

EVALUACIÓN TÉCNICA PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE ACTIVACIÓN DE LODOS DE UNA PLANTA PTAR UTILIZANDO UN PLC LOGO V8.

*Diego Fernando Díaz Villamizar.
Jesús Leonardo López Ferrero.*

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bucaramanga, Colombia
2020

EVALUACIÓN TÉCNICA PARA AUTOMATIZAR EL PROCESO DE ACTIVACIÓN DE LODOS DE UNA PLANTA PTAR UTILIZANDO UN PLC LOGO V8.

*Diego Fernando Díaz Villamizar.
Jesús Leonardo López Ferrero.*

Trabajo de grado presentado para optar por el título de:
Tecnólogo Electromecánico.

Director(a)
MsC. Camilo Leonardo Sandoval.

Línea de Investigación:
Automatización Industrial

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bucaramanga, Colombia
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Agradecimientos

Los autores de este proyecto agradecen a Dios y a la Universidad Antonio Nariño por darnos la oportunidad de formarnos como tecnólogos en Mantenimiento Electromecánico Industrial.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	12
1. Introducción.....	14
2. Planteamiento del problema.....	15
3. Objetivos del proyecto.....	16
3.1. Objetivo General.....	16
3.2. Objetivos Específicos.....	16
4. Marco conceptual.....	17
4.1. Aguas residuales ordinarias.....	17
4.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	17
4.3. Controlador Lógico Programable PLC.....	18
4.3.1. Controlador Lógico Programable ó PLC LOGO V8.....	19
4.4. Válvulas solenoide.....	20
4.5. Sensores de presión diferencial para medición de nivel.....	21
4.6. Actuadores y bombas de desplazamiento positivo.....	22
4.6.1. Actuadores.....	22
4.6.2. Bombas de desplazamiento positivo.....	23
4.7. Elementos que intervienen en el proceso de activación de lodos en una PTAR.....	24
4.7.1. Etapas de una planta PTAR.....	24
5. Propuesta de automatización del sistema de activación de lodos.....	26
5.1. Líneas de proceso en la activación de lodos.....	26
5.2. Establecido características de elementos de medición y actuadores.....	27

5.2.1. Evaluación técnica del sistema de medición de nivel TPD1.	27
5.2.2. Evaluación técnica del sistema de bombeo en TK1.....	28
5.2.3. Sensores de flujo FT1.	30
5.2.4. Sensor de oxígeno disuelto.	31
5.2.5. Evaluación técnica para conexión de Aireador y soplador.	32
5.3. Módulos del PLC Logo V8 para controlar y monitorear proceso de activación de lodos.32	
5.3.1. Modulo para señales análogas.	32
5.3.2. Módulo de salidas a relé.	33
6. Diseño de circuitos de control y potencia.	35
6.1. Características de la lógica de control.	35
6.1.1. Descripción de la operación en modo manual.	35
6.1.2. Descripción de la operación en modo automático.	36
6.2. Alarmas del sistema de control.	36
6.3. Configuración del direccionamiento IP del PLC.	37
6.4. Configuración de señales análogas en Logo Soft.	39
6.4.1. Escalado de sensor de flujo y transmisor de presión diferencial en Logo Soft.	40
6.4.2. Escalado de sensor de oxígeno disuelto.	41
6.5. Modelo Graficet del automatismo.	41
6.6. Conexión de circuito de control.	42
6.6.1. Conexión de circuito de potencia 220V.	44
7. Desarrollo de algoritmos para el PLC Logo V8.	46
7.1. Desarrollo de algoritmos para el PLC.	46
7.2. Programación desde logo soft.	47

8. Resultados y análisis.....	53
8.1. Características de señales analógicas.....	53
8.2. Respuesta de la operación en modo automatico.	54
8.2.1. Bomba de tanque TK1 en modo automático.....	54
8.2.2. Aireador en modo automático.....	55
8.3. Respuesta de la operación en modo manual.	57
9. Conclusiones.....	59
Bibliografía.	60

Listado de figuras

	Pág.
Figura 1 PLC SIEMENS LOGO! V8	20
Figura 2 Válvula Solenoide.	21
Figura 3 Transmisor de presión diferencial	22
Figura 4 Contactar Chinit.....	23
Figura 4 Vista en perfil y en corte de una bomba centrífuga.....	24
Figura 6 Etapas de una PTAR.....	25
Figura 7 Propuesta de automatización activación de lodos.	26
Figura 7 Sensor de flujo con sólidos en suspensión.	30
Figura 8 Sensor de oxígeno disuelto.....	31
Figura 9 Modulo Siemens para medir señales análogas.	32
Figura 10 Conexión de señales 4-20mA	33
Figura 11 Conexión de señales de voltaje.....	33
Figura 12 Modulo Siemens para salidas digitales a relé.....	34
Figura 13 Conexión de módulo SM1222 RLY.....	34
Figura 14 Configuración de la red de internet.	37
Figura 15 Protocolo de internet versión 4.....	38
Figura 16 Escritura de IP para PC.....	38
Figura 17 Direccionamiento IP de PLC.....	39
Figura 18 Bloque para configurar entradas análogas.....	39
Figura 19 Configuración de sensor de flujo en Logo Soft.....	40
Figura 20 Configuración de sensor de presión diferencial en Logo Soft.	40

Figura 21 Configuración del sensor de oxígeno.	41
Figura 22 Graficet del automatismo.....	42
Figura 23 Conexión del PLC a la red eléctrica trifásica.	43
Figura 24 Conexión de entradas digitales.	44
Figura 25 Diseño del circuito de potencia.	45
Figura 26 Algoritmo para la operación en modo automático.	46
Figura 27 Algoritmo de alarmas por condiciones de falla.	47
Figura 28 Algoritmo desarrollado en Logo Soft.	48
Figura 29 Bloques que identifican que el sistema opera en modo automático.	49
Figura 30 Encendido automático de bomba en Logo Soft.....	50
Figura 31 Encendido automático de aireador en Logo Soft.	50
Figura 32 Activación automática de alarma sonora.....	51
Figura 33 Lógica cableada de operación manual.....	52
Figura 34 Respuesta a la salida del comparador analógico.	53
Figura 35 Encendido de bomba de agua, estado 1.....	54
Figura 36 Encendido de bomba de agua, estado 2.....	55
Figura 37 Protección del motor de la bomba ante sobrecargas.	55
Figura 38 Activación automática del aireador.	56
Figura 39 Protección del motor del aireador ante sobrecargas.	56
Figura 40 Encendido de motor de bomba en modo manual.	57
Figura 41 Encendido de motor de aireador en modo manual.	58

Listado de tablas.

	Pág.
Tabla 1 Elementos que componen el PLC.....	19
Tabla 2 Coeficiente de Hazen – Williams	29
Tabla 3 Descripción de pines del sensor de flujo.	30
Tabla 4 Matriz causa efecto de sistema manual.....	35
Tabla 5 Matriz causa efecto de sistema automático.....	36
Tabla 6 Condiciones de alarma que apagan bomba y aireador.....	36
Tabla 7 Direccionamiento IP de la red.	37
Tabla 8 Entradas digitales conectadas al PLC.	43
Tabla 9 Descripción de entradas analógicas.	49

Listado de ecuaciones.

	Pág.
Ecuación 1 Presión en el fondo de tanque.	27
Ecuación 2 Nivel de agua	27
Ecuación 3 Diámetro de tubería Bresse.	28
Ecuación 4 Relación de pérdida de energía.	28
Ecuación 5 Pérdida de energía.	29
Ecuación 6 Potencia eléctrica de la bomba.	29

Resumen

Título:

Evaluación técnica para automatizar el proceso de activación de lodos de una planta PTAR utilizando un PLC logo v8.

Autores:

Diego Fernando Díaz Villamizar.

Jesús Leonardo López Ferrero.

Descripción:

A lo largo de este documento se evidencia el cumplimiento de los objetivos que fueron planteados, inicialmente presentado cuales son las características de los elementos necesarios para monitorear y controlar la operación del sistema de activación de lodos, después de esto se realiza el diseño de los esquemas que permiten conectar las señales de los instrumentos a los módulos del PLC y los actuadores que para el caso son los motores del aireador y bomba a una red eléctrica de 220Vac, para terminar con la implementación de una serie de algoritmos que permiten realizar la operación en modo automático y manual.

Abstract

Title:

Technical evaluation to automate the sludge activation process of a WWTP plant using a logo v8 PLC.

Authors:

Diego Fernando Díaz Villamizar.

Jesús Leonardo López Ferrero.

Description:

Throughout this document, the fulfillment of the objectives that were set out is evident, initially presenting what are the characteristics of the elements necessary to monitor and control the operation of the sludge activation system, after which the design of the schemes is carried out that allow to connect the signals of the instruments to the PLC modules and the actuators that for that matter are the aerator and pump motors to a 220Vac electrical network, to finish with the implementation of a series of algorithms that allow the operation to be carried out in automatic and manual mode.

1. Introducción

El oxígeno disuelto es importante en el proceso de una planta de tratamiento de aguas PTAR, para ello es necesario garantizar la continua operación de los motores eléctricos y bombas que hacen parte de este proceso, es por ello que este trabajo plantea realizar una evaluación técnica con el ánimo de determinar la viabilidad de automatizar dicho proceso utilizando un PLC, verificando cuales son los requerimientos del sistema eléctrico y de control.

2. Planteamiento del problema.

En las plantas de tratamiento de aguas, los sistemas de lodos activados utilizan el oxígeno para realizar el proceso oxidación de la materia orgánica, lo que convierte a la aireación en un proceso con un fuerte consumo energético, ya que este debe ser inyectado por motores o desplazado los lodos a un proceso de aireación con electrobombas [1], para realizar la operación de estos equipos es necesario que los operadores se desplacen a la planta lo cual aumenta el riesgo biológico al entrar en contacto con bacterias; además existe la necesidad de afianzar conocimientos adquiridos en las aulas de clase para brindar soluciones a problemas industriales mediante el uso de PLC. Por esta razón se plantea como pregunta de investigación ¿El proceso de activación de lodos de una PTAR puede ser automatizado utilizando un PLC? Este trabajo dará solución a este planteamiento ya que realizara una evaluación técnica para determinar si es posible controlar los equipos que hacen parte de este proceso utilizando un PLC Logo V8 de Siemens.

3. Objetivos del proyecto.

3.1. Objetivo General.

Realizar una evaluación técnica para automatizar el proceso de activación de lodos de una planta PTAR utilizando un PLC Logo V8 a través de una red Ethernet

3.2. Objetivos Específicos.

- Identificar mediante consulta bibliográfica, cuáles son los equipos que intervienen en el proceso de activación de lodos para seleccionar los módulos que deberán ser utilizados por el PLC Logo V8,
- Diseñar los circuitos de potencia y control, para acoplar el PLC a una red eléctrica de 220Vac, tomando como base las fichas técnicas de cada elemento utilizado en este proceso.
- Desarrollar los algoritmos de control para el PLC Logo V8, con el fin de evidenciar que es posible controlar y monitorear las variables de proceso, a través de simulaciones utilizando el software Logo Soft.

4. Marco conceptual.

4.1. Aguas residuales ordinarias.

Las aguas residuales son aquellas que se han utilizado en algún proceso y por ende se ha alterado su calidad Cuenca, D & Granados, A & Calzada, K (2012), estas aguas provienen por ejemplo de baños, cocinas, regaderas, lavanderías, por esta razón contienen contaminantes orgánicos tanto en material en suspensión como disueltos, la concentración que presenta es pequeña y se presenta en mg/L. Las principales características de estas aguas se mencionan a continuación:

- **Sólidos totales:** Son residuos remanentes después que la muestra ha sido evaporada y secada a una temperatura específica (Crites & Tchobanoglous, 2000).
- **Color:** En las aguas residuales es causado por sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución.
- **Olor:** Se producen por la degradación biológica bajo condiciones anaeróbicas en el agua.
- **Oxígeno disuelto:** Es uno de los parámetros clave de la medición de calidad del agua, los valores varían entre 7 – 9 mg/L (Crites & Tchobanoglous, 2000)..

4.2. Sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Los sistemas de tratamientos de aguas residuales consisten generalmente en una secuencia de procesos que dependen de las características de agua residual a tratar y del grado de purificación requerido, estas secuencias son: tratamiento previo, primario, secundario, terciario y cuaternario.

- **Previo y primario:** Tienen la finalidad de acondicionar el efluente para los tratamientos posteriores.

- Secundario: procesos biológicos y químicos como, barros activos, lecho fluidizado, lagunas aireadas, tratamientos anaeróbicos, entre otros.
- Terciarios y cuaternarios, son procesos de refinamiento como filtración, desinfección con cloro u ozono.

