

# AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE RETRO-LAVADOS DE LOS FILTROS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HMI PARA LOS PROCESOS DE FILTRADO Y RETRO-LAVADO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE “LAGO AGRIO”

Washington Freire, Franklin Silva, Deivid Gaona

Email: [wrfreire@espe.edu.ec](mailto:wrfreire@espe.edu.ec); [fmsilva@espe.edu.ec](mailto:fmsilva@espe.edu.ec); [deiv\\_jav@hotmail.com](mailto:deiv_jav@hotmail.com).

## RESUMEN

El presente artículo expone la automatización del proceso de retro-lavados de los filtros de la planta de tratamiento de agua e implementación de un sistema HMI para los procesos de filtrado y retro-lavado para la planta de tratamiento de agua potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”. El cual tiene la finalidad de mejorar el proceso de filtrado y cambiar el sistema controlado por relés por un control con un PLC Siemens S71200. Para reducir costos por mantenimiento y operación.

**Palabras clave:** Relés de control, actuadores, Interfaz PROFIBUS, potabilización, filtración.

## ABSTRACT

This paper presents the automation process backwashing filters of the water treatment plant and implementation of an HMI system to the processes of filtering and backwashing for the treatment plant of drinking water of the Decentralized Autonomous Municipal Government of "Lago Agrio". Which aims to improve the filtering process and change the system controlled by relays to be controlled by a control with a Siemens PLC S71200. To reduce costs for maintenance and operation

**Keywords:** Control relays, Actuators, PROFIBUS Interface, purification, filtration.

## I. INTRODUCCIÓN

Se conoce que en la planta de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”, específicamente en el proceso de retro-lavados de filtros, pese a que se cuenta con un sistema manual del proceso, con el avance de los años no se actualizado tuberías, la instrumentación, ni la tecnología involucrada en el proceso. Además con el crecimiento de la población en la provincia de Sucumbios especialmente en el cantón de “Lago Agrio”, la planta de tratamiento de agua potable no avanza a cubrir la demanda de agua necesaria para satisfacer las necesidades de los habitantes. El proceso de potabilización de agua, actualmente no

cuenta con un proceso eficaz, fiable y confiable de los procesos de filtrado y retro-lavado, ya que poseen un sistema manual e irregular que tiene fallas en algunos de sus procesos, en particular en el bloque de los procesos de filtrado y retro-lavado de los filtros, ambos procesos son los encargados de eliminar las impurezas, escombros y partículas dañinas que son nocivas para la salud humana.

El sistema de filtrado funciona de forma simultánea y son procesos de vital importancia que existen en el tratamiento de Agua Potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “Lago Agrio”.

## II. FUNDAMENTO TEÓRICO

### A. FILTRACIÓN

Es el proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.

Las aplicaciones de la filtración son muy extensas, encontrándose en muchos ámbitos de la actividad humana, tanto en la vida doméstica como de la industria general, donde son particularmente importantes aquellos procesos industriales que requieren de las técnicas químicas.

### B. SISTEMAS DE FILTRACIÓN MECÁNICA

Pasan el agua a través de diferentes materiales con el fin de retener las partículas en suspensión del agua.

Necesitan un mantenimiento constante de limpieza (al menos una vez por semana) para evitar que se depositen detritus de materia que al descomponerse provocarían compuestos tóxicos (nitritos). Material que se utiliza es lana o "Perlón" es ligero, es atóxica, podemos utilizar también esponjas sintéticas.

### C. DESCRIPCIÓN DEL FILTRO DE LA PLANTA

El filtro es un tanque rectangular, construido de concreto, cuya profundidad es de 4,30 m.

Cada filtro se divide en dos celdas de filtración que comparten el mismo lecho filtrante.

Éste consta de una cámara inferior, un fondo falso tipo wheeler, grava y el lecho filtrante que en este caso es arena, como se muestra en la Figura 1.

