sistemas SCADA*. Marcombo. (Google-Books-ID: cNQfjbBcUq8C)
- Peña, S., Mayorga, J., y Montoya, R. (2018). Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Yaguachi (Ecuador). (ISBN: 1316-7081 Publisher: Universidad de los Andes)
- Ruíz Lizama, E., Inche Mitma, J. L., y Chung Pinzás, A. R. (2008, julio). Desarrollo de una interfaz hombre máquina orientada al control de procesos. *Industrial Data*, 11(1), 070–072. Descargado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/6039> doi: 10.15381/idata.v11i1.6039
- Seghers, M. (2019). *HMI - The Interface Between Process and Operators*. Descargado de <https://www.aveva.com/es-es/solutions/operations/hmi/>
- Siemens. (2019). *SIMATIC S7-1200 | Controladores SIMATIC | Siemens Mexico*. Descargado de <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/>

systems/industrial/plc/s7-1200.html

- Trikoilidou, E., Samiotis, G., Bellos, D., y Amanatidou, E. (2016, noviembre). Sustainable operation of a biological wastewater treatment plant. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 161, 012093. Descargado 2022-01-27, de <https://doi.org/10.1088/1757-899x/161/1/012093> (Publisher: IOP Publishing) doi: 10.1088/1757-899X/161/1/012093
- Vaca, N. (2021, octubre). *Entrevista técnica acerca de como es el funcionamiento de la Planta de tratamiento de aguas Residuales de la ciudad de Loja.*
- Vaello, J. (2019). *TIA Portal / Festo ES.* Descargado de https://www.festo.com/es/es/e/tendencias/tia-portal-id_828990/
- Wiedemann, B. (2018). *PROFIBUS - Bihl+Wiedemann GmbH.* Descargado de <https://www.bihl-wiedemann.de/en/company/technological-foundations/bus-systems/profibus.html>
- Álvarez Salazar, J., y Mejía Arango, J. G. (2017). *TIA Portal. Aplicaciones de PLC.* Fondo Editorial ITM. Descargado de <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/1934> doi: 10.22430/9789585414112

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 10

Matriz de consistencia.

Diseño de un sistema de control de los equipos desarenadores de la "Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja"(PTAR).				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Es posible diseñar un sistema de adquisición, control y supervisión de datos para la optimización del proceso en en el área de desarenado de la "Planta de Tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja"(PTAR)?	Diseñar un sistema de adquisición, control y supervisión de datos para la optimización del proceso en en el área de desarenado de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja (PTAR).	Se diseñará e implementará un sistema de adquisición, control y supervisión de datos para la optimización del proceso en en el área de desarenado de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja (PTAR).		Diseño. Área de desarenado
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS		
¿Es posible sistematizar los sistemas existentes a nivel local e internacional de tratamiento de aguas residuales?	Sistematizar los sistemas existentes a nivel local e internacional de tratamiento de aguas residuales.	Se sistematizará los sistemas existentes a nivel local e internacional de tratamiento de aguas residuales	VD: Sistematizar	Proceso de purificación de aguas residuales. Delimitación conceptual.
¿Se podrá diseñar el sistema SCADA utilizando un control lógico programable y el protocolo de comunicación MODBUS-TCP en la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja?	Diseñar el sistema SCADA utilizando un control lógico programable y el protocolo de comunicación MODBUS-TCP en la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja	Se diseñará el sistema SCADA utilizando un control lógico programable y el protocolo de comunicación MODBUS-TCP en la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja	VI: Sistemas existentes	Electroválvulas. Automatización mediante PLC.
¿Es factible simular el sistema SCADA utilizando un control lógico programable y el protocolo de comunicación MODBUS-TCP en la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja?	Simular el sistema SCADA utilizando un control lógico programable y el protocolo de comunicación MODBUS-TCP en la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja.	Se simulará el sistema SCADA utilizando un control lógico programable y el protocolo de comunicación MODBUS-TCP en la etapa del proceso de desarenado de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja		Redes Informáticas Industriales. Metodología Pico.