4.3. Controlador Lógico Programable PLC.

Para (Aranda, 2012) un autómatas programable o PLC, es un dispositivo electrónico que puede ser programado y que está especialmente diseñado para trabajar con procesos en entornos industriales, disponiendo de la capacidad de gestionar y controlar automatismos electrónicos, en virtud de un programa que le hayamos instalado. Para interactuar con el proceso que se desea automatizar los PLC cuentan con entradas / salidas digitales y de igual forma entradas / salidas análogas. Los elementos básicos se mencionan en la tabla 1. Entonces un PLC es un dispositivo que controla una máquina o proceso y puede considerarse simplemente una caja de control con dos filas de terminales, los cuales proporcionan comandos para conectar dispositivos como válvulas solenoides, motores, lámparas, indicadores acústicos. El circuito para producir las salidas deseadas en el momento adecuado o en la secuencia adecuada para la aplicación. El único cableado necesario para los dispositivos de entradas y salidas. No se precisa de cableado lógico alguno (Cuspiera, 1997, p. 112).

Tabla 1 Elementos que componen el PLC.

Elemento	Función.
Fuente de alimentación	Proporciona alimentación a la electrónica del autómatas, presenta una fuente de alimentación típica SIEMENS. En algunos modelos este módulo se encuentra integrado en el propio PLC, en otros, disponemos de un módulo externo encargado de convertir la tensión de la red eléctrica 230Vac, en una tensión continua de entrada al autómatas, comúnmente 12 o 24Vdc, (Aranda, 2012).
CPU.	Es la parte encargada de procesar la información proveniente del exterior, a través de las interfaces de entrada (o algún periférico externo de comunicación) y actuar sobre las salidas (o enviar la información a través del módulo de comunicaciones) en función de la programación que hallamos volcado en su memoria.
Autómatas modulares.	Son dispositivos que se instalan normalmente sobre carril DIN y que disponen de parte de su estructura separada de la CPU. Es frecuente encontrarlos con fuentes de alimentación, módulos de entrada salida (I/O), y unidades de comunicaciones y otros módulos externos colocados en el mismo rack.

Fuente: Autores.

4.3.1. Controlador Lógico Programable ó PLC LOGO V8.

Según el (Manual de edición, 2003) LOGO V8 es un módulo universal de SIEMENS como lo indica la figura 1 y lleva integrado:

- Control, es el microcontrolador que alberga la programación que se desea ejecutar en el proceso a automatizar.
- Unidad de mando y visualización con retroiluminación, pantalla LCD donde se indica la información que se desee tener presente durante la ejecución del programa.

- Fuente de alimentación, recibe una tensión de 24Vdc, 110/220V y reduce la tensión a 5Vdc para alimentar los circuitos electrónicos de la CPU.
- Interfaz para módulos de ampliación, pueden ser señales de entrada o salida análogas o digitales.

Figura 1 PLC SIEMENS LOGO! V8



Fuente: (LOGO, 2013)

4.4. Válvulas solenoide.

Un solenoide (ver figura 2) es un elemento que incorpora un conjunto de una válvula mecánica para permitir, o no, el paso de un fluido y de un electroimán (Domingo, P, p. 95). Estos elementos son importantes en la documentación de este trabajo dado que funcionaran en alguna de las etapas de activación de lodos como se observa en el diagrama de proceso del capítulo 5.

Figura 2 Válvula Solenoide.



Fuente: Electroválvulas, [en línea] [citado 30 de Marzo de 2020] disponible < <http://marvirjim.com/valvula-solenoide/>>

4.5. Sensores de presión diferencial para medición de nivel.

Es importante mencionar algunos aspectos técnicos sobre los sistemas de medición de nivel ya que según lo indica el diagrama de proceso del sistema de activación de lodos del capítulo 5, ya que para evitar que el sistema de bombeo llegase a trabajar en vacío. Los sensores de nivel se pueden clasificar en varias categorías, una forma es determinar si el nivel debe ser medido en un punto de ajuste dado o si debe ser medido en forma continua para un mínimo y un máximo.

- El sensor que determina el nivel en un producto se le denomina sensor de punto de contacto.
- El sensor que mide un máximo o un mínimo se le llama sensor de nivel continuo (Harper, p. 176), este tipo de sensores contienen un puente de wheastone (ver figura 3) y, bajo la presión del líquido, el sensor se fleta y la tensión que se crea es captada por las galgas extensiométricas, dando lugar a un desequilibrio del puente y una salida proporcional a la presión aplicada. (Creus, 2009).

Figura 3 Transmisor de presión diferencial



Fuente: Sensor de presión diferencia, [en línea] [citado 30 de Marzo de 2020] disponible <
<https://sotermic.cl/inicio/instrumentacion/sensor-de-nivel/medidor-de-nivel/>>

4.6. Actuadores y bombas de desplazamiento positivo.

4.6.1. Actuadores.

Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de "todo o nada". En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden (Mantenimiento y reparación de hogar, 2020). En la figura 4 se puede observar un contactor.

Figura 4 Contactor Chinit

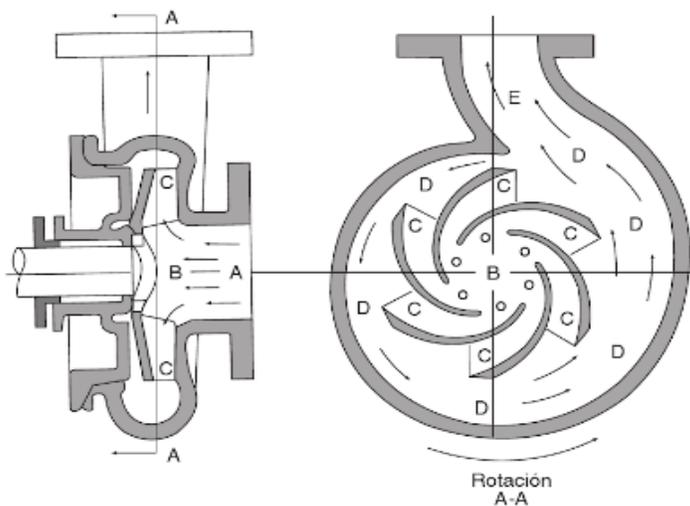


Fuente: Contactor, recuperado de <https://ingecomsas.com/producto/contactor-9a-ac3-220vac-ul/>

4.6.2. Bombas de desplazamiento positivo.

Una bomba centrífuga es una máquina que tiene un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una coraza. Las paletas proporcionan energía al fluido con el cual es impulsado por la fuerza centrífuga hacia la coraza en donde gran parte de la energía de movimiento es transformado a presión (Palacio, 2005). Una bomba centrífuga añade presión a un líquido y aumenta la velocidad del mismo. La figura 5 presenta dos vistas de una bomba centrífuga típica. El líquido entra en la bomba por la pestaña de succión, punto A. Allí su velocidad es esencialmente igual a la que tenía en la tubería que lo condujo a la bomba. Desde A, el líquido fluye hacia el ojo del impulsor, punto B, donde es recogido por las aspas de este, punto C. Las aspas aceleran el líquido en la dirección de rotación del impulsor de tal manera que, al salir del impulsor, la velocidad del líquido se aproxima a la de los extremos de las aspas. La cubierta, punto D, guía el líquido a la nuca de descarga, punto E, que convierte algo de la energía cinética en energía de presión al disminuir la velocidad desde la cubierta hasta la de descarga.

Figura 5 Vista en perfil y en corte de una bomba centrífuga.



Fuente: Palacio, Luz., Tapias, Herberto & Saldarriaga, Carlos. Metodos y Algoritmos de Diseño en Ingeniería Química. Editorial Universidad de Antioquia. 2005. p. 25, 26.

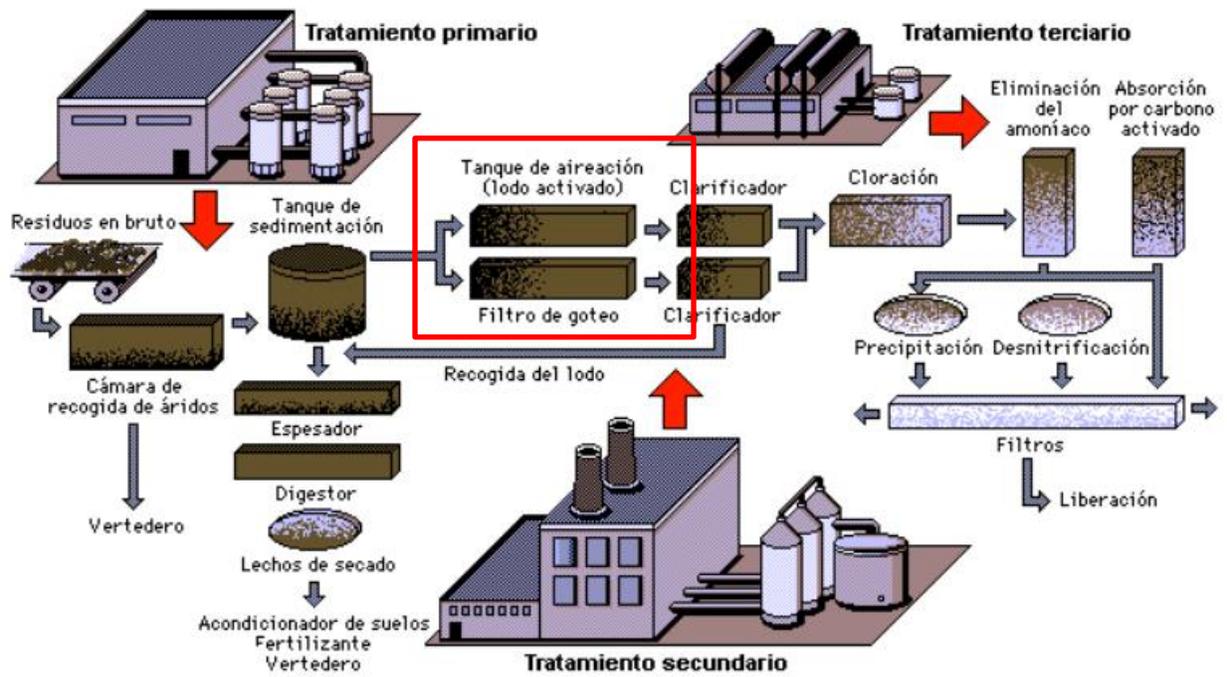
4.7. Elementos que intervienen en el proceso de activación de lodos en una PTAR.

Para determinar si es viable utilizar un PLC Logo V8 para automatizar el proceso de activación de lodos es necesario iniciar identificando cuales son las etapas bajo las cuales opera una planta de tratamiento de aguas para entrar en contexto.

4.7.1. Etapas de una planta PTAR.

El sistema de activación de lodos hace parte de los métodos biológicos que usan reacciones químicas para eliminar contaminantes, coloides o solubles. Estos procesos pueden ser aeróbicos o anaeróbicos como lagunas aireadas, lodos activados, zanjas de oxidación. En la figura 6 se indican de manera general la activación de lodos hace parte de la etapa primaria cuyo objetivo es eliminar los sólidos en suspensión, y para ello se utilizan un proceso de sedimentación simple, por gravedad, o asistida por sustancias químicas.

Figura 5 Etapas de una PTAR.



Fuente: PTAR, [en línea] [citado 30 de Marzo de 2020] disponible <
<https://tratamientodeaguasresiduales.net/etapas-del-tratamiento-de-aguas-residuales/>>

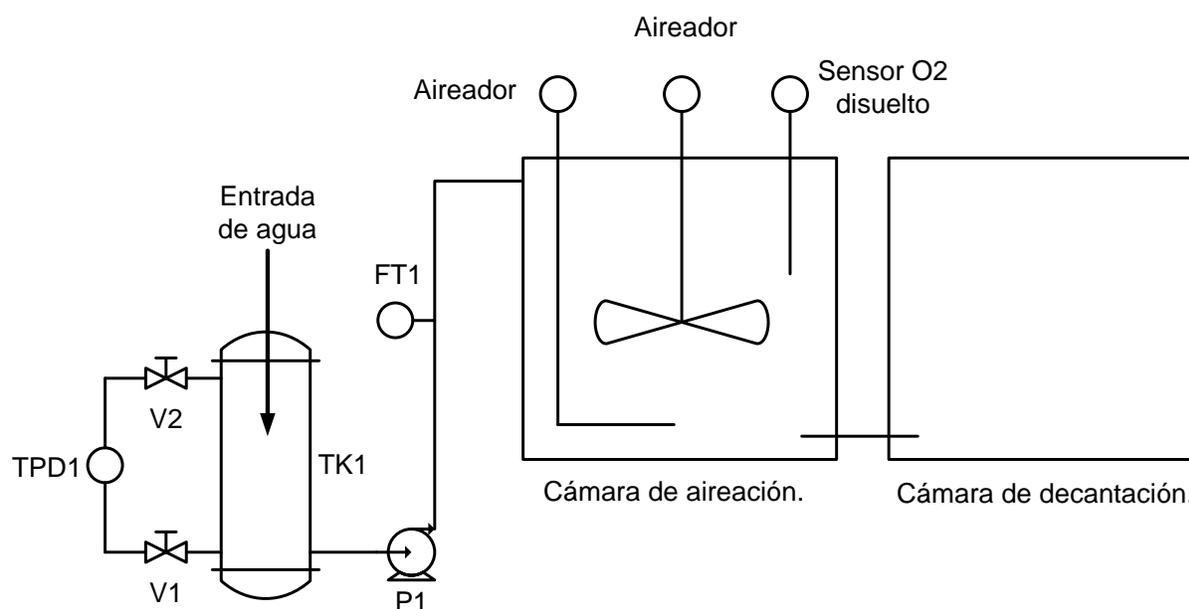
5. Propuesta de automatización del sistema de activación de lodos.