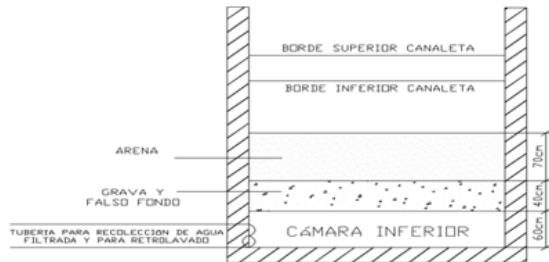


Fig. 1. Distribución de capas en el medio filtrante

### D. FUNCIONAMIENTO DE FILTRACIÓN

Para el funcionamiento del filtro se requiere de tuberías que conduzcan los siguientes flujos: de ingreso del agua, de salida del agua filtrada, de retro-lavado del filtro, y de drenaje principal.

Para el accionamiento de la apertura y cierre de las válvulas se disponen de actuadores eléctricos que permiten controlar el estado abierto o cerrado (ON /OFF) de las válvulas (tipo mariposa) ubicadas en cada una de las tuberías, permitiendo así el ingreso o no de los flujos requeridos para el funcionamiento del filtro, figura 2.

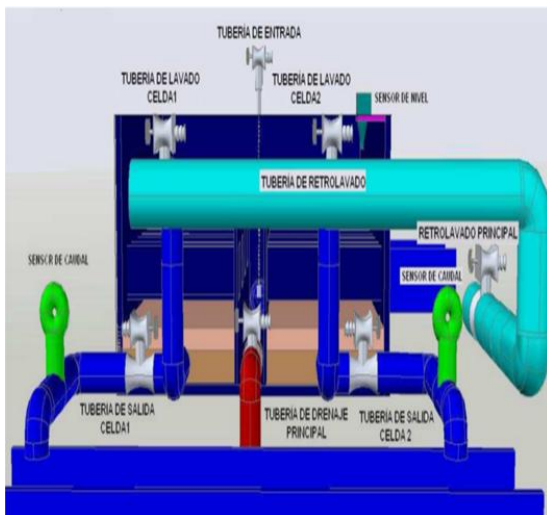


Fig. 2. Tuberías en un filtro

### 1) Flujo de ingreso de agua.

El agua, que se recoge de los tanques de sedimentación por medio de las flautas recolectoras, es distribuida uniformemente a cada filtro por medio de tuberías dispuestas en forma de vasos comunicantes a través de la tubería de ingreso o de entrada de agua, de tal manera que cuando ingresa el mismo líquido en los filtros interconectados entre sí. Figura 3, la altura de equilibrio alcanzada es la misma para todos los filtros. Estos poseen unas paredes que dividen ambas celdas del ingreso de agua, permitiendo así que el medio filtrante no quede expuesto constantemente al chorro del agua de ingreso.

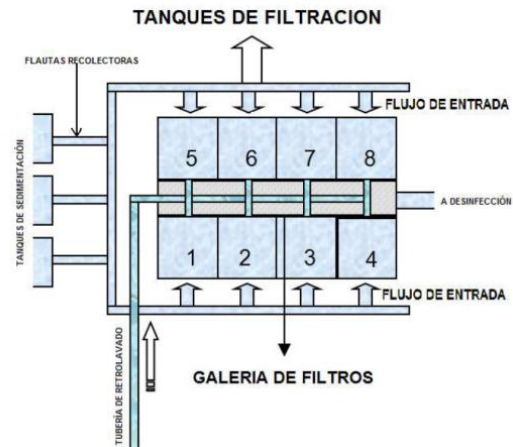


Fig. 3. Flujo de entrada

### 2) Flujo de salida del agua filtrada

El agua filtrada es recolectada en la cámara inferior del filtro. El flujo de salida pasa a través de una tubería de recolección del agua filtrada o tubería de salida. Como se puede apreciar en la Figura 2 existe una tubería de recolección por cada celda. El agua filtrada pasa posteriormente a ser desinfectada.

### 3) Flujo de retro-lavado del filtro

Este flujo viene a través de una tubería desde el tanque de almacenamiento de agua para retro lavado de filtros y se divide en dos tuberías, una por celda, Figura 2. Éste flujo es indispensable cuando se requiere retro-lavar un filtro.

### 4) Flujo de drenaje principal

Éste es el flujo que viaja a través de la tubería de drenaje principal. Existe una tubería por filtro, Figura 2. Este flujo también es importante en la operación del retro-lavado, ya que toda el agua colmatada deberá descargarse a través de la misma.