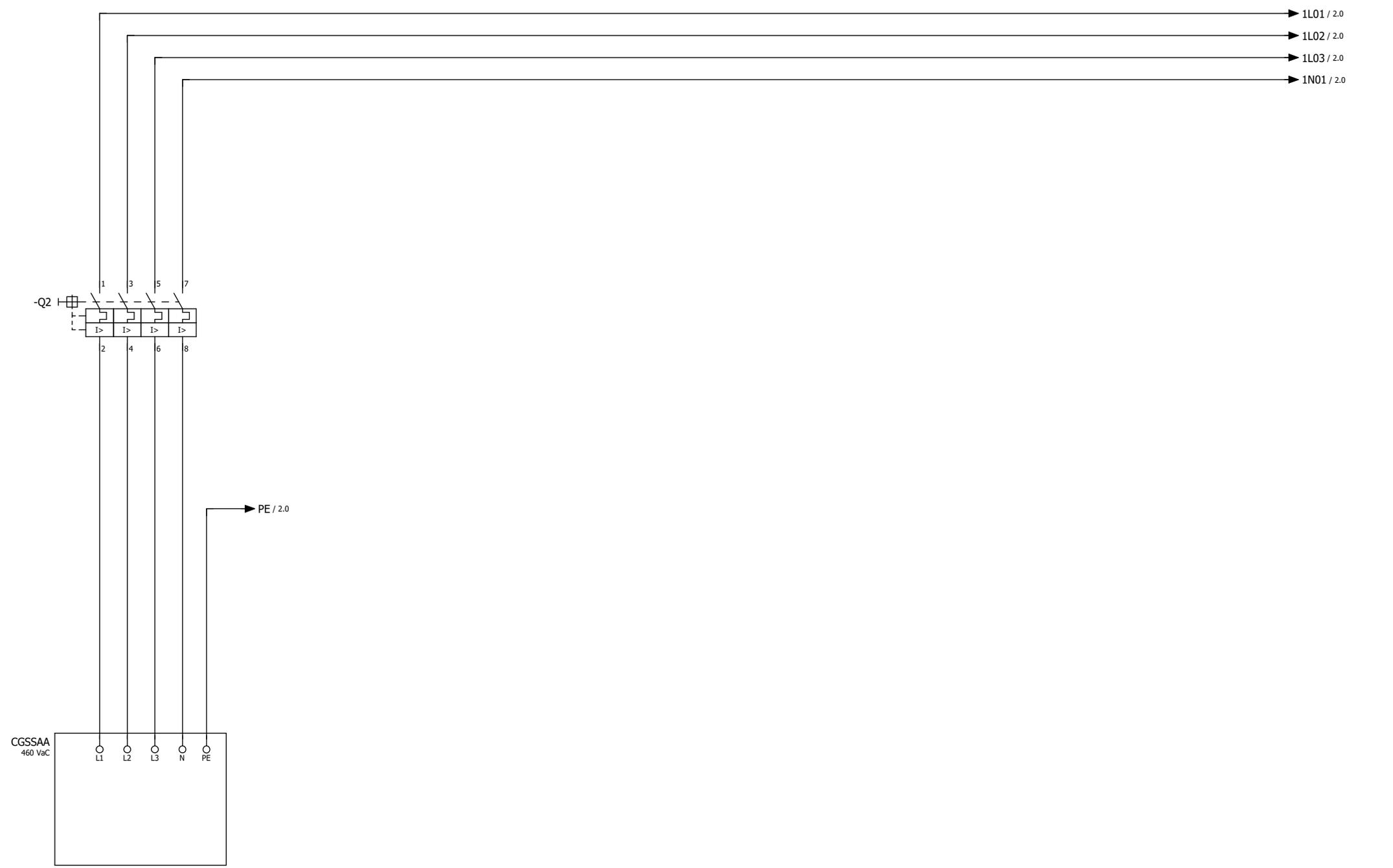
Fuente: Autor

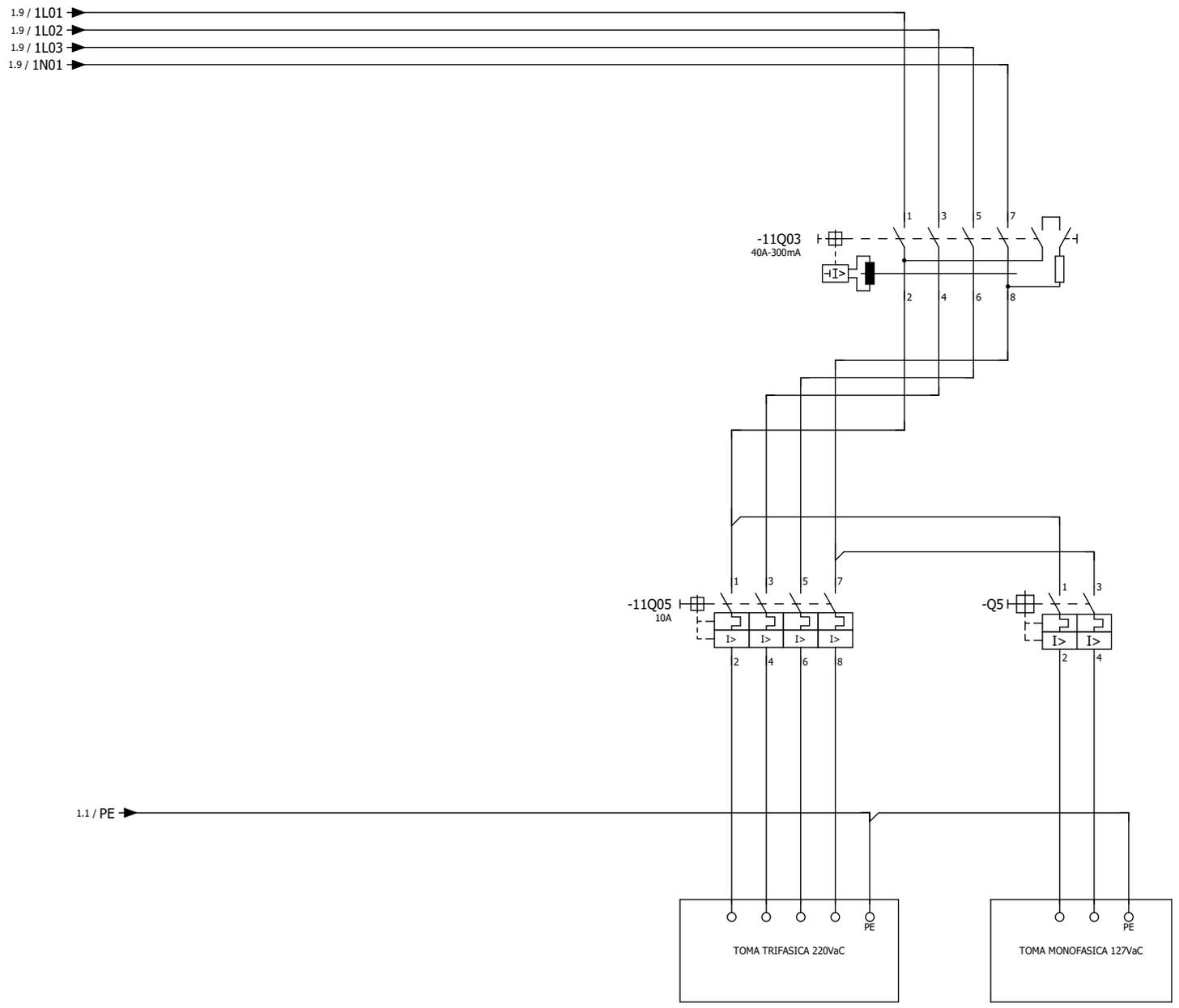
Anexo B:

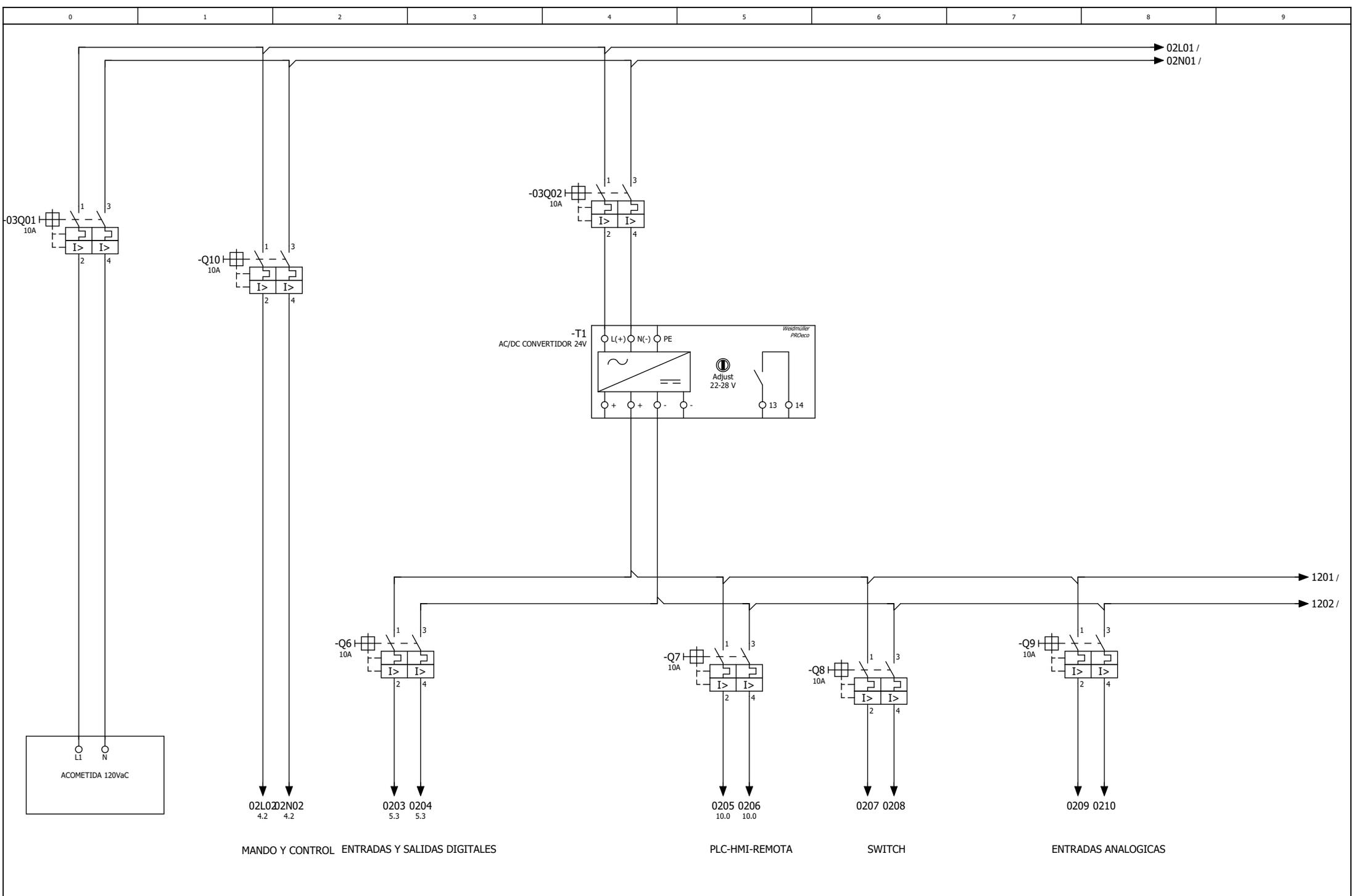
Figura 62

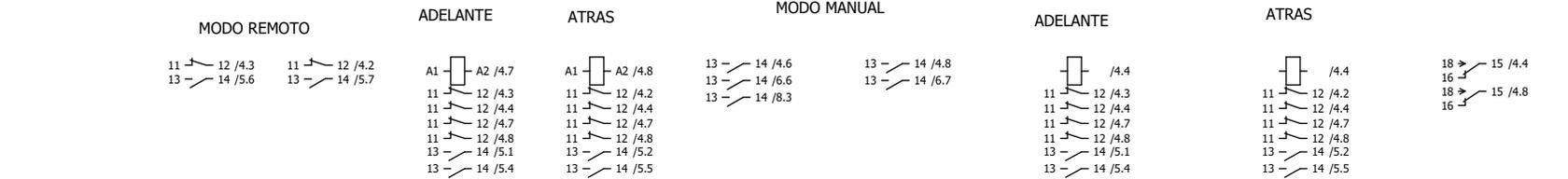
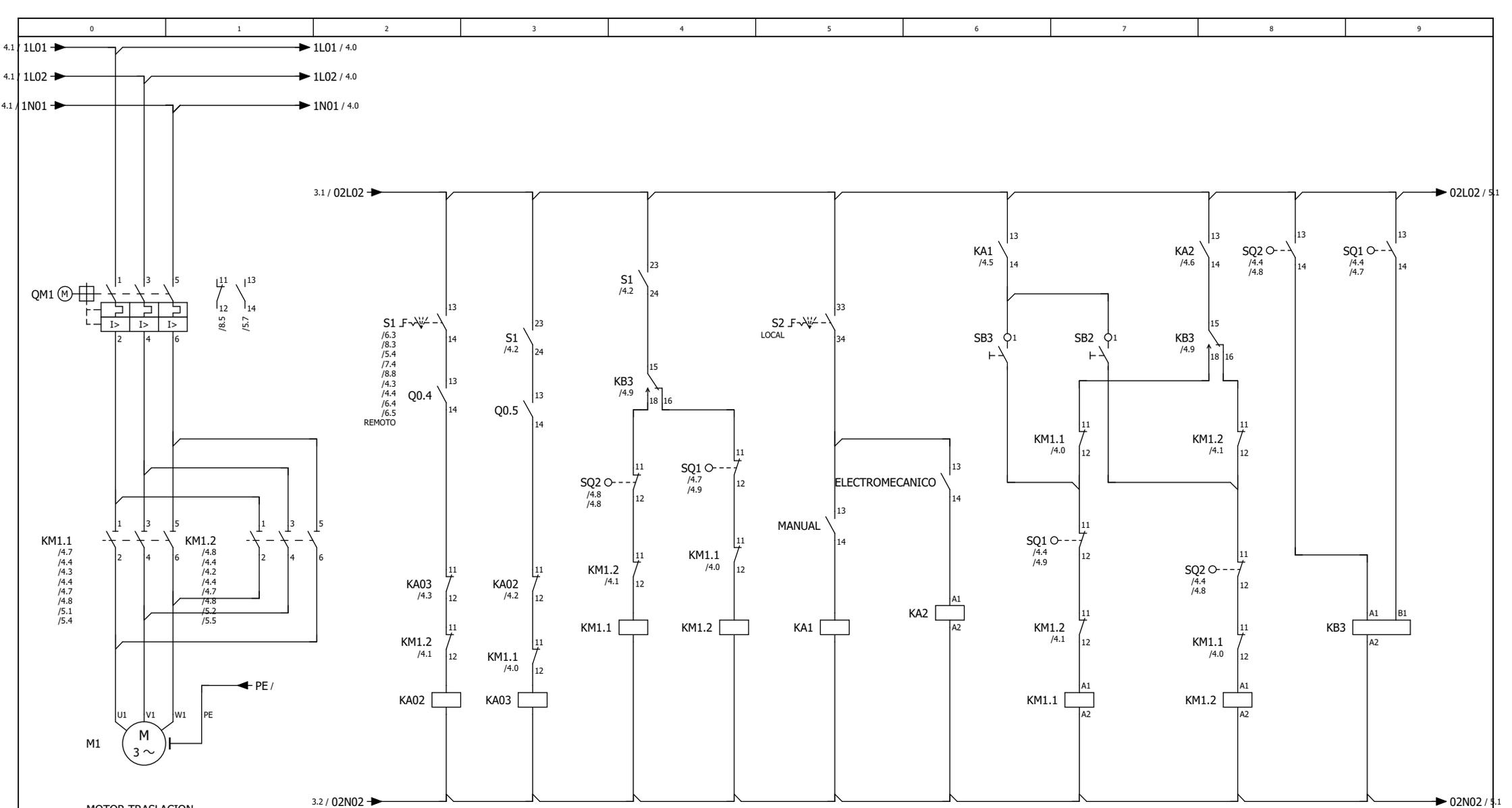
Limites máximos permisibles para aguas de consumo