Como se observa en la figura 6, la activación de lodos hace parte de la etapa primaria de una PTAR, ahora se entra a detallar cada uno de los elementos que aquí son utilizados con el fin de evaluar técnicamente como se logra automatizar esta etapa del proceso a través de un PLC Logo V8.

5.1. Líneas de proceso en la activación de lodos.

En la figura 7 se observan los elementos que hacen parte de las líneas de proceso y los instrumentos utilizados para alimentar la información del PLC, de esta forma se empieza a observar que es técnicamente viable la automatización mediante un PLC Logo V8.

Figura 6 Propuesta de automatización activación de lodos.



Fuente: Autores.

5.2. Estableciendo características de elementos de medición y actuadores.

5.2.1. Evaluación técnica del sistema de medición de nivel TPD1.

Inicialmente en el sistema de activación de lodos es necesario contar con un equipo de medición de nivel de agua, para ello se plantea utilizar el método de presión diferencial, sin embargo, al no tener las dimensiones del tanque TK1 (ver figura 5) se dejan todas las bases técnicas que permiten identificar las características de este equipo o sensor. A través de la ecuación 1 es posible calcular la presión en el fondo de tanque y al despejar la altura se obtiene la ecuación 2.

Ecuación 1 Presión en el fondo de tanque.

$$Presión_{fonde_tanque} = \rho * g * h$$

Fuente: Autores

Dónde:

- g = Gravedad: 9,81m/s²
- h = Altura: esta es el nivel de agua
- ρ : densidad del agua
- $Presión_{fonde_tanque}$ Presión: este es el valor que entrega el transmisor de presión diferencial, por lo tanto, es un valor conocido.

Ecuación 2 Nivel de agua

$$h = \frac{Presion_{fondo_tanque}}{\rho * g}$$

Fuente: Autores

5.2.2. Evaluación técnica del sistema de bombeo en TK1.

Para retirar el agua que llega al TK1 y llevarla a la cámara de aireación es necesario contar con una bomba centrífuga ya que puede operar con sólidos en suspensión, por esta razón se dejan los fundamentos teóricos para dimensionar el sistema de bombeo. Para iniciar es necesario determinar el diámetro de la tubería y para ello se utiliza la ecuación 3 llamada formula de Bresse, aquí el diseñador debe saber previamente cual será el caudal a manejar.

Ecuación 3 Diámetro de tubería Bresse.

$$D = 0.58733 * N^{0.25} * \sqrt{Q}$$

Dónde:

- D: Diámetro interior aproximado (m).
- N: Número de horas de bombeo al día.
- Q: Caudal de bombeo (m³/h).

Después de esto se deben determinar las pérdidas que se presentarían en la tubería debido a válvulas, fricción, etc, para ello se utilizaría la ecuación 4 de Hazen – Williams y el valor de Ch se obtiene de la tabla 2, para finalmente realizar el caculo utilizando la ecuación 5.

Ecuación 4 Relación de perdida de energía.

$$S = \left(\frac{Q}{0.2785 * D^{2.63} * C_h} \right)^{1.85}$$

Tabla 2 Coeficiente de Hazen – Williams

Tipo de tubo	Tuberías nuevas y limpias	Valor de diseño
Acero, hierro dúctil, con revestimiento.	150	140
Plástico, cobre, latón, vidrio.	140	130
Acero, hierro dúctil sin recubrimiento	130	100
Concreto.	120	100
Acero corrugado.	60	60

Fuente: Robert L. Mott. (México, 2006) Mecánica de Fluidos de 6ta Edición, Ed. Pearson, Pág. 244.

Ecuación 5 Pérdida de energía.

$$H_L = S * L$$

Dónde:

- L: Longitud de la tubería.
- S Pérdida de energía del conducto.

Estos cálculos son necesarios para evaluar técnicamente cuáles son las condiciones que se deben tener en cuenta para seleccionar el sistema de bombeo del TK1 y de esta forma poder determinar cuál sería la potencia eléctrica de la bomba centrífuga a utilizar. Por esta razón se utilizará la ecuación 6 aquí es importante tener en cuenta la altura dinámica de la bomba a cuál será la altura desde el punto más bajo del TK1 hasta el punto de descarga.

Ecuación 6 Potencia eléctrica de la bomba.

$$P_C(HP) = \frac{100 * Q_b * HDT}{75 * \eta_b * \eta_m}$$

Dónde:

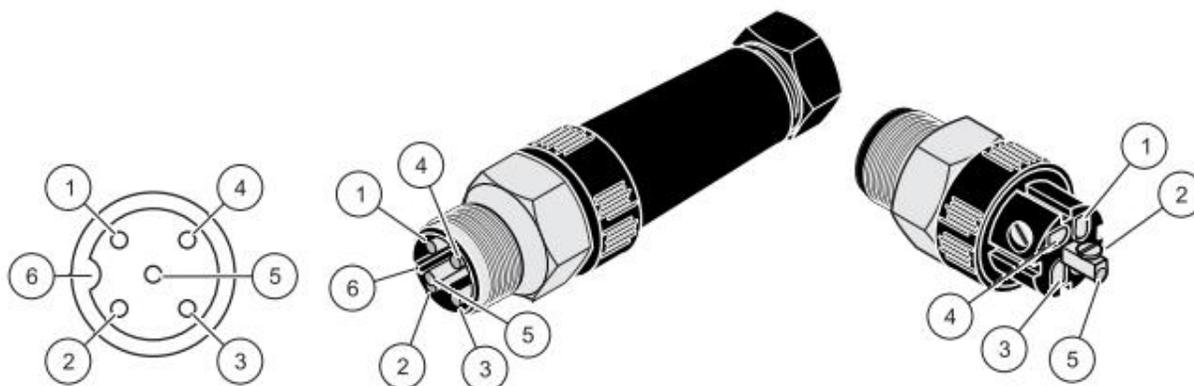
- η_b Eficiencia de la bomba.

- η_m Eficiencia del motor acoplado a la bomba.
- Q_b : Caudal de la bomba.
- HDT Altura dinámica de la bomba.

5.2.3. Sensores de flujo FT1.

Al tratarse de una PTAR el sensor de flujo debe tener la capacidad de medir el caudal con sólidos en suspensión, por ello se investigan diferentes alternativas identificando que la empresa HACH cuenta con una solución tecnológica a través del sensor de referencia LZY339, el rango de medición dependerá del caudal de diseño utilizado en la ecuación 6. En la figura 8 se observa de forma general este sensor y en la tabla 3 se indica la función de cada uno de los pines de este sensor.

Figura 8 Sensor de flujo con sólidos en suspensión.



Fuente: PTAR, [en línea] [citado 1 de Abril de 2020] disponible < <https://co.hach.com/sensor-en-linea-de-solidos-en-suspension-tss-sc/product-downloads?id=53559778834>>

Tabla 3 Descripción de pines del sensor de flujo.

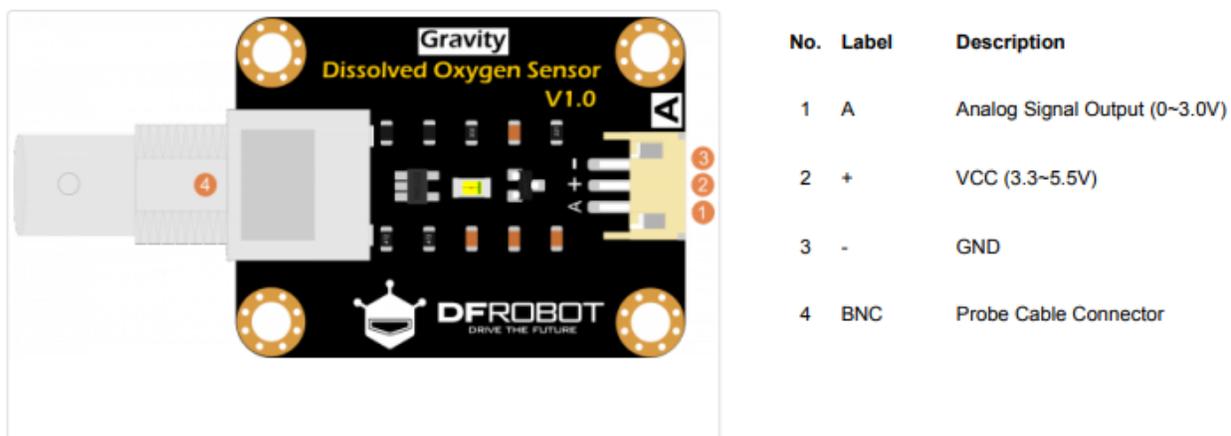
Posición	Descripción.
1	+12VDC
2	Data (+)
3	Data (-)
4	Ground
5	No usar
6	No usar

Fuente: Sensor de flujo, [en línea] [citado 1 de Abril de 2020] disponible < <https://co.hach.com/sensor-en-linea-de-solidos-en-suspension-tss-sc/product-downloads?id=53559778834> >

5.2.4. Sensor de oxígeno disuelto.

Al investigar las diferentes opciones de medición de oxígeno disuelto se encuentra el SEN0237-A (ver figura 9), este presenta una salida analógica proporcional de 0-3Vdc, además la construcción de la sonda permite que no necesite tiempo de polarización para la medida y que pueda tomar los datos de forma inmediata, la solución presente en el cabezal de la membrana puede reemplazarse y de esta forma disminuir el costo de mantenimiento del sensor y su salida puede ser conectada a una de las entradas analógicas del PLC Logo V8.

Figura 9 Sensor de oxígeno disuelto.



Fuente: Sensor de oxígeno disuelto, [en línea] [citado 1 de Abril de 2020] disponible < <https://www.sigmaelectronica.net/producto/sen0237-a/> >

5.2.5. Evaluación técnica para conexión de Aireador y soplador.

La evaluación técnica que se hace respecto a la conexión del aireador y soplador a la lógica de control del PLC es la mencionada en los siguientes ítems:

- La maniobra o encendió/apagado de estos equipos se realiza utilizando contactores.
- La bobina de los contactores debe ser acorde al nivel de tensión de la red eléctrica que para el caso de estudio es 220V.

5.3. Módulos del PLC Logo V8 para controlar y monitorear proceso de activación de lodos.

5.3.1. Modulo para señales análogas.

Para realizar la medición de las señales análogas de flujo, nivel de agua, oxígeno disuelto, Siemens cuenta con los módulos SM123 AI (ver figura 10) a través de ellos será posible llevar la información de estos sensores al PLC Logo V8.

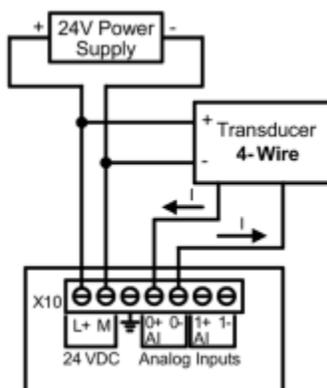
Figura 10 Modulo Siemens para medir señales análogas.



Fuente: Modulo análogo Siemens, [en línea] [citado 1 de Abril de 2020] disponible <https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?objkey=G_ST70_XX_98393>

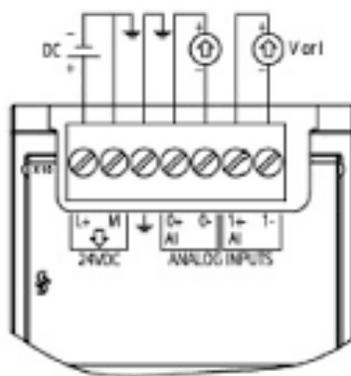
La conexión de sensor de flujo y nivel cuya salida es un valor proporcional de 4-20mA se conectaría como se indica en la figura 11, y para la señal de oxígeno disuelto que es un valor proporcional de 0-3Vdc se realizarían las conexiones de la figura 12.