### *E. PROCESO DE FILTRACIÓN*

El proceso de filtración es simple, una vez que el filtro esté limpio, la válvula de ingreso de agua del filtro debe permanecer abierta para que el agua colmatada de los sedimentadores ingrese al mismo. El agua que se va filtrando es recolectada en la cámara inferior, Figura 1.

Las válvulas de salida de los filtros deben estar abiertas para que el flujo ingrese a los vertederos en donde se registra el caudal de salida y luego pase al proceso de desinfección.

Las demás válvulas deben permanecer cerradas.

### *F. PROCESO DE RETRO-LAVADOS DE FILTROS*

El retro-lavado de los filtros es una operación de mucha importancia y debe realizarse con cuidado, ya que de esto dependerá en gran parte la calidad del agua filtrada y también la vida útil del filtro. La colmatación del filtro se puede verificar mediante la visualización del tiempo de servicio del filtro o carrera del mismo, éste suele ser de 20 o 30 horas; también se puede determinar cuando el caudal a la salida del filtro es menor a 20 lts/s; o también cuando uno de los filtros se colmata.

Debido a la estructura civil y colocación de las tuberías de ingreso de agua al filtro desde los tanques de sedimentación, si uno de estos está colmatado, el nivel en los sedimentadores aumenta.

Otro factor importante para medir la colmatación de filtros es la turbiedad del agua tanto al ingreso como a la salida de los mismos.

### *G. SECUENCIA DE PASOS DEL PROCESO DE LAVADO O DE RETRO-LAVADO DE LOS FILTROS.*

- La válvula de retro-lavado principal debe abrirse para que ingrese el agua desde el tanque de almacenamiento para lavado de los filtros.
- Se debe cerrar la válvula de entrada para evitar que el agua sedimentada siga ingresando.
- Se debe permitir la operación de filtrado hasta que la altura del agua en el filtro disminuya a una adecuada para evitar que al inicio del lavado escape arena.

*Se abre la válvula de drenaje principal.*

Se procede a lavar una de las dos celdas, por ejemplo la celda uno. Se abre entonces la válvula de lavado correspondiente a la celda por un tiempo

determinado, permitiendo que el agua de descarga del retro-lavado se vaya por el drenaje principal, luego se cierra la válvula de la celda uno. Después se lava de igual forma la celda dos, abriendo la válvula de lavado de la celda por un tiempo y luego se la vuelve a cerrar.

*Se cierra la válvula de drenaje principal.*

A continuación se sigue el siguiente procedimiento:

- Se cierra la válvula de retro-lavado principal.
- Se abre la válvula de ingreso de agua o de entrada.

Una vez que se haya registrado el valor óptimo de nivel de agua se procede a abrir las válvulas de salida del agua filtrada en ambas celdas.

## **III. DISEÑO Y SELECCIÓN**

### *A. El UPS*

El UPS se implementó debido a la necesidad que con el antiguo sistema, cuando existía cortes de energía, los procesos se quedaban en cualquier etapa y ya vuelta la energía iniciaban en etapas erróneas y a veces encendían a los motores de las bombas de retro-lavado, las cuales son 6 de 30 HP, esta impresionante carga y con corriente de arranque sobrecargaba al generador y lo apagaba. Un dolor de cabeza para el operador, pero con este nuevo proceso se lo elimina.

Se opta adquirir un UPS de 60AH, que para una corriente de carga del PLC de 400 mA es más que suficiente para el respaldo de energía hasta el generador entre en funcionamiento.

### *B. EL PLC*

Para la selección de un controlador lógico programable hay que tomar en cuenta muchos aspectos, para los cuales, en este proyecto se tomó en cuenta los siguientes:

- Agentes nocivos en el ambiente de trabajo
- Complejidad del sistema
- El número de entradas y salidas requeridas.
- Tipo de señales requeridas para el sistema (sensores, transductores, actuadores, etc.)
- Necesidad de diferentes tipos de comunicación (Ethernet, MPI, PPI, Profibus, etc.)
- Costo.

El sistema eléctrico al ser de gran capacidad ya que cubre un proceso de filtrado sumamente amplio con un número de 62 entradas de control y de 82 salidas. El PLC a ser seleccionado no solo cumplirá este propósito de cubrir esta demanda, sino de apoyarse con un diseño eléctrico compacto, de fácil entendimiento y confiable. Para la selección del PLC se ha tomado ya en cuenta todos los elementos que involucran en proceso, se deja designado la entrada y salida en el controlador y la función específica que cumple en dicho proceso.