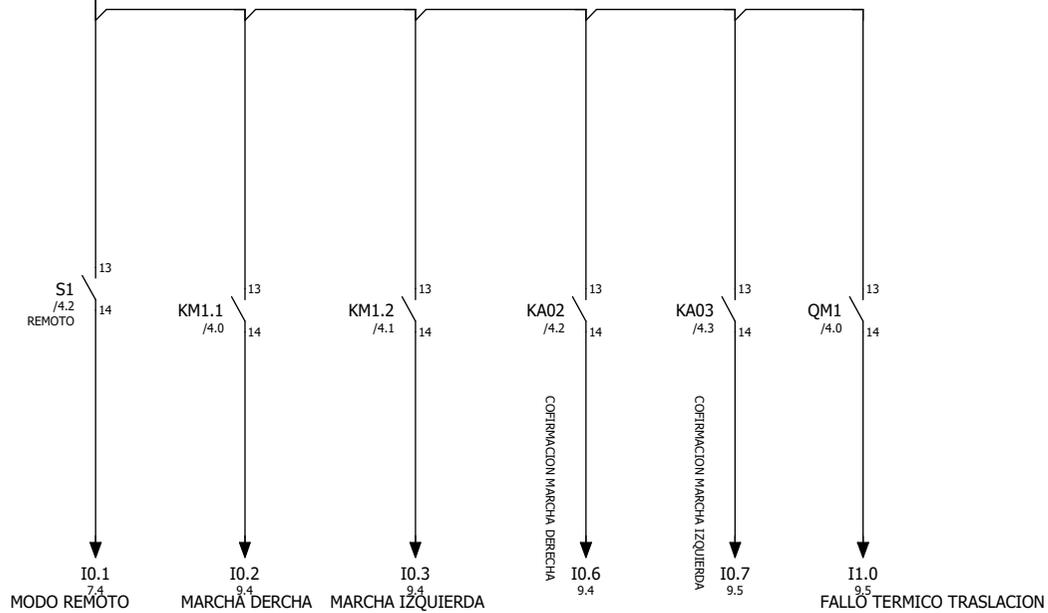
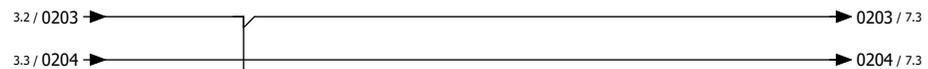
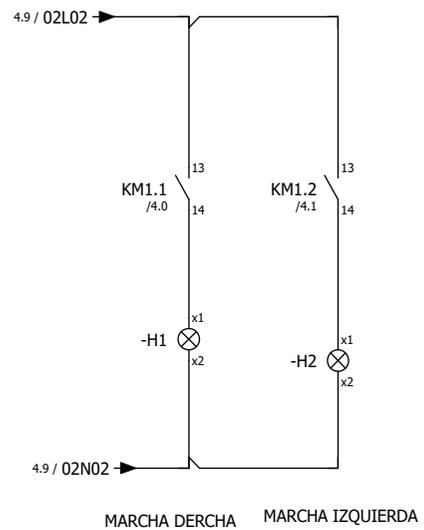
Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio total	Al	mg/l	0,1
Amoniaco	N-amoniacal	mg/l	1,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,001
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,01
Cobalto	Co	mg/l	0,2
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Color	color real	Unidades de color	20
Coliformes Totales	nmp/100 ml		50*
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	250
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Estaño	Sn	mg/l	2,0
Fluoruros	F	mg/l	Menor a 1,4
Hierro (total)	Fe	mg/l	0,3
Litio	Li	mg/l	2,5
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia Flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,025
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Ausencia
Oxígeno disuelto	O.D	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de

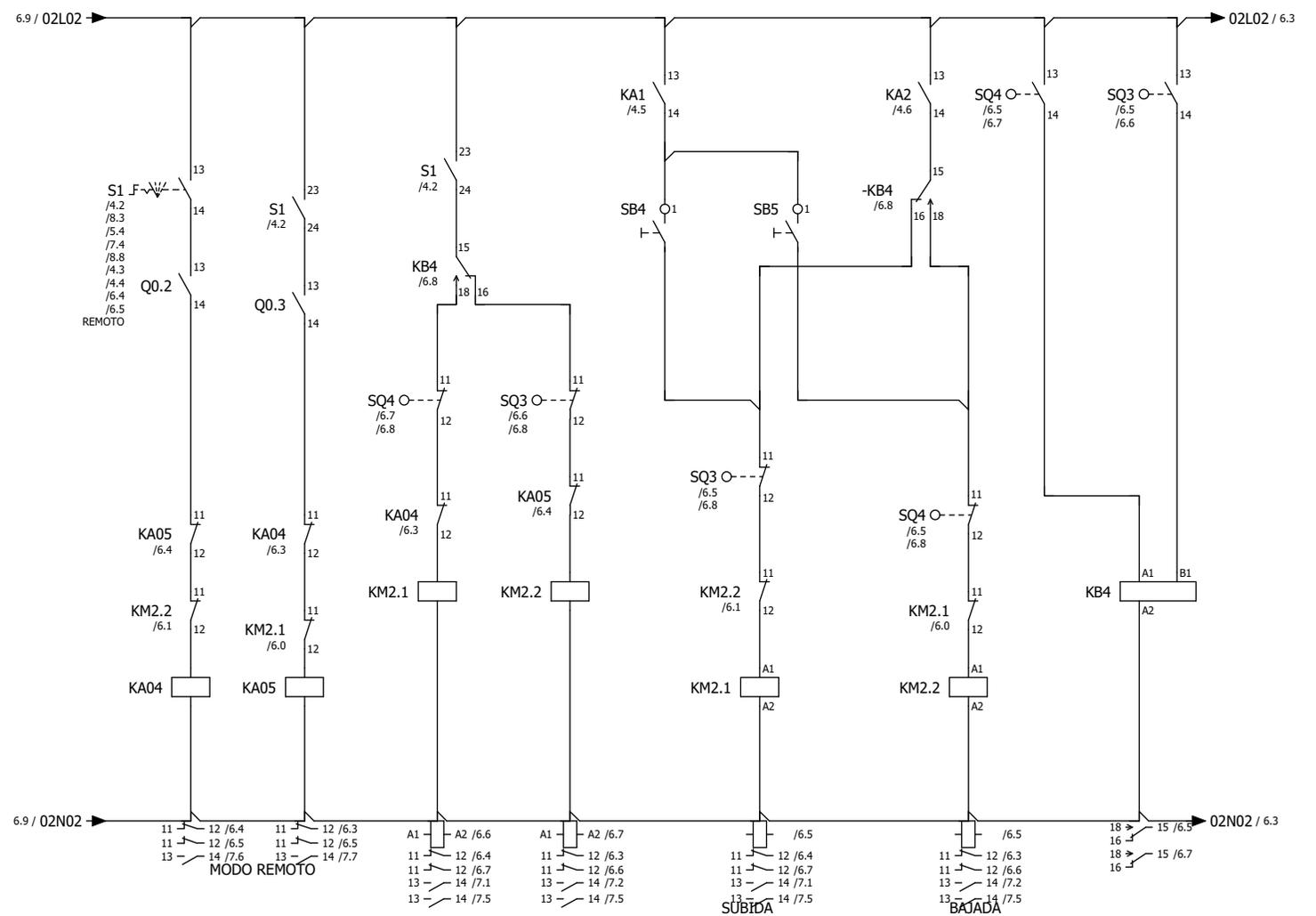
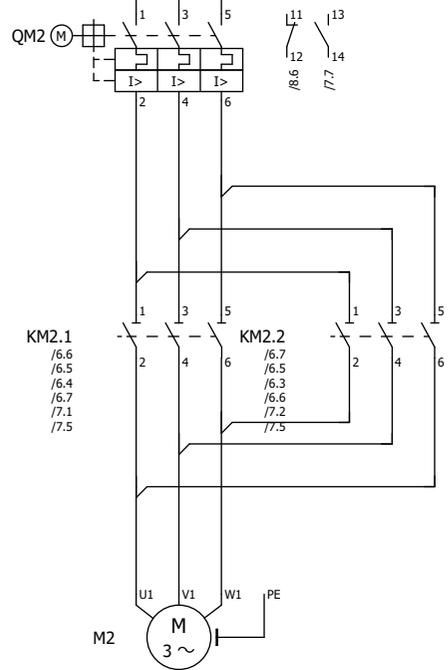
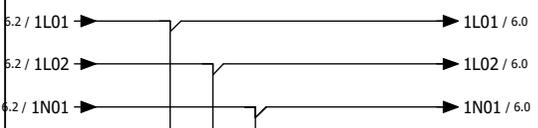