Figura 11 Conexión de señales 4-20mA



Fuente: Modulo análogo Siemens, [en línea] [citado 1 de Abril de 2020] disponible <https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?objkey=G_ST70_XX_98393>

Figura 12 Conexión de señales de voltaje



Fuente: Modulo análogo Siemens, [en línea] [citado 1 de Abril de 2020] disponible <https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?objkey=G_ST70_XX_98393>

5.3.2. Módulo de salidas a relé.

Para realizar la conexión de las salidas digitales con las cuales se activará el motor de la bomba y aireador se pueden utilizar los módulos SM1222 RLY (ver figura 13).

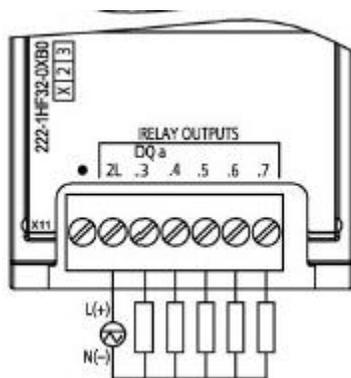
Figura 13 Modulo Siemens para salidas digitales a relé.



Fuente: Modulo analógico Siemens, [en línea] [citado 1 de Abril de 2020] disponible <https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?objkey=G_ST70_XX_98393>

Las bobinas de los contactores se conectan como se presenta en a figura 14, aquí es necesario asegurar que el nivel de tensión para este trabajo es de 220V y más detalle de estas conexiones se indican en el capítulo 6.

Figura 14 Conexión de módulo SM1222 RLY.



Fuente: Modulo analógico Siemens, [en línea] [citado 1 de Abril de 2020] disponible <https://www.automation.siemens.com/bilddb/search.aspx?objkey=G_ST70_XX_98393>

6. Diseño de circuitos de control y potencia.

Conociendo ya los elementos que conforman el proceso de activación de lodos, y al ver que todos estos pueden ser conectados al PLC se inicia con el desarrollo de la lógica de control cableada y la conexión de los elementos de medición (sensores) y los actuadores (contactores).

6.1. Características de la lógica de control.

Antes de iniciar la programación del PLC Logo V8 se debe identificar claramente cuáles serán las funciones del mismo, es por esta razón que se inicia definiendo la lógica de control. Los modos de operación son:

- Manual: Todas las acciones serán realizadas sin tener en cuenta la lógica de control establecida en el PLC.
- Automático: El PLC podrá decidir qué acción realizar según lo establezca la lógica propuesta a continuación.

6.1.1. Descripción de la operación en modo manual.

Para que la lógica de control identifique que operara de modo manual, se deja una muletilla (S1) y todas las acciones que se podrán desarrollar se describen en la tabla 4.

Tabla 4 Matriz causa efecto de sistema manual.

Causa	Efecto
Se ha activado la parada de emergencia.	Apagar bomba y aireador y encender un indicador piloto Rojo, desactivando los contactores respectivos.
Prender / apagar bomba	Activa o desactiva contactor de bomba
Prender / apagar aireador.	Activa o desactiva contactor de aireador.

Fuente: Autores.

6.1.2. Descripción de la operación en modo automático.

Para la operación del sistema de activación de lodos en modo automático se definen las acciones descritas en la tabla 5.

Tabla 5 Matriz causa efecto de sistema automático.

Causa	Efecto
Transmisor de nivel indica que existe agua en el tanque de entrada TK1	Activa la bomba para llevar agua a la cámara de aireación.
Si esta activa la bomba de agua y el sensor de flujo indica que el caudal es igual al nominal de la bomba.	Se activa el motor del aireador.
Si se encuentran activados el aireador y la bomba	Se activa indicador piloto verde que muestra operación normal.

Fuente: Autores.

6.2. Alarmas del sistema de control.

Las condiciones de alarma que producirán que los equipos se desactiven o apaguen son las que se indican en la tabla 6, aquí se tienen en cuenta condiciones de proceso y del sistema eléctrico.

Tabla 6 Condiciones de alarma que apagan bomba y aireador.

Causa	Sensor	Efecto
Sobrecarga en motor de bomba	Relé térmico de motor de bomba.	Apaga motor de bomba
Sobrecarga en motor de aireador	Relé térmico de motor de aireador.	Apaga motor de aireador.
Bajos niveles de oxígeno	SEN0237-A	Activa alarma visual.
Activación de parada de emergencia.	PE-1	Apaga motor de bomba y aireador.
Bajo nivel de agua en TK1	TPD1	Apaga motor de bomba.

Fuente: Autores.

6.3. Configuración del direccionamiento IP del PLC.

La configuración inicial del PLC consiste en establecer el direccionamiento IP del PC que cuente con el software Logo soft y al PLC logo V8 con direcciones IP que hagan parte de la misma red.

Para este trabajo se opta por definir las direcciones IP indicadas en la tabla 7.

Tabla 7 Direccionamiento IP de la red.

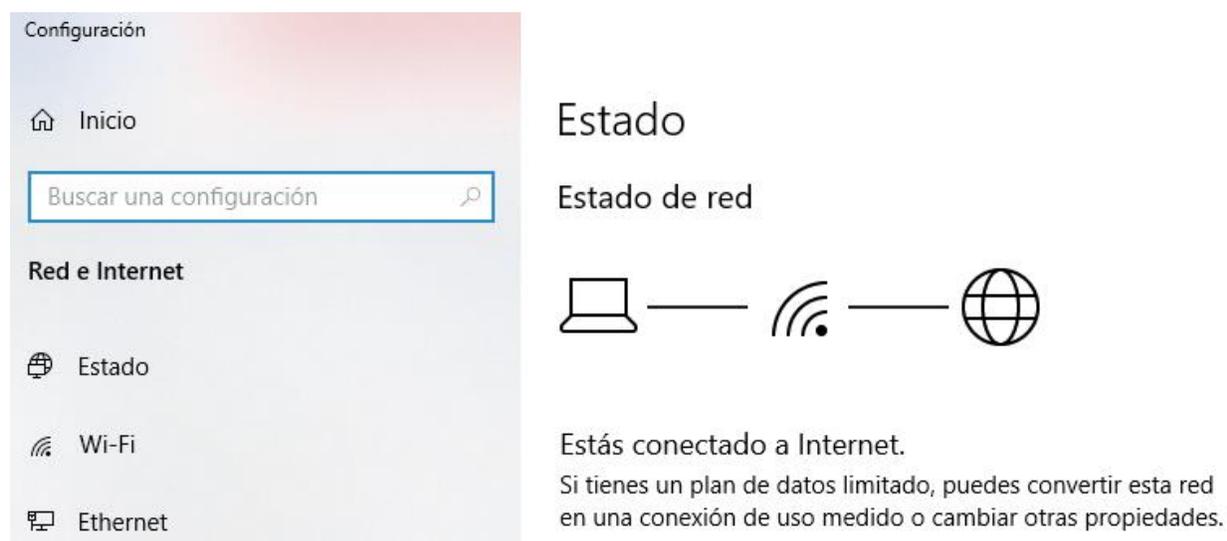
Elemento	Dirección IP.
Computador con software Logo Soft	192.168.1.10
PLC Logo V8.	192.168.1.20

Fuente: Autores.

Para asignar esta dirección IP al computador se deben realizar los pasos que se mencionan a continuación:

- Ingresar a configuración de la red de internet (ver figura 15).

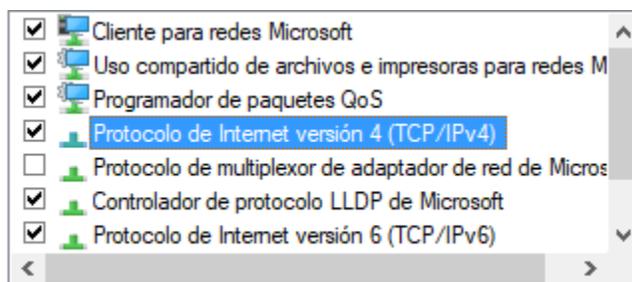
Figura 15 Configuración de la red de internet.



Fuente: Autores.

- Ingresar a la opción Ethernet y seleccionar la opción cambiar opciones del adaptador, seleccionar ahora protocolo de internet versión 4, si ha seguido correctamente los pasos, deberán observar la misma imagen que se presenta en la figura 16.

Figura 16 Protocolo de internet versión 4.



Fuente: Autores.

- Como se observa en la figura 17 ya es posible escribir la dirección IP que se encuentra en a tabla 4.

Figura 17 Escritura de IP para PC.

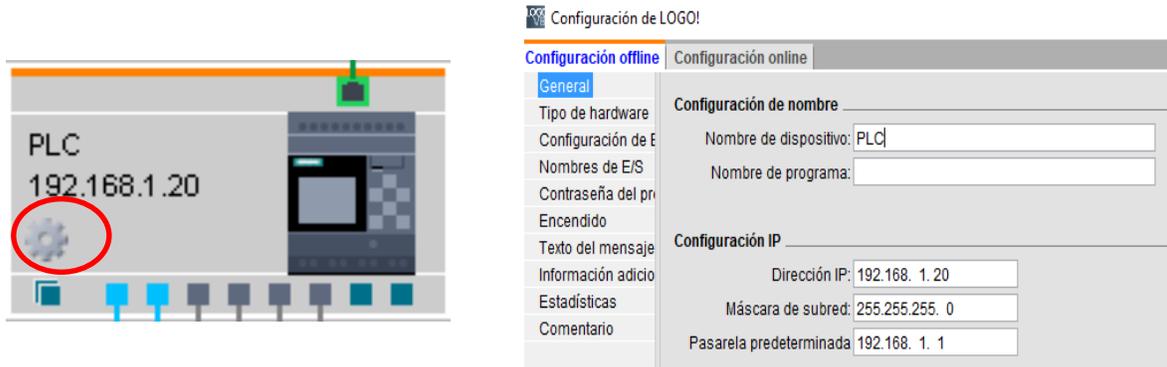
Usar la siguiente dirección IP:

Dirección IP:	192 . 168 . 1 . 10
Máscara de subred:	255 . 255 . 255 . 0
Puerta de enlace predeterminada:	192 . 168 . 1 . 1

Fuente: Autores.

Para el caso del PLC se ingresa a la opción de herramientas (ver figura 18) y se establece la dirección IP que se definió en la tabla 4.

Figura 18 Direccionamiento IP de PLC.

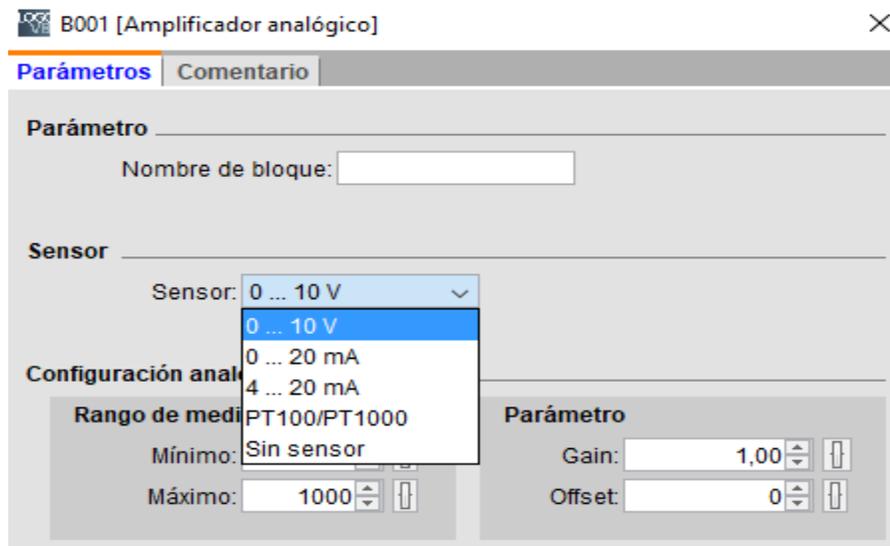


Fuente: Autores.

6.4. Configuración de señales analógicas en Logo Soft.

Para realizar la configuración de las entradas analógicas y digitales de cada uno de los sensores analógicos mencionados en este trabajo, será necesario utilizar el bloque llamado amplificador analógico que cuenta con las opciones 0-10V, 4-20mA (ver figura 19).

Figura 19 Bloque para configurar entradas analógicas.