### SELECCIÓN DEL PLC

Se selecciona el PLC Siemens S7-1200 por mayor confiabilidad y por tener la comunicación Ethernet ya incluida, abaratando así el costo de los equipos para la implementación de dicha automatización.

### C: RELÉS DE CONTROL

El número de salidas necesarias para la implementación del proceso de filtrado es de 86. Esto equivale a adquirir 11 módulos de salidas digitales lo cual no sólo incrementa el costo del proyecto en una magnitud excesiva, sino que, el PLC S71200 sólo es capaz de poseer 8 módulos entre entradas y salidas por lo cual, no nos serviría este equipo y se necesitaría uno de mayor capacidad como el S7300. Se realiza un análisis del proceso y de la necesidad e importancia de las salidas necesarias para los equipos. El análisis del tablero de visualización sólo del filtro uno, es el siguiente:

Tabla 1. Señales del filtro 1 en el tablero de visualización

No. DE SEÑALES	ACTIVIDAD
1	Enciende la señalización verde de que esta activo la válvula de agua cruda en el filtro 1
2	Enciende la señalización roja de que esta inactiva la válvula de agua cruda en el filtro 1
3	Enciende la señalización verde de que esta activo la válvula de agua potable en el filtro 1
4	Enciende la señalización roja de que esta inactiva la válvula de agua potable en el filtro 1
5	Enciende la señalización verde de que esta activo la válvula de soplado en el filtro 1
6	Enciende la señalización roja de que esta inactiva la válvula de soplado en el filtro 1

7	Enciende la señalización verde de que esta activo la válvula de retro lavado en el filtro 1
8	Enciende la señalización roja de que esta inactiva la válvula de retro lavado en el filtro 1
7	Enciende la señalización que indica que inicio el proceso
8	Enciende la señalización de alarma de alto nivel

Como podemos ver en la Tabla 1 en el número de señal 1 y 2, una no puede actuar al mismo tiempo que la otra ya que, la válvula puede estar o sólo abierta o sólo cerrada, así que, las dos señales pueden ser reemplazadas por un relé NA/NC con el terminal común, implementando dos circuitos, para el NC estará conectado a la lámpara ROJA y el NA estará conectado a la lámpara VERDE. Esto quiere decir que, cuando la válvula esté inactiva, el PLC no enviará señal al relé, activando la luz de señalización roja por el normalmente cerrado del relé. Pero si se activa la válvula, el PLC enviará la señal de activación al relé, cambiando la señal del normalmente abierto a cerrado, activando la luz de señalización verde de este circuito, la roja se apaga. Así que por lo previsto se implementará 16 relés de control, para activar 32 señales que van al tablero de visualización, con esto es posible reducir el número de módulos del PLC, a seis, los cuales son posibles implementar. El sistema eléctrico a implementar se vuelve más complicado, pero se abarata costos ya que los 16 relés llegan a ser más conveniente que los costos de los módulos de salidas e incluso evita la posibilidad de cambiar a un S7300, mucho más costoso para un proceso no tan complejo. Así que queda establecido la necesidad de implementar en el proceso 16 relés, los cuales en los manuales de Siemens, se encuentran un modelo en especial, el relé de control 24 VDC, el cual resulta barato, y de dimensiones pequeñas lo que nos ayudaría a ahorrar espacio en el tablero de control. Además de los 16 relés de control, se adicionarán 2 más, ya que estos activarán a las bombas de retro lavado y soplado que necesitan 600 mA cada una. Como modo de protección serán direccionadas estas señales a los relés que tienen mayor capacidad que las salidas del PLC. Número final de relés de control: 18 unidades

### D. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Es necesario requerir de una fuente DC de 24 V ya que, las electroválvulas del sistema de filtrado son de 24 VDC. Además que se tiene planificado implementar 18 relés de control que serán de

24VDC. Para lo cual se procede a realizar el cálculo de cargas para seleccionar la capacidad de la fuente necesaria a seleccionar.