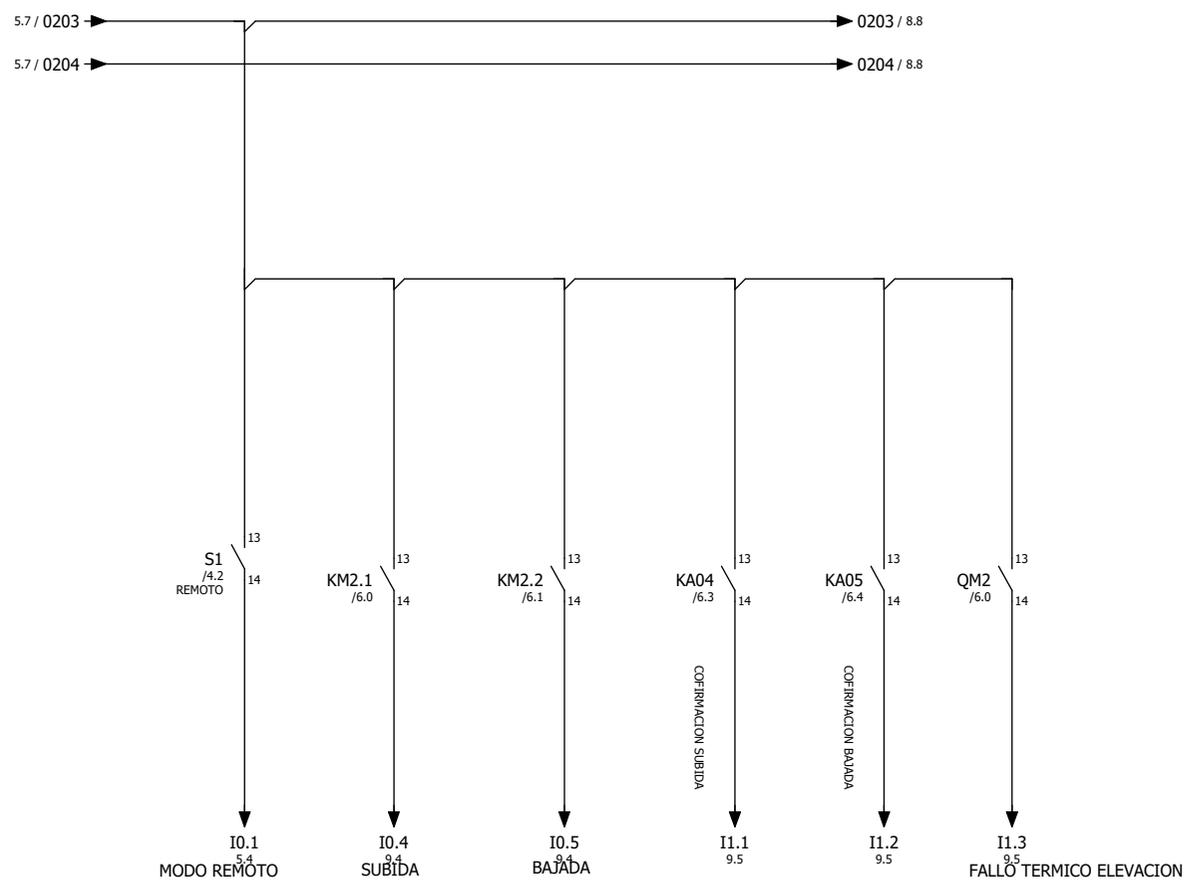
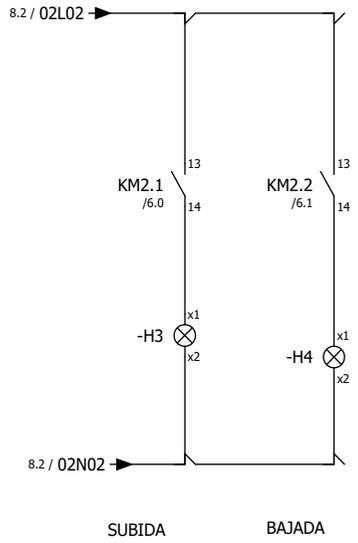