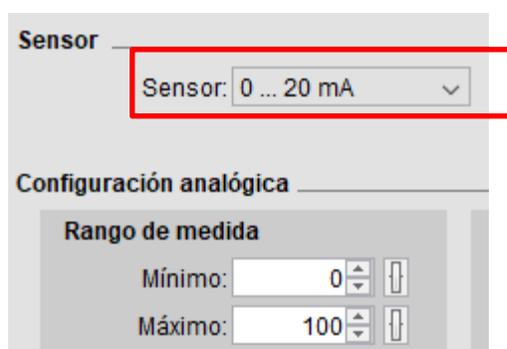


Fuente: Autores.

6.4.1. Escalado de sensor de flujo y transmisor de presión diferencial en Logo Soft.

El sensor de flujo cuenta con una salida analógica de 0-20mA, el valor del flujo máximo dependerá de la instalación real de la planta PTAR, por esta razón y para efectos de la simulación se tomará un valor en porcentaje, es decir si no hay flujo la corriente es 0mA, pero si el flujo es el máximo (100%) la corriente es de 20mA. Por esta razón esa es la configuración que se realiza en el bloque analógico indicado en la figura 20.

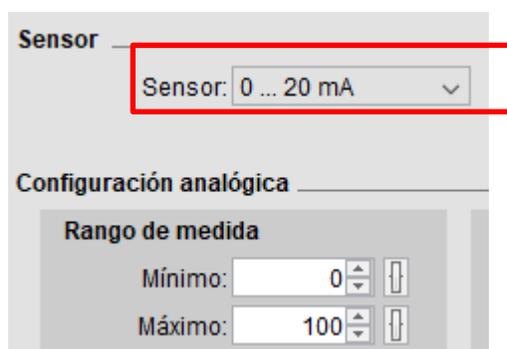
Figura 20 Configuración de sensor de flujo en Logo Soft.



Fuente: Autores.

Para el caso del sensor de presión diferencial que detecta el nivel de agua en el tanque 1 (TK1) se realiza la configuración de la figura 21, los valores máximos y mínimos se establecen en 0 y 100%.

Figura 21 Configuración de sensor de presión diferencial en Logo Soft.



Fuente: Autores.

6.4.2. Escalado de sensor de oxígeno disuelto.

Para realizar el escalado del sensor de oxígeno disuelto se realiza como lo indica la figura 22 cuya diferencia respecto a los sensores de flujo y presión es que este cuenta con una salida en voltaje, sin embargo, para efectos de simulación se mantiene el mismo escalado de 0 y 100%.

Figura 22 Configuración del sensor de oxígeno.



Fuente: Autores.

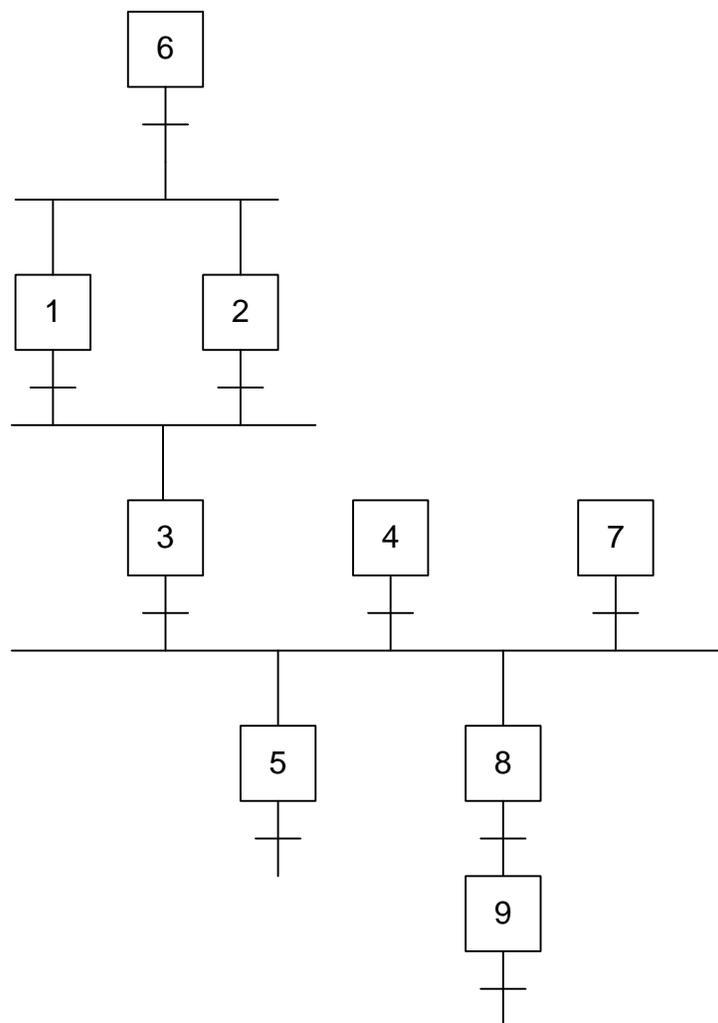
6.5. Modelo Grafcet del automatismo.

A continuación, se desarrolla el Grafcet (ver figura 23) que será implementado en el PLC Logo V8, según lo establece la operación del sistema en modo automático como se describe en el apartado 6.1 de este documento, a continuación, se explica la numeración:

1. Nivel de agua se encuentra dentro de los límites.
2. No existe sobrecarga en motor de la bomba.
3. Bomba de agua encendida.
4. Sensor de flujo detecta caudal en el valor nominal de la bomba.
5. Prende aireador e indicador piloto verde.
6. La parada de emergencia no está activada.
7. No existe sobrecarga en el motor del aireador.

8. Bajo nivel de oxígeno.
9. Alarma sonora.

Figura 23 Graficet del automatismo.

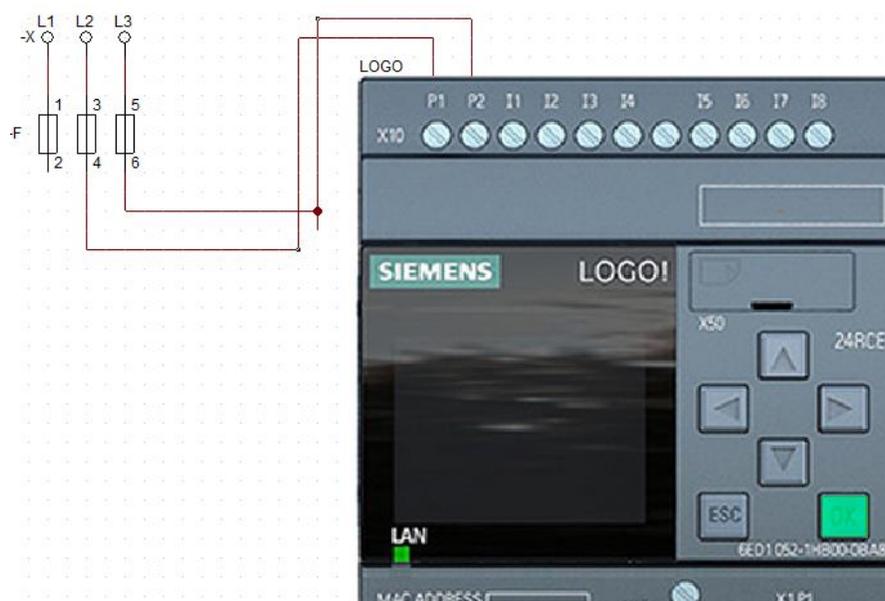


Fuente: Autores.

6.6. Conexión de circuito de control.

Ya con toda la lógica operacional clara y con los módulos configurados para realizar la simulación, se puede definir como se debe realizar la conexión del PLC a la red eléctrica trifásica (ver figura 24). Aquí no se detallan las conexiones de los sensores porque esto ya fue mencionado en el numeral 5.4.1.

Figura 24 Conexión del PLC a la red eléctrica trifásica.



Fuente: Autores.

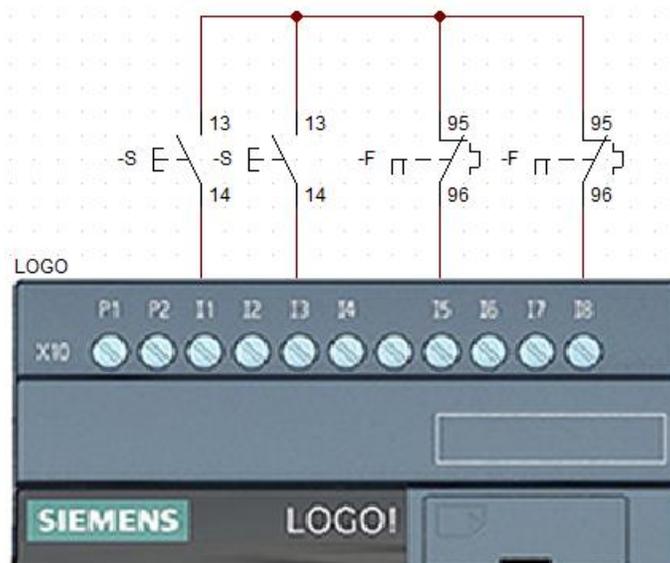
Ahora bien para realizar la conexión de las entradas digitales que para el caso serán las indicadas en la tabla 8 se deben conectar en los puntos indicados como I1...I8 el detalle de cada una de ellas se discrimina en la figura 25, la señal toma una fase de la red eléctrica y la pasa por el respectivo contacto del interruptor para posteriormente llevar esta señal a la entrada digital.

Tabla 8 Entradas digitales conectadas al PLC.

Entrada digital	Función.
I1	Identifica si el sistema es manual o automático
I3	Identifica si esta activada la parada de emergencia.
I5	Identifica si se presentó sobrecarga en el motor de la bomba.
I8	Identifica si se presentó sobrecarga en el motor del aireador.

Fuente: Autores.

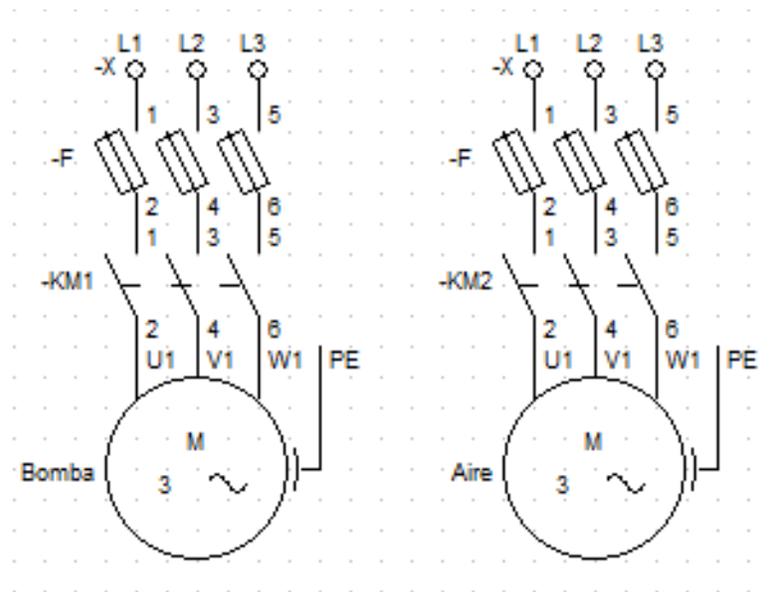
Figura 25 Conexión de entradas digitales.



Fuente: Autores.

6.6.1. Conexión de circuito de potencia 220V.

Tal como se planteó al inicio de este trabajo el circuito de potencia que se plantea es a un nivel de tensión de 220V que es un valor estandarizado de uso industrial, en la figura 26 entonces se inicia la instalación utilizando elementos de protección en caso de cortocircuito, después de esto se ubican los elementos de maniobra o contactores para finalmente utilizar relés térmicos que protegen los motores ante sobrecargas. En esta etapa no se detallan las características ni de las protecciones eléctricas, contactores y calibre del cableado, pues hace parte de una simulación y estos valores dependerán directamente de la instalación final.

Figura 26 Diseño del circuito de potencia.