Corriente absorbida por los relés de control sería:

$$I_{c1} = 60 \text{ mA} * 18 = 1.08 \text{ A}$$

Solenoides de electroválvulas activos:

A pesar de ser 48 solenoides de las electroválvulas, sólo permanecen activas al mismo tiempo 6, así que el valor de corriente de las electroválvulas es:

$$I_{c2} = 6 \times 120 \text{ mA} = 720 \text{ mA}$$

La tabla de valores queda especificada de la siguiente forma:

Tabla 2. Cargas conectada s a la Fuente Logo

DESCRIPCIÓN	CARGA
KTP600	400 mA
Switch Ethernet	220 mA
Relés de control	1.08 A
Electroválvulas	0.72 A
Total	2.42 A

La suma total de todas las cargas que irán conectadas a la fuente de 24 VDC es de 2.42 A. Éste es el valor máximo de cargas en DC que se necesita. En stock de la marca SIEMENS, tenemos una fuente LOGO de 2.5 A, la cual será seleccionada para el diseño e implementación de este equipo.

#### E: PROTECCIÓN PRINCIPAL

El disyuntor bipolar de 10 A, se escoge del siguiente calculo eléctrico:

$$I_T = I_{\text{controlador}} + I_{\text{Relés}} + I_{\text{Fuente}} + I_{\text{Contactores}}$$

La corriente de los módulos, es tomada del mismo PLC S71214 así que se excluye, además que, la corriente del Switch y del KTP600 es tomada de la fuente logo, así que también no se toma en cuenta. La corriente total absorbida por los controladores es de: 400 mA

Corriente absorbida por el relé de nivel según el manual de siemens es:

$$I_{c3} = 80 \text{ mA} * 12 = 0.96 \text{ A}$$

La carga de seis bobinas de contactores que activan a seis motores de 60 HP para las tres bombas de

retro-lavado, una bomba de agua cruda, una de agua potable y un compresor tienen una carga AC de:

$$I_{c4} = 500 \text{ mA} * 6 = 3 \text{ A}$$

La carga de la fuente logo en su máxima según el manual de las características de la FUENTE LOGO SIEMENS es de:

$$I_{c5} = 1.22 \text{ A}$$

Tabla 3. Cargas conectada s a la Red de Alimentación

DESCRIPCIÓN	CARGA
CPU S71214	400 mA
Relés de nivel	0.96 A
Fuente Logo	1.22 A
Contactores bombas	3 A
Total	5.58 A

Reemplazando en la Ecuación 2.8 se tiene el resultado final de:

$$I_T = 0.4 \text{ A} + 0.96 \text{ A} + 1.22 \text{ A} + 3 \text{ A} = 5.58 \text{ A}$$

Se escoge la protección principal con un disyuntor de 10 A bipolar, por las cargas existentes en el sistema AC.

#### F. PROTECCIÓN DE CARGAS DC

Se escoge un fusible de 5 A de activación rápida, para proteger las cargas en el circuito DC después de la salida de la fuente LOGO.

Se estipula este valor debido a que, la carga en DC es de 2.4 A, y se encuentra en el mercado esta protección después de 2 A.

#### G. PROTECCIÓN DEL PLC

Se escoge un fusible de 1 A de activación rápida para proteger al PLC S71200, según el manual, la carga existente es de 400 mA, por lo que se encuentra en el mercado un fusible de 1 A.

#### H. PROTECCIÓN DEL UPS

El UPS dispone de una batería de 60 AH, cuando se descarga casi en su totalidad mide una corriente de 6 A para cargarse en medio minuto, después baja a 1 A al estar cargada totalmente.

De acuerdo a esto, se coloca una protección de disyuntor de 10 A, por posibles cortocircuitos.

## IV. IMPLEMENTACIÓN

### A. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

EL proceso de filtrado de agua potable está compuesto en etapas, las cuales, son las mismas para cada uno de los seis filtros existentes.