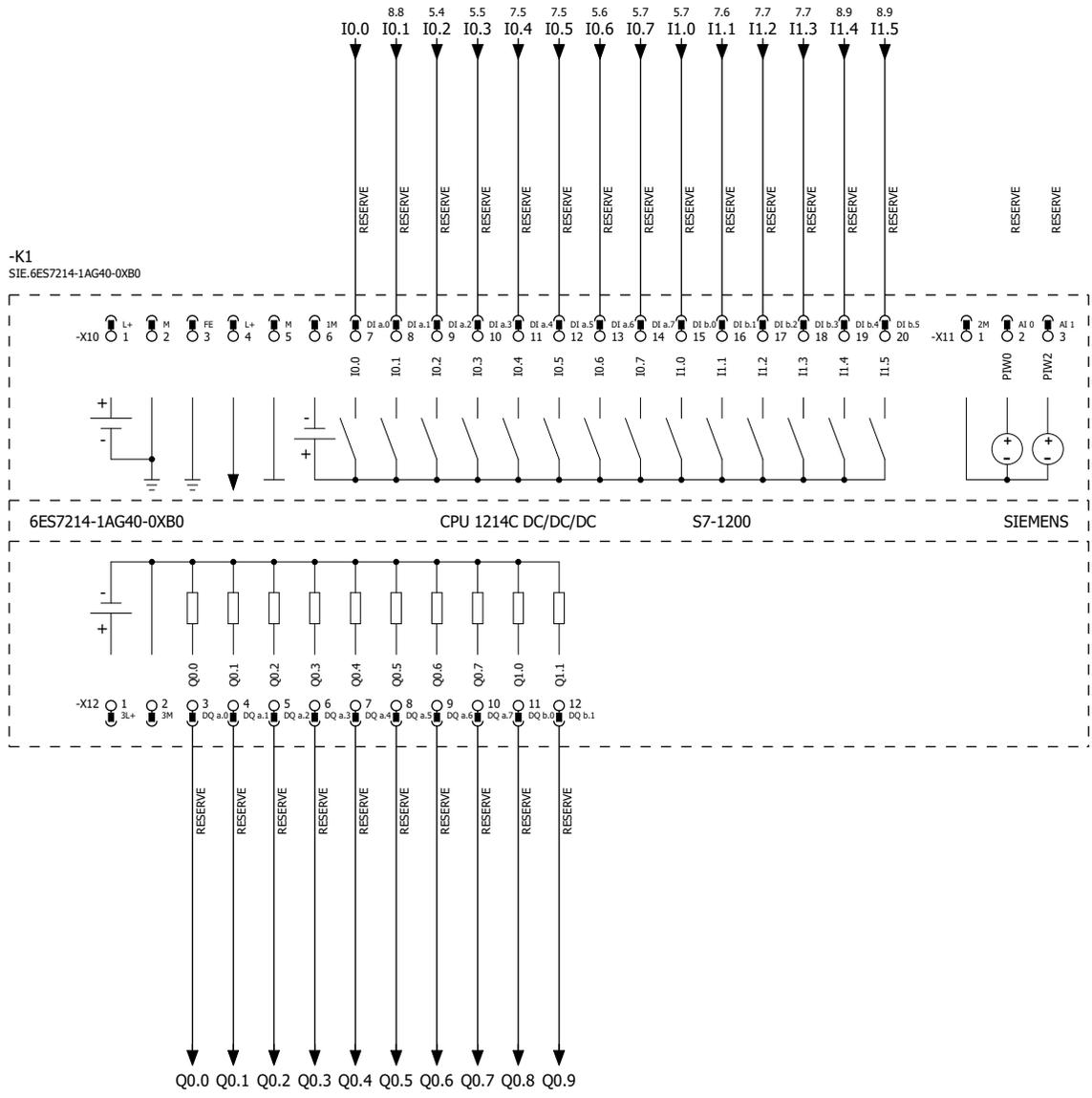




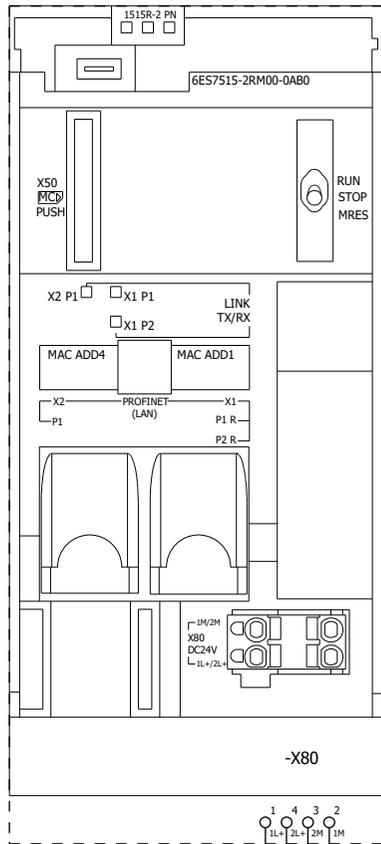




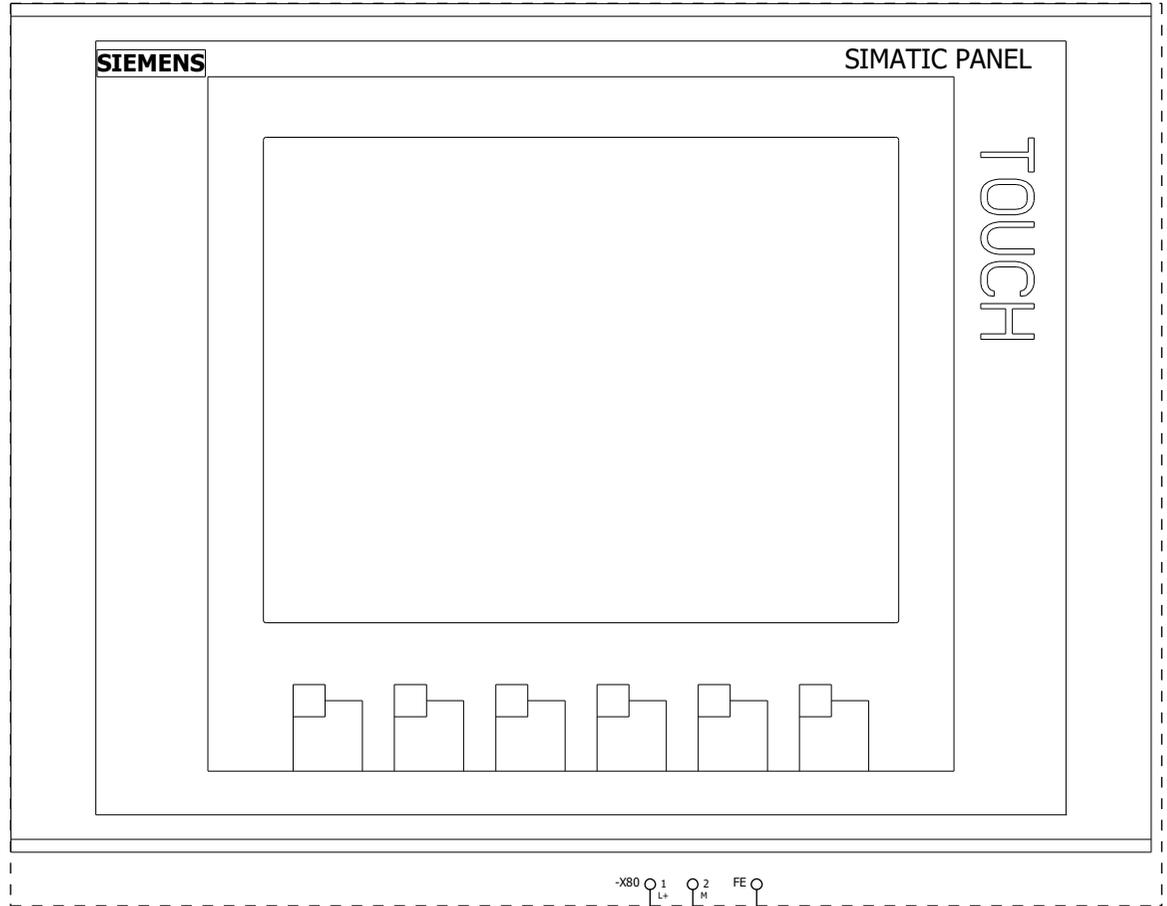




-K2



-K3



3.5 / 0205

3.5 / 0206

0205 /

0206 /

Desarenador_PTAR / PLC_1_Server [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

dbDesarenador [DB11]

dbDesarenador Propiedades

General

Nombre	dbDesarenador	Número	11	Tipo	DB	Idioma	DB
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

dbGrua

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Valor de ajuste	Supervisión	Comentario
▼ Static									
Flanco	Bool	false	False	True	True	True	False		
btMarcha	Bool	false	False	True	True	True	False		
btParo	Bool	false	False	True	True	True	False		
btEmergencia	Bool	false	False	True	True	True	False		
btRearme	Bool	false	False	True	True	True	False		
btSelectorAutomatico	Bool	false	False	True	True	True	False		
btAutomatico	Bool	false	False	True	True	True	False		
btSube	Bool	false	False	True	True	True	False		
btBaja	Bool	false	False	True	True	True	False		
btDesplazaDecha	Bool	false	False	True	True	True	False		
btDesplazaizqda	Bool	false	False	True	True	True	False		
btCargaPieza	Bool	false	False	True	True	True	False		
btDescargaPieza	Bool	false	False	True	True	True	False		
ePosicionA	Bool	false	False	True	True	True	False		
ePosicionB	Bool	false	False	True	True	True	False		
ePosicionC	Bool	false	False	True	True	True	False		
ePosicionD	Bool	false	False	True	True	True	False		
ePosicionArriba	Bool	false	False	True	True	True	False		
ePosicionAbajo	Bool	false	False	True	True	True	False		
ePiezaCargada	Bool	false	False	True	True	True	False		
ePiezaDescargada	Bool	false	False	True	True	True	False		
mPiezaCargada	Bool	false	False	True	True	True	False		
sSube	Bool	false	False	True	True	True	False		
sBaja	Bool	false	False	True	True	True	False		
sDesplazaDcha	Bool	false	False	True	True	True	False		
sDesplazaizqda	Bool	false	False	True	True	True	False		
sCargaPieza	Bool	false	False	True	True	True	False		
sDescargaPieza	Bool	false	False	True	True	True	False		
sPilotoEmergencia	Bool	false	False	True	True	True	False		
sPilotoRearme	Bool	false	False	True	True	True	False		
sPilotoListo	Bool	false	False	True	True	True	False		
sPilotoMarcha	Bool	false	False	True	True	True	False		
sPilotoParo	Bool	false	False	True	True	True	False		
mManuallisto	Bool	false	False	True	True	True	False		
EtapaEmergencia	Int	0	False	True	True	True	False		
EtapaAutomatico	Int	0	False	True	True	True	False		
EtapaMarcha	Int	0	False	True	True	True	False		
EtapaProceso	Int	0	False	True	True	True	False		
Baliza	Int	0	False	True	True	True	False		
SelectorAnterior	Bool	false	False	True	True	True	False		
PosX	Int	0	False	True	True	True	False		
PosY	Int	0	False	True	True	True	False		