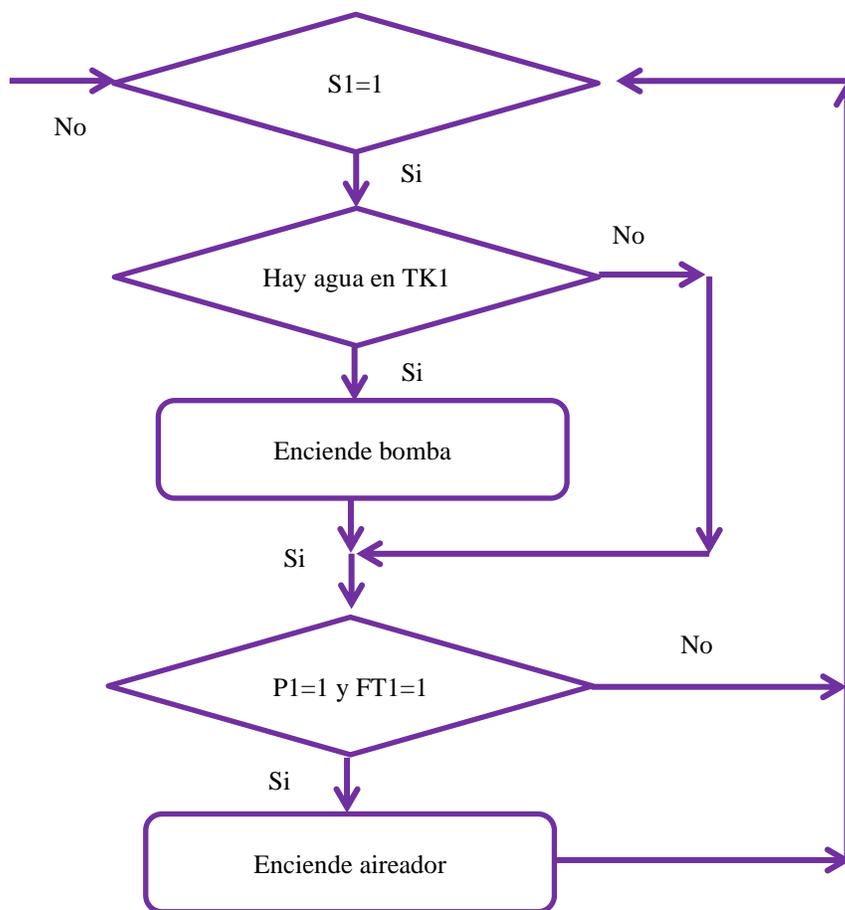
Fuente: Autores.

7. Desarrollo de algoritmos para el PLC Logo V8.

7.1. Desarrollo de algoritmos para el PLC

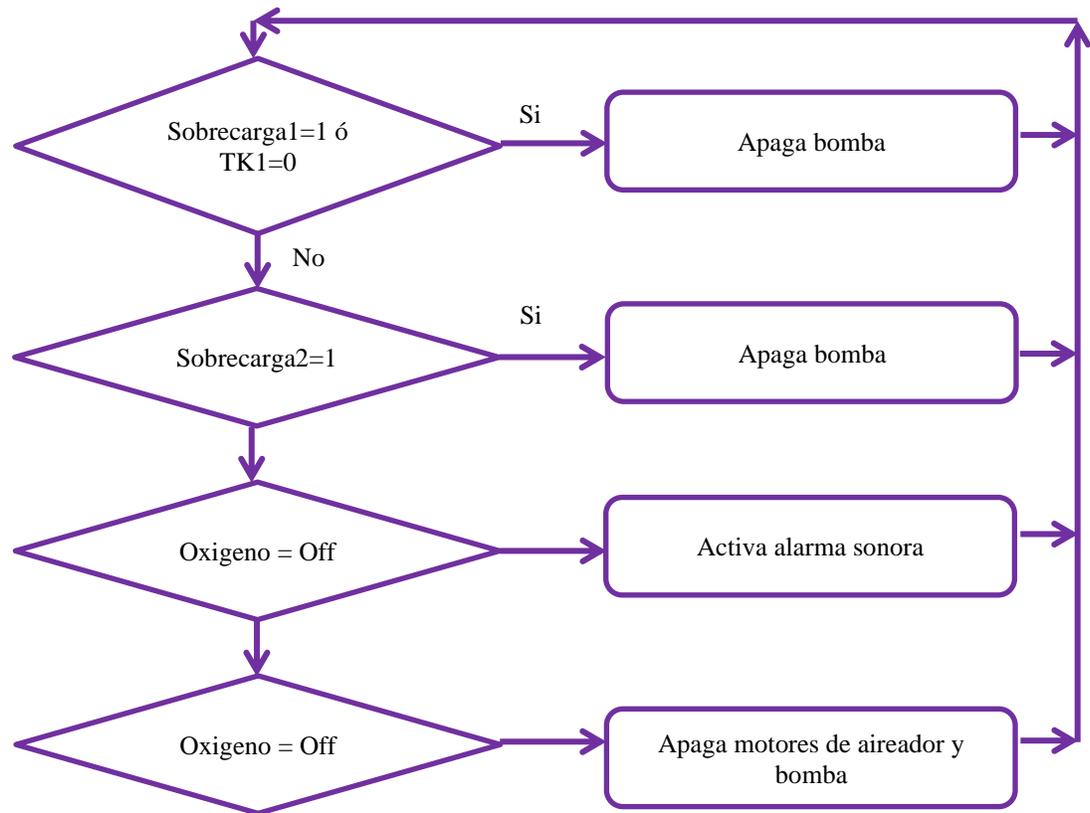
En la figura 27 se presenta el algoritmo o diagrama de flujo para la operación en modo automático del sistema planteado aquí se tienen en cuenta las señales de entradas análogas y digitales y actuaran según lo establece la tabla 4. En la figura 28 está el diagrama de flujo que se debe programar para las condiciones de alarma mencionadas en la tabla 5.

Figura 27 Algoritmo para la operación en modo automático.



Fuente: Autores.

Figura 28 Algoritmo de alarmas por condiciones de falla.

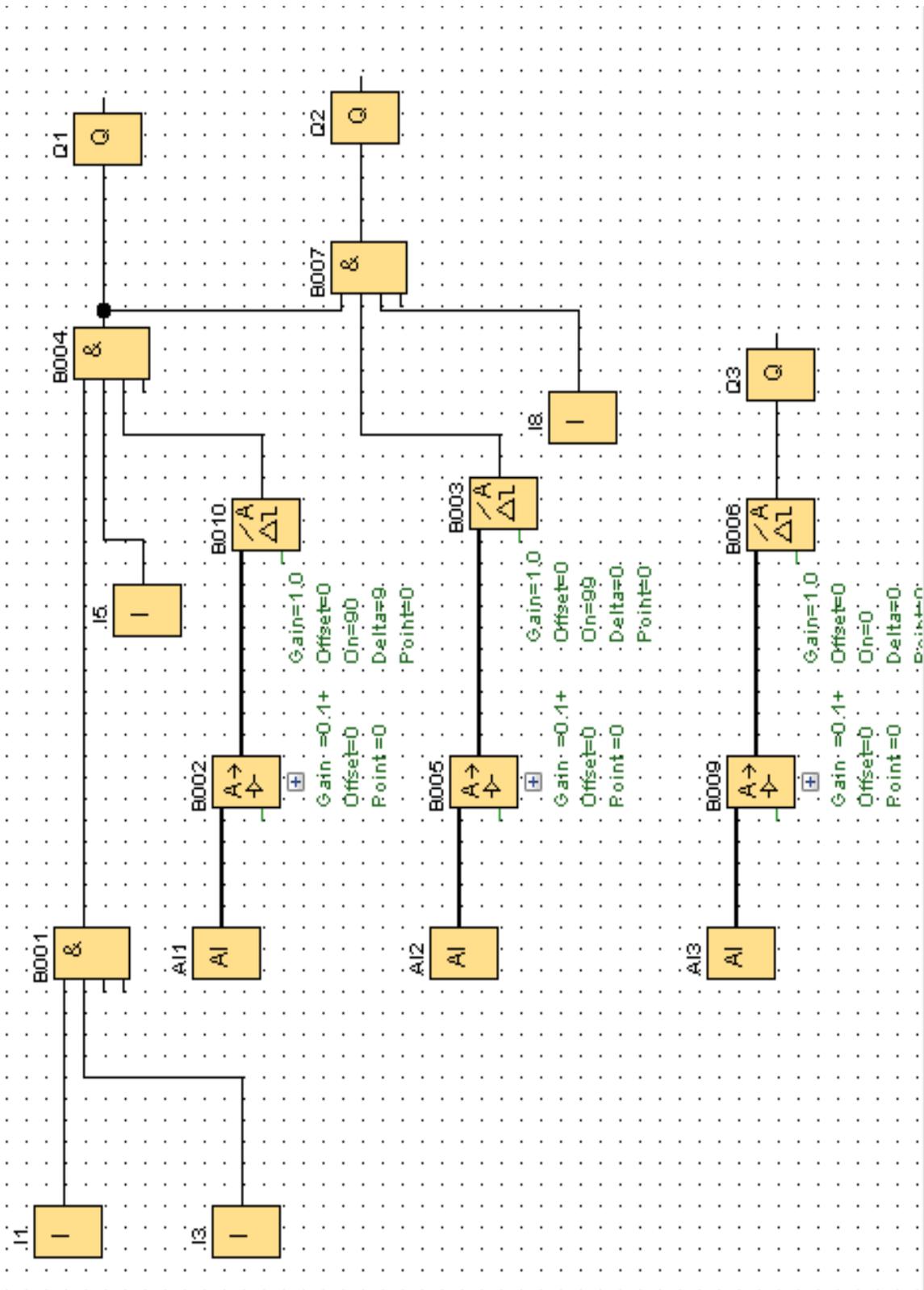


Fuente: Autores.

7.2. Programación desde logo soft.

Teniendo configurado el PLC y las entradas análogas del mismo es posible entonces construir los algoritmos en el software logo soft que cumplan las funciones mencionadas hasta este momento, en la figura 29 se observa el programa completamente desarrollado.

Figura 29 Algoritmo desarrollado en Logo Soft.



Fuente: Autores.

Como se observa en la figura 29 se cuenta con tres entradas análogas cuya descripción se presenta en la tabla 9.

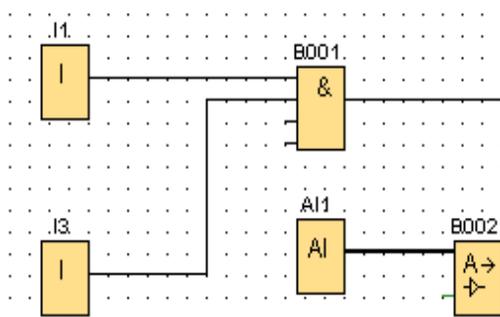
Tabla 9 Descripción de entradas analógicas.

Entrada análoga	Función
AI1	Señal del sensor de presión diferencial.
AI2	Señal del sensor de flujo.
AI3	Señal del sensor de oxígeno.

Fuente: Autores.

Para que el sistema identifique que se encuentra operado en modo automático se tiene la señal I1, adicional a esto se encuentra la señal I3 que permite saber si se ha activado la parada de emergencia y estas dos pasan por una compuerta AND como se observa en la figura 30.

Figura 30 Bloques que identifican que el sistema opera en modo automático.

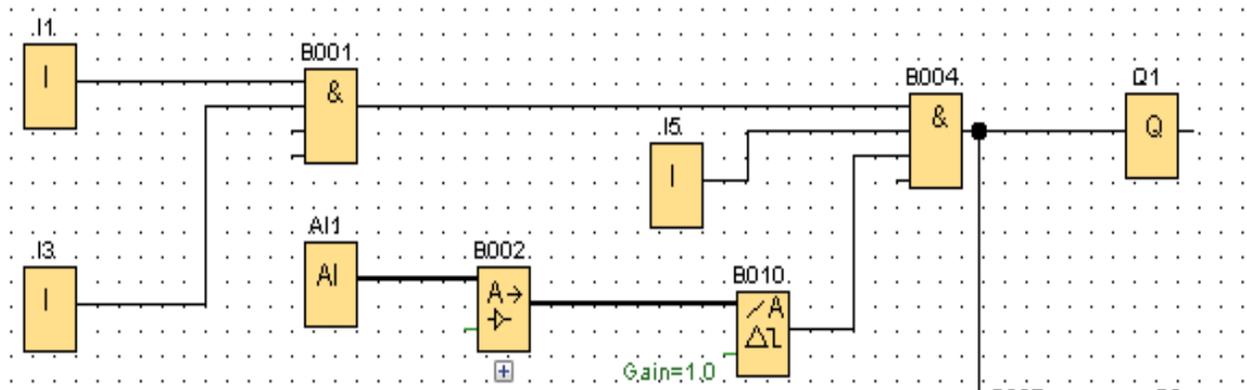


Fuente: Autores.