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Es-cribible desde HMI/OPC UA	Visible en HMI Engineering	Valor de ajuste	Supervisión	Comentario
OrdenMarcha	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
TdsON	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
TdsOFF	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
▼ Output									
Confirmación	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
InOut									
▼ Static									
Flanco	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
Tiempo0	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
Tiempo1	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
▼ ePosicionD	"fbSimuDigital"			True	True	True	False		
▼ Input									
OrdenMarcha	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
TdsON	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
TdsOFF	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
▼ Output									
Confirmación	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
InOut									
▼ Static									
Flanco	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
Tiempo0	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
Tiempo1	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
▼ ePiezaCargada	"fbSimuDigital"			True	True	True	False		
▼ Input									
OrdenMarcha	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
TdsON	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
TdsOFF	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
▼ Output									
Confirmación	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
InOut									
▼ Static									
Flanco	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
Tiempo0	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
Tiempo1	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
▼ ePiezaDescargada	"fbSimuDigital"			True	True	True	False		
▼ Input									
OrdenMarcha	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
TdsON	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
TdsOFF	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
▼ Output									
Confirmación	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
InOut									
▼ Static									
Flanco	Bool	false	No remanente	True	True	True	False		
Tiempo0	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
Tiempo1	Int	0	No remanente	True	True	True	False		
Temp									
Constant									

Segmento 1:

```

0001 (*CONTROL DEL DESARENADOR
0002 ETAPAS PROCESO:
0003 0-REPOSO
0004 1- DESPLAZA DCHA A PUNTOB
0005 2- BAJA MOTOR RASQUETA
0006 3- LLEGA A PUNTO B
0007 4- SUBE MOTOR RASAQUETA
0008 5- DESPLAZA IZQD A PUNTO A
0009 6- PASAAREPOSO:ETAPAO*)
0010
0011
0012 REGION EMERGENCIA
0013
0014 // CONTROLA ETAPAS DE EMERGENCIA
0015 // 0- EN EMERGENCIA
0016 // 1- LISTO PARA FUNCIONAR
0017 IF "FirstScan" THEN
0018     "dbDesarenador".EtapaEmergencia := 0;
0019 END_IF;
0020 CASE "dbDesarenador".EtapaEmergencia OF

```

```
0021      0: // EN EMERGENCIA, ESPERA NO SETA Y REARME PARA PASAR A LISTO
0022          IF NOT "dbDesarenador".btEmergencia AND "dbDesarenador".btRearme THEN
0023              "dbDesarenador".EtapaEmergencia := 1;
0024          END_IF;
0025      1: // LISTO PARA FUNCIONAR, SI PULSADOR EMERGENCIA PONE EN EMERGENCIA
0026          IF "dbDesarenador".btEmergencia THEN
0027              "dbDesarenador".EtapaEmergencia := 0;
0028          END_IF;
0029      ELSE // EN CUALQUIER OTRO CASO
0030          "dbDesarenador".EtapaEmergencia := 0;
0031      END_CASE;
0032 END_REGION
0033
0034 REGION AUTOMATICO
0035     // 0 - E MANUAL
0036     // 1- EN AUTOMATICO
0037     IF "dbDesarenador".EtapaEmergencia = 0 THEN
0038         "dbDesarenador".EtapaAutomatico := 0;
0039     END_IF;
0040     CASE "dbDesarenador".EtapaAutomatico OF
0041     0: // EN MANUAL . ESPERA LISTO PARA FUNCIONAR Y SELECTOR AUTOMATICO
0042         IF "dbDesarenador".EtapaEmergencia = 1 AND "dbDesarenador".btAutomatico THEN
0043             "dbDesarenador".EtapaAutomatico := 1;
0044         END_IF;
0045     1: // EN AUTOMATICO . ESPERA A NO LISTO O SELECTOR MANUAL
0046         IF "dbDesarenador".EtapaEmergencia = 0 OR NOT "dbDesarenador".btAutomatico THEN
0047             "dbDesarenador".EtapaAutomatico := 0;
0048         END_IF;
0049     ELSE // EN CUALQUIER OTRO CASO
0050         "dbDesarenador".EtapaAutomatico := 0;
0051     END_CASE;
0052 END_REGION
0053
0054
0055
0056 REGION MARCHA
0057     // CONTROLA MARCHA PARO EN AUTOMATICO
0058     // 0- PARADO
0059     // 1- EN MARCHA EN AUTOMATICO
0060     IF "dbDesarenador".EtapaAutomatico = 0 THEN
0061         "dbDesarenador".EtapaMarcha := 0;
0062     END_IF;
0063     CASE "dbDesarenador".EtapaMarcha OF
0064     0: // PARADO. ESPERA AUTOMATICO Y PULSADOR DE MARCHA
0065         IF "dbDesarenador".EtapaAutomatico = 1 AND "dbDesarenador".btMarcha AND NOT "dbDesarenador".btParo THEN
0066             "dbDesarenador".EtapaMarcha := 1;
0067         END_IF;
0068     1: // EN MARCHA. ESPERA A PARO O MANUAL
0069         IF "dbDesarenador".EtapaAutomatico = 0 OR "dbDesarenador".btParo THEN
0070             "dbDesarenador".EtapaMarcha := 0;
0071         END_IF;
0072     ELSE // EN CUALQUIER OTRO CASO
0073         "dbDesarenador".EtapaMarcha := 0;
0074     END_CASE;
0075     IF "dbDesarenador".EtapaProceso = 19 THEN
0076         "dbDesarenador".EtapaMarcha := 0;
0077     END_IF;
0078 END_REGION
0079 REGION PROCESO
0080     // CONTROLA EL PROCESO EN AUTOMATICO
0081     // 0-REPOSO
0082     // 1- DESPLAZA DCHA A PUNTO B
0083     // 2- BAJA MOTOR RASQUETA
0084     // 3- LLEGA A PUNTO B
0085     // 4- SUBE MOTOR RASQUETA
0086     // 5- DESPLAZA IZQD A PUNTO A
0087     // 6- PASAAREPOSO:ETAPAO
0088
0089     IF "dbDesarenador".EtapaMarcha = 0 THEN
0090         "dbDesarenador".EtapaProceso := 0;
0091     END_IF;
0092     CASE "dbDesarenador".EtapaProceso OF
0093     0: // 0-REPOSO. ESPERA MARCHA EN AUTOMATICO
0094         IF "dbDesarenador".btMarcha AND "dbDesarenador".btAutomatico THEN
0095             "dbDesarenador".EtapaProceso := 1;
0096         END_IF;
0097
0098     1: // 1-BAJA MOTOR RASQUETA
0099         IF "dbDesarenador".ePosicionAbajo THEN
0100             "dbDesarenador".EtapaProceso := 2;
0101         END_IF;
0102     2: // 2- DESPLAZA IZQDA A PUNTO B
0103         IF "dbDesarenador".ePosicionB THEN
0104             "dbDesarenador".EtapaProceso := 3;
0105         END_IF;
0106     3: // 4- SUBE MOTOR RASQUETA
0107         IF "dbDesarenador".ePosicionArriba THEN
0108             "dbDesarenador".EtapaProceso := 4;
```

```
0109         END_IF;
0110     4:// 5- SUBE A PUNTO B
0111         IF "dbDesarenador".ePosicionArriba THEN
0112             "dbDesarenador".EtapaProceso := 5;
0113         END_IF;
0114
0115     5:// 6- MUEVE A IZDA B hacia A
0116         IF "dbDesarenador".ePosicionA THEN
0117             "dbDesarenador".EtapaProceso := 6;
0118         END_IF;
0119     6:// 7- PASA A REPOSO: ETAPAO
0120         "dbDesarenador".EtapaProceso := 0;
0121     ELSE // EN CUALQUIER OTRO CASO
0122         "dbDesarenador".EtapaProceso := 0;
0123     END_CASE;
0124 END_REGION
0125
0126 REGION ACTIVACIONES
0127     // ACTIVACIONES DE SALIDAS
0128     // CONTROL DE SUBE RASQUETA
0129     "dbDesarenador".sSube :=
0130     NOT "dbDesarenador".ePosicionArriba AND (
0131     ("dbDesarenador".EtapaProceso = 3));
0132
0133     // CONTROL DE BAJA RASQUETA
0134     "dbDesarenador".sBaja :=
0135     NOT "dbDesarenador".ePosicionAbajo AND (
0136     ("dbDesarenador".EtapaProceso = 1));
0137
0138     // CONTROL DE DESPLAZAMIENTOALA DERECHA
0139     "dbDesarenador".sDesplazaDcha:=
0140     ("dbDesarenador".EtapaProceso=6 AND NOT"dbDesarenador".ePosicionB)OR
0141     ("dbDesarenador".EtapaProceso=10 AND NOT"dbDesarenador".ePosicionC)OR
0142     ("dbDesarenador".EtapaProceso=14 AND NOT"dbDesarenador".ePosicionD);
0143
0144     // CONTROL DE DESPLAZAMIENTOALA IZQUIERDA
0145     "dbDesarenador".sDesplazaizqda :=
0146     NOT "dbDesarenador".ePosicionA AND (
0147     "dbDesarenador".EtapaProceso = 2 OR
0148     "dbDesarenador".EtapaProceso = 18);
0149
0150
0151     // CONTROL DE PILOTO DE EMERGENCIA
0152     "dbDesarenador".sPilotoEmergencia :="dbDesarenador".EtapaEmergencia=0;
0153     // CONTROL DE PILOTO DE REARME
0154     "dbDesarenador".sPilotoRearme := ("dbDesarenador".EtapaEmergencia = 1) OR
0155     ("dbDesarenador".EtapaEmergencia = 0 AND "dbDesarenador".EtapaEmergencia = 0 AND NOT "dbDesarenador".btEmergencia
0156     AND "Clock_1Hz");
0157     // CONTROL DE PILOTO DE LISTO PARA FUNCIONAR
0158     "dbDesarenador".sPilotoListo := "dbDesarenador".EtapaEmergencia = 1;
0159     // CONTROL DE PILOTO DE MARCHA
0160     "dbDesarenador".sPilotoMarcha :=("dbDesarenador".EtapaAutomatico=1 AND "dbDesarenador".EtapaMarcha=1) OR
0161     ("dbDesarenador".EtapaAutomatico=1 AND "dbDesarenador".EtapaMarcha=0 AND "Clock_1Hz");
0162     // CONTROL DE PILOTO DE PARO
0163     "dbDesarenador".sPilotoParo := "dbDesarenador".EtapaAutomatico = 1 AND "dbDesarenador".EtapaMarcha = 0;
0164
0165     // CALCULO DE BALIZA
0166     "dbDesarenador".Baliza.%X0:="dbDesarenador".sPilotoEmergencia;
0167     "dbDesarenador".Baliza.%X1 := "dbDesarenador".sPilotoRearme;
0168     "dbDesarenador".Baliza.%X2:="dbDesarenador".sPilotoListo;
0169
0170     // CONTROL SELECTOR MANUAL/AUTOMATICO
0171     IF NOT "dbDesarenador".SelectorAnterior AND "dbDesarenador".btSelectorAutomatico AND "dbDesarenador".EtapaEmergen-
0172     cia = 1 THEN
0173         "dbDesarenador".btAutomatico := NOT "dbDesarenador".btAutomatico;
0174     END_IF;
0175     IF "dbDesarenador".EtapaEmergencia = 0 THEN
0176         "dbDesarenador".btSelectorAutomatico := 0;
0177         "dbDesarenador".btAutomatico := 0;
0178     END_IF;
0179     "dbDesarenador".SelectorAnterior := "dbDesarenador".btSelectorAutomatico;
0180 END_REGION
0181
0182
0183 REGION POSICION
0184     IF "Clock_10Hz" = NOT "dbDesarenador".Flanco THEN
0185         //x:0+230+460+690
0186         CASE "dbDesarenador".EtapaProceso OF
0187             2:// 1- MUEVE IZDA A A
0188                 IF "dbDesarenador".PosX > 0 THEN
0189                     "dbDesarenador".PosX := "dbDesarenador".PosX - 1;
0190                 END_IF;
0191             5:// 2- DESPLAZA DCHA A PUNTOB
0192                 IF "dbDesarenador".PosX < 690 THEN
0193                     "dbDesarenador".PosX := "dbDesarenador".PosX + 1;
0194                 END_IF;
```

```
0195
0196     ELSE
0197     ;
0198 END_CASE;
0199 CASE "dbDesarenador".PosX OF
0200
0201     0: // POSICIONADO EN A
0202         "dbDesarenador".ePosicionA := 1;
0203     690: // POSICIONADO EN B
0204         "dbDesarenador".ePosicionB := 1;
0205     ELSE // Statement section ELSE
0206         "dbDesarenador".ePosicionA := 0;
0207         "dbDesarenador".ePosicionB := 0;
0208 END_CASE;
0209 //y:0-149
0210 IF "dbDesarenador".sSube AND "dbDesarenador".PosY > -149 THEN
0211     "dbDesarenador".PosY := "dbDesarenador".PosY - 1;
0212 END_IF;
0213 IF "dbDesarenador".sBaja AND "dbDesarenador".PosY < 0 THEN
0214     "dbDesarenador".PosY := "dbDesarenador".PosY + 1;
0215 END_IF;
0216 END_IF;
0217 "dbDesarenador".Flanco := "Clock_10Hz";
0218 CASE "dbDesarenador".PosY OF
0219     0: // POSICIÓN DE GANCHO ABAJO
0220         "dbDesarenador".ePosicionAbajo := 1;
0221     -149: // POSICIÓN DE GANCHO ARRIBA
0222         "dbDesarenador".ePosicionArriba := 1;
0223     ELSE // POSICIÓN DE GANCHO INTERMEDIO
0224         "dbDesarenador".ePosicionArriba := 0;
0225         "dbDesarenador".ePosicionAbajo := 0;
0226 END_CASE;
0227 END_REGION
0228
0229
```