Para que la bomba encienda de forma automática es necesario que exista agua en el tanque TK1 por esta razón se lee la entrada análoga AI1 y se pasa inicialmente por un amplificador y posterior a esto por un comparador, de forma que si el nivel es igual a 90% la salida del comparador se activa pero si es menor a 90% la salida se apaga, estas señales se llevan a una nueva compuerta

AND de tal forma que si las condiciones de operación en modo automático están dadas y no existe falla por sobre carga se activara la salida Q1, todo esto se puede apreciar en la figura 31

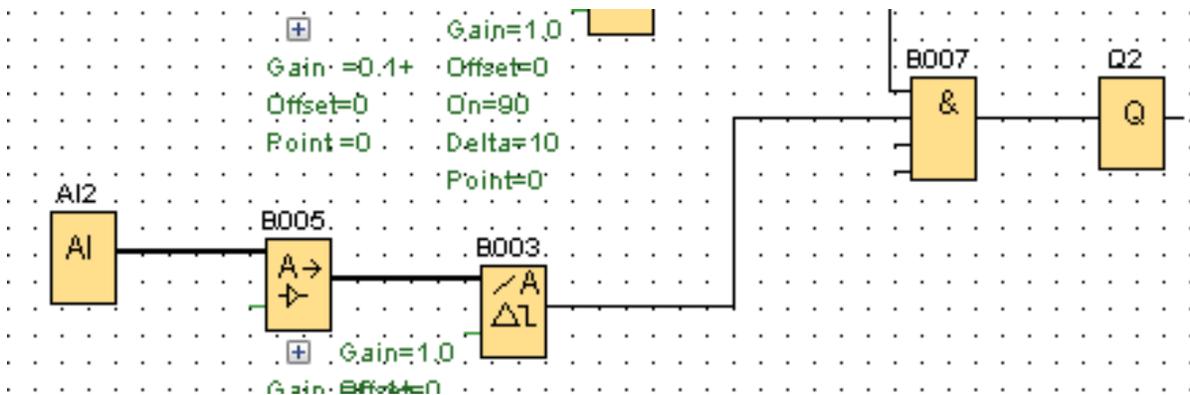
Figura 31 Encendido automático de bomba en Logo Soft.



Fuente: Autores.

Para que el aireador se energice automáticamente debe haber flujo y por ello se lee ahora la entrada análoga AI1, si el flujo es igual al 100% se activa la salida que pasa por una compuerta AND y si la bomba esta energizada se activa Q2, esto se puede apreciar en la figura 32.

Figura 32 Encendido automático de aireador en Logo Soft.

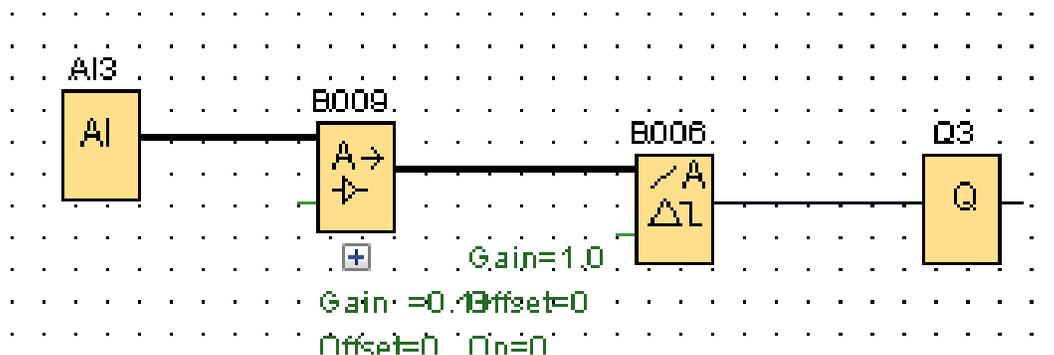


Fuente: Autores.

Si el sensor de oxígeno que corresponde a la entrada análoga AI3 (ver figura 33) se encuentra por fuera del rango permisible se activara la salida digital Q3 que corresponde a la alarma sonora que

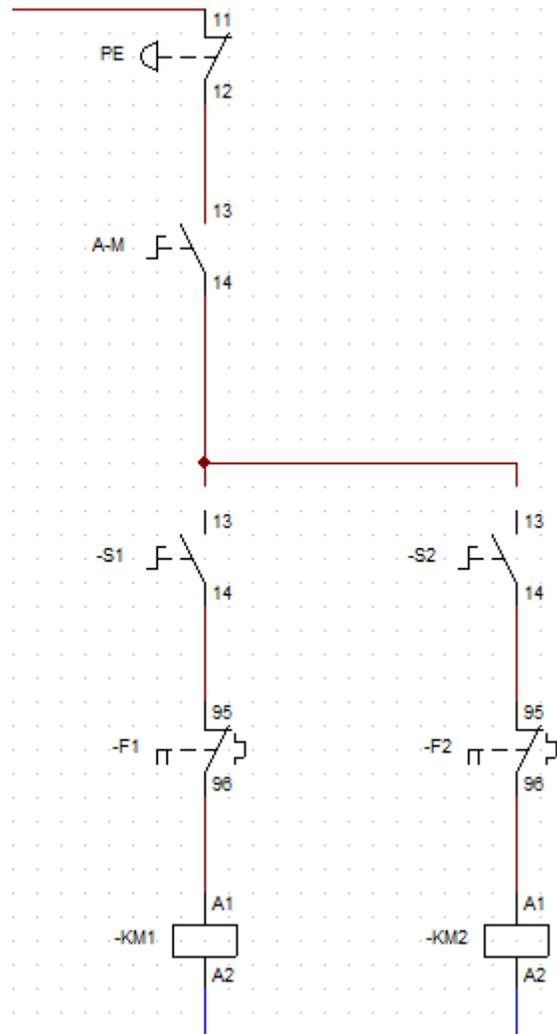
se menciona en la tabla 4 esto con el ánimo de indicarle al operador de la planta que se está presentando alguna condición de proceso que no permite la oxigenación del agua

Figura 33 Activación automática de alarma sonora.



Fuente: Autores.

Si el sistema se va a operar en modo manual no se tienen en cuenta ninguna de las condiciones de la tabla 4, por esta razón la lógica cableada se resume en el diagrama presentado en la figura 34, aquí el encendido de la bomba como del aireador solo dependerán del estado de los interruptores y que la parada de emergencia no haya sido activada.

Figura 34 Lógica cableada de operación manual.

Fuente: Autores.

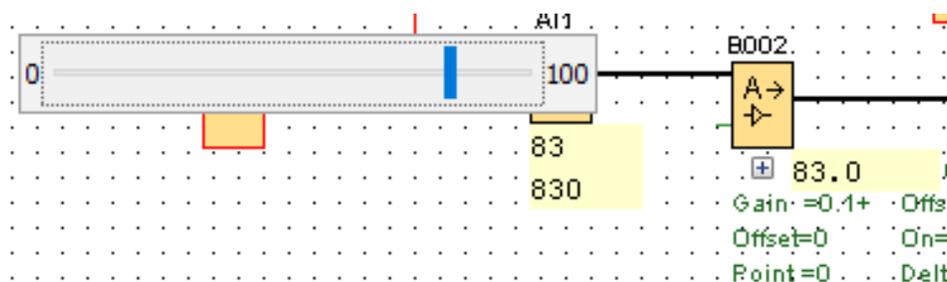
8. Resultados y análisis.

Los resultados a analizar corresponden a identificar como actuaría el sistema de control que se ha desarrollado, ejecutara las funciones que se tienen programadas, para ello se iniciara con la verificación de la salida de señal de los sensores del proceso de activación de lodos y seguido a esto se evaluarán las operaciones manual y automática.

8.1. Características de señales analógicas.

En cuanto al sensor de nivel cuya tecnología se basa en la medición de presión hidrostática del tanque TK1 relaciona la presión del fondo del tanque con la altura de la columna de agua, para efectos de simulación se toman las medidas como valores porcentuales, esto se observa en la figura 35 aquí se observa la respuesta que tiene el sistema después del amplificador analógico.

Figura 35 Respuesta a la salida del comparador analógico.



Fuente: Autores.

De igual forma responden las señales analógicas para el sensor de oxígeno y flujo, por esta razón aquí se obvian, sin embargo es importante aclarar que estas señales también serán representadas en valores porcentuales para efectos de la simulación.

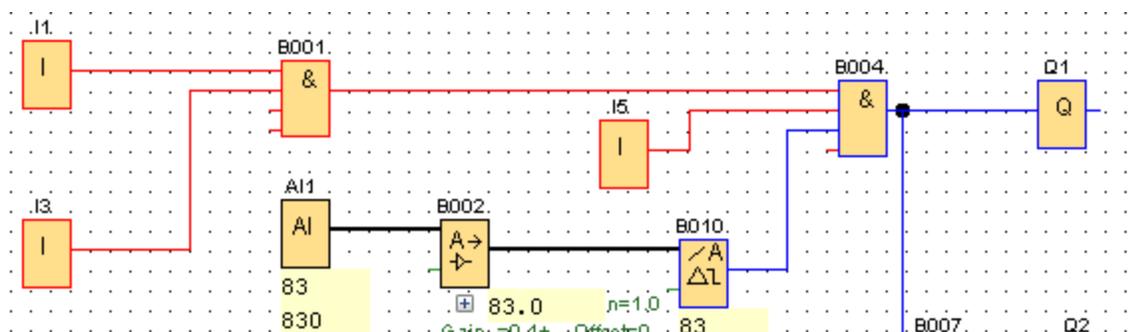
8.2. Respuesta de la operación en modo automático.

Los resultados que se obtienen de realizar la simulación para la operación en modo automático son los analizados a continuación.

8.2.1. Bomba de tanque TK1 en modo automático.

El contactor que prende o apaga el motor de la bomba del tanque TK1 se encuentra conectada a la salida Q1 del PLC, y según las condiciones para que esta se energice en modo automático deben estar activadas I1, I3 e I5 que corresponden a el interruptor que indica que el sistema está en modo automático, la parada de emergencia y la protección contra sobrecargas; en la figura 36 se observa que todas estas señales aunque están dadas la salida se encuentra desactivada

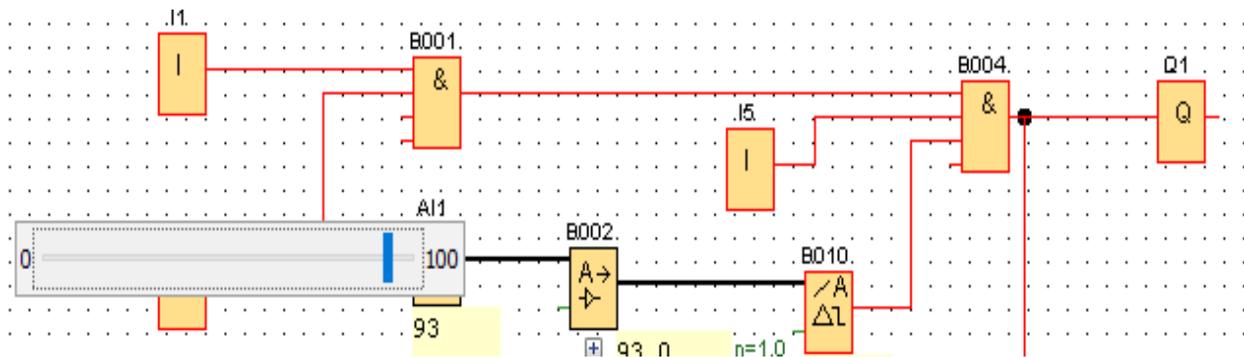
Figura 36 Encendido de bomba de agua, estado 1.



Fuente: Autores.

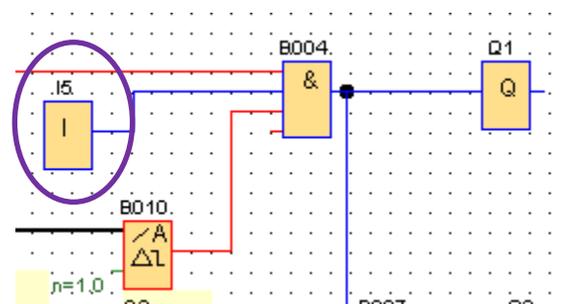
Entonces para que se cumpla la logica establecida y el contactor diferencial active su salida se debera modificar la señal analoga a un rango superior del 90% que para efectos de la simulacion indican que el tanque esta lleno de agua, en la figura 37 se logra apreciar que al realizar esta variacion se activa la salida Q1 lo que traera como resultado que el contactor KM1 se energice y portariamente la bomba y si por algun motivo la bomba se encuentra operando se presenta una sobre carga se activara I5 y apagara el motor (ver figura 38).

Figura 37 Encendido de bomba de agua, estado 2.



Fuente: Autores.

Figura 38 Protección del motor de la bomba ante sobrecargas.

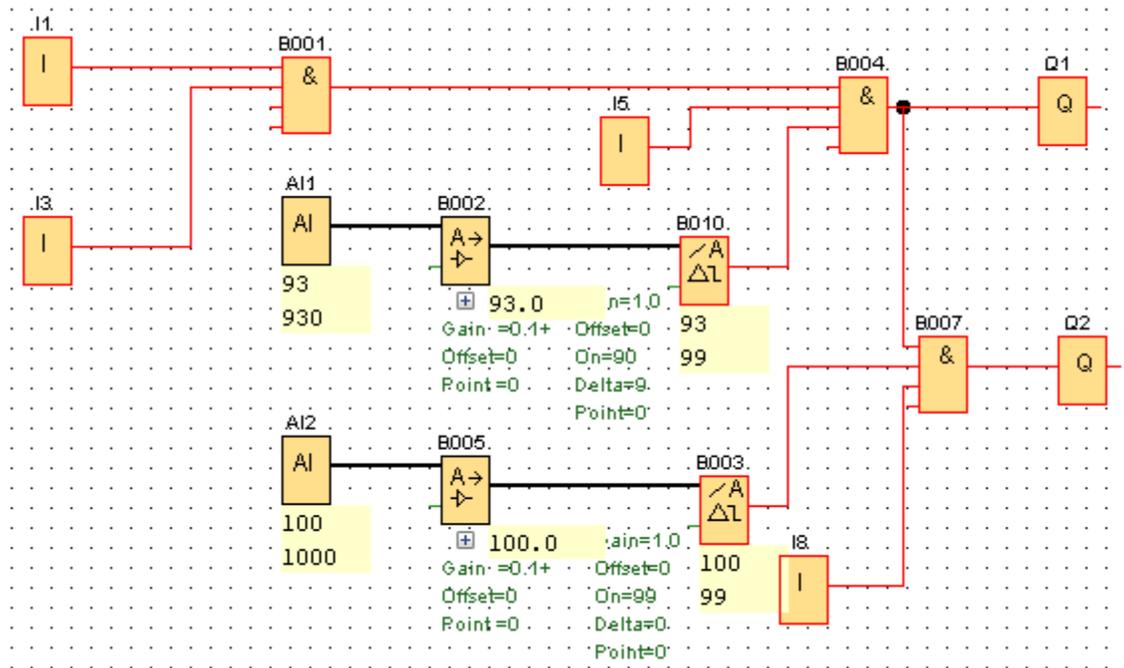


Fuente: Autores.

8.2.2. Aireador en modo automático.

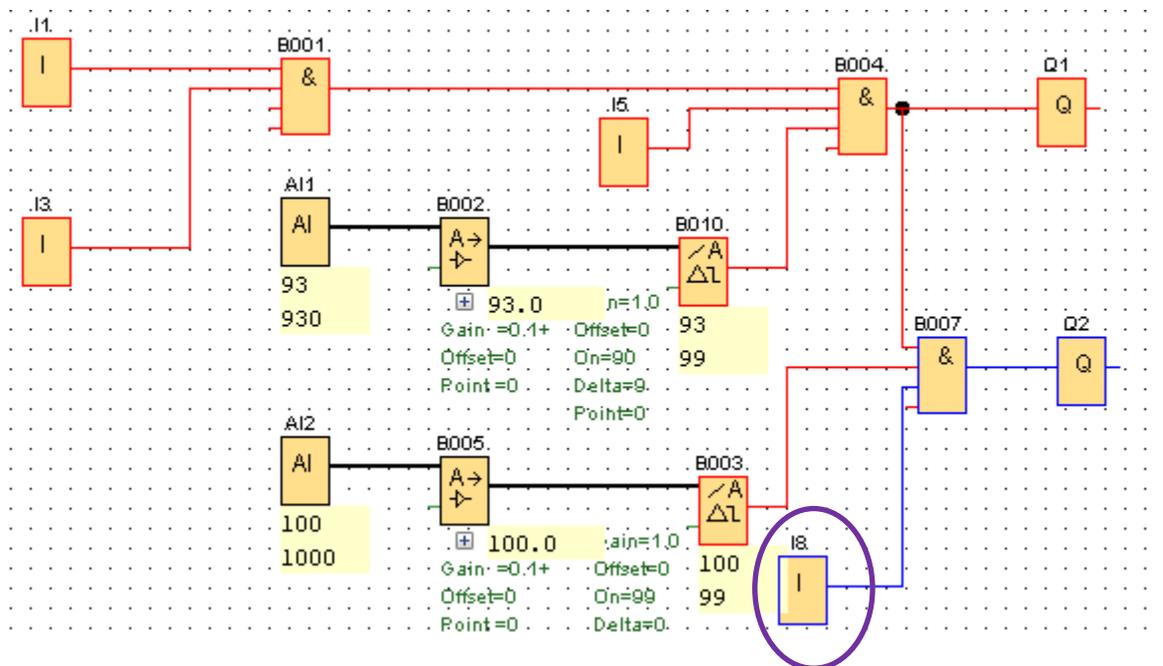
Para el caso del aireador este se encuentra conectado a través de la salida Q2 del PLC, y para que se de el encendido del mismo el sistema debe estar operando en modo automatico, ademas debe estar operando la bomba de agua y el sensor de flujo AI2 debe estar en un valor de 100%. En la figura 39 se presentan todas estas condiciones, y la salida Q2 activada; sin embargo si se llegase a activar por ejemplo el rele termico de este motor automaticamente se desenergizara el motor (ver figura 40).

Figura 39 Activación automática del aireador.



Fuente: Autores.

Figura 40 Protección del motor del aireador ante sobrecargas.

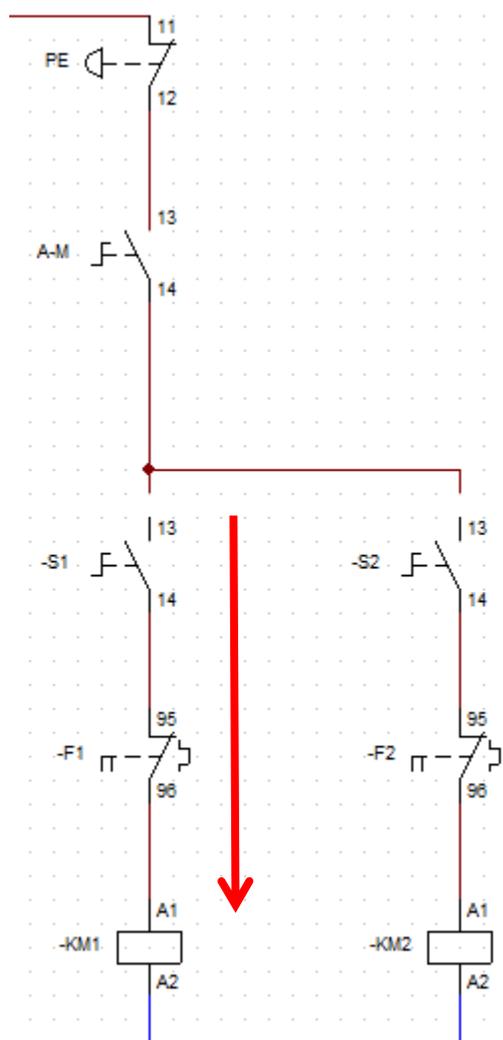


Fuente: Autores.

8.3. Respuesta de la operación en modo manual.

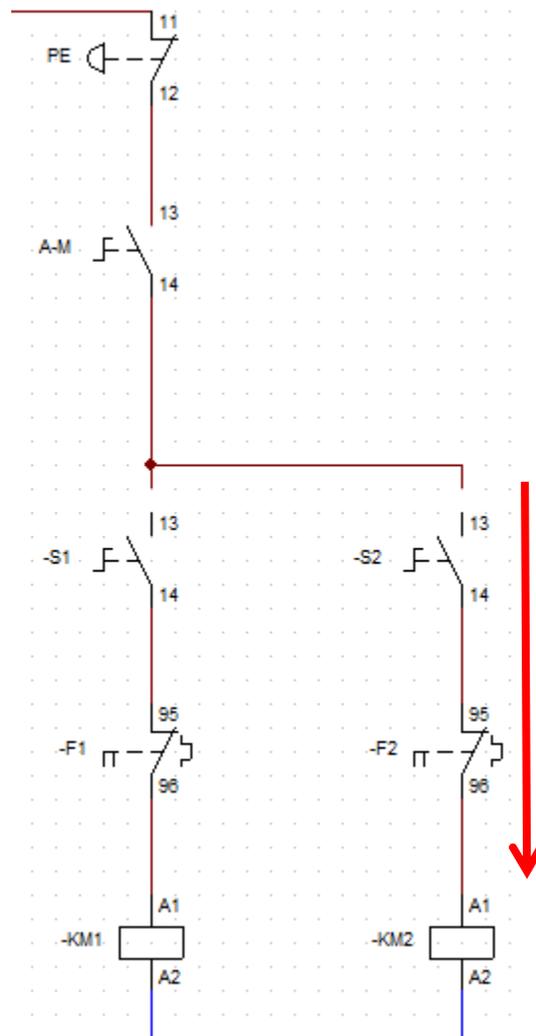
Para analizar la operación de esta automatización cuando el sistema se encuentra en modo manual se utilizara el software Cade Simu, y estara basado en el diagrama que se presenta en la figura 41 y 42. Las dos condiciones que deben estar dadas para lograr manipular los contactores KM1 y KM2 debe estar el sistema activado en modo manual y la parada de emergencia debe estar desactivada y si estas dos condiciones estan dadas y se activa el interruptir S1 se activara el motor de la bomba y si se activa S2 se activara el aireador.

Figura 41 Encendido de motor de bomba en modo manual.



Fuente: Autores.

Figura 42 Encendido de motor de aireador en modo manual.



Fuente: Autores.

9. Conclusiones.

En cuanto a la activación de lodos se puede decir que esta hace parte de la etapa primaria de una planta PTAR y hace parte de los métodos biológicos que usan reacciones químicas para eliminar contaminantes, coloides o solubles y para el caso de estudio de este trabajo están basados en lagunas aireadas. La instrumentación que hace parte de este proceso son sensor de presión diferencial para determinar el nivel de agua del tanque de entrada, un sensor de flujo que permita determinar si está llegando producto a la cámara de aireación donde se encuentra instalado el sensor de oxígeno disuelto, estas señales tienen características eléctricas que permiten ser conectadas al PLC Logo V8 mediante módulos SM123 AI de Siemens, de esto se puede entonces decir que es técnicamente viable automatizar esta parte del proceso con el PLC propuesto.

El uso de una red eléctrica de 220Vac de uso industrial permite conectar tanto el PLC Logo V8 como los elementos actuadores que hacen parte del proceso de activación de lodos que para el caso son el motor de la bomba y el aireador; para ello se utiliza una lógica de control cableada para la operación manual y el PLC para la lógica automática.

Los algoritmos implementados permiten ejecutar dos lógicas operacionales, manual y automática, la primera de ellas permite activar los equipos sin ningún tipo de restricción a través de interruptores, para el segundo caso el PLC ejecutara las acciones indicadas en la tabla 4.

Bibliografía.

- Aranda, V. (2012). Sistema de control de riego automático mediante SMS, desarrollada por Iris, Escuela De Ingeniería Técnica Industrial De Zaragoza, España.
- Automatización de planta PTAR. Recuperado de <http://eecta.com/index.php/automatizacion-de-ptar/>
- Cuspiera, A. (1997). Control electroneumático y electrónico, Marcombo ediciones tecnicas p. 112.
- Cuenca, D & Granados, A & Calzada, K (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México.
- Crites, R. y Tchobanoglous, G. 2000. Sistema de manejo de aguas residuales: para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo I. 1ª Edición. Ed. McGraw-Hill. Colombia. 1043 p
- Creus Antonio, Instrumentación Industrial, Marcombo ediciones técnicas, p. capítulo 5.
- Domingo Peña Joan, Introducción a los autómatas programables, Editorial UOC, p. 95.
- DiFrank, P.E.G, "Discussion of the various levels of automation". Cement Industry Technical Conference Record, 2007. IEEE .April 29 2007-May 2 2007 Page(s):45 – 62.
- Harper Gilberto, el ABC en el control de procesos industriales, Limusa Noriega editores, p. 176.
- Parasuraman.R ,Riley V. A., "Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse," *Human Factors*, vol. 39, pp. 230–253, 1997.
- Dale Compton W. "Design and Analysis of Integrated Manufacturing Systems" *National Academies*, 1988.
- Manual de edición. (2003). Manual en español de PLC LOGO! SIEMENS. Recuperado de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf

Mantenimiento y reparaciones en el hogar, 2020. Recuperado de <https://www.electricasas.com/interruptores-llaves/contactores/>

Nitzan, D.; Rosen, C.A.; Programmable Industrial Automation, *Computers, IEEE Transactions on Volume C-25, Issue 12, Dec 1976 Page(s):1259 – 1270.*

Palacio, Luz., Tapias, Herberto & Saldarriaga, Carlos. *Metodos y Algoritmos de Diseño en Ingeniería Química.* Editorial Universidad de Antioquia. 2005. p. 25, 26.