Las etapas del proceso de filtración son:

- Llenado del filtro.
- Señal de inicio del proceso de filtro por el nivel de agua.
- Cierre de dosificación de agua cruda
- Cierre de dosificación de agua potable
- Apertura de aire a presión
- Apertura del retro lavado con agua potable
- Apertura de la dosificación del agua potable
- Apertura de la dosificación del agua cruda

Además que posee un sistema de alarmas del proceso de filtrado:

- Alto nivel de llenado de filtro
- Sobrecarga en motores de retro lavado
- Sobrecarga en el compresor
- Falla de válvulas de cada ciclo

### B. INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN DEL PROCESO DE FILTRADO

Tabla 4. Introducción a la programación del proceso de filtrado

No.	ETAPA	DESCRIPCIÓN
-	Fin de llenado o fin de tiempo de llenado	El agua cruda alimenta al filtro hasta que llega al nivel de llenado. De no llegar al nivel de llenado, existe otra activación del proceso por medio de un temporizador de llenado el cual está configurado por horas, y activa el inicio del proceso.
0	Inicio del proceso	Da la señal el sensor de nivel, aparecen las condiciones iniciales como: Prioridad de filtro, Modo manual o automático, Válvulas en condiciones iniciales, De estar todo correcto inicia el ciclo
I	Cierre de la válvula de agua cruda	Se envía una orden directa del controlador, para cerrar la válvula de agua cruda, llega la señal del sensor de posición confirmándonos que la válvula está completamente cerrada y después de esto, espera un tiempo, para la siguiente etapa,

II Cierre de la válvula de agua potable

III Apertura del soplado

IV Ciclo de retro lavado

V Apertura de agua potable

VI Apertura de agua cruda

caso contrario aparece una alarma y se detiene el proceso

Se envía una orden directa del controlador, para cerrar la válvula de agua potable, llega la señal del sensor de posición confirmándonos que la válvula está completamente cerrada y después de esto, espera un tiempo, para la siguiente etapa, caso contrario aparece una alarma y se detiene el proceso.

Después del tiempo de la etapa IV, se abre la válvula de soplado, confirmado con el sensor de posición que está completamente abierto, se envía una orden para encender el motor del compresor. Cada 3 minutos la válvula de soplado se cierra 2 segundos y después se abre, esto se realiza, para enviar pulsos fuertes de aire a presión y mejore el soplado en el filtro. Culminado el tiempo de soplado se cierra la válvula de soplado y cuando llega la confirmación del sensor de posición que está totalmente cerrada la válvula, hay un tiempo de espera para la siguiente etapa.

Después del tiempo de espera del soplado, se apertura la válvula de retro lavado. Confirmada la orden de que la válvula está abierta en su totalidad, se enciende secuencialmente en un periodo de tiempo, los tres motores de las bombas de lavado. Culminado el tiempo de lavado, se cierra la válvula de retro lavado y después de confirmar que está cerrada, se activa un tiempo de espera para el siguiente proceso.

Después del tiempo de la etapa VI, se abre la válvula de agua potable y registrado que la válvula está abierta se espera dos opciones: Culminación del tiempo, Bajo nivel en el filtro De cumplirse uno de los dos se termina el proceso y se espera un tiempo determinado.

Después del tiempo de la etapa VII, se abre la válvula de agua cruda, se verifica las condiciones iniciales y se culmina el proceso.

### C. ENTORNO DE PROGRAMACIÓN

El entorno de programación usado para comunicar el PLC y HMI fue el software STEP 7 BASIC 11.0 tanto para la configuración del dispositivo HMI como para la configuración del PLC.

### D. ALARMAS

Las alarmas que fueron programadas son:

- Por sobrecarga o no arranque del motor del soplador
- Por sobrecarga o no arranque del motor de las bombas de retro lavado
- Alto nivel de agua en filtro, del 1 al 6 (6 alarmas)
- Bajo nivel de agua en el tanque de reserva.
- No activación de cada uno de los sensores de posición de las electroválvulas que activan los procesos, es decir, de agua cruda son dos, una abierta y otra cerrada, de agua potable dos, de retro lavado son dos y de soplado son dos, que serían en total de ocho alarmas por cada filtro, al ser seis filtros suma el total de 48 alarmas. Cada alarma viene numerada e identifica el problema de no funcionar una electroválvula garantizando así el buen funcionamiento del sistema.

### E. MONTAJE DE DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS

En el montaje del tablero eléctrico, se utilizó todos los elementos necesarios que fueron diseñados anteriormente. Cada elemento ocupó el lugar el cual fue designado en el plano físico ya diseñado anteriormente. Para lo cual se tuvo que adquirir un gabinete de 100 cm x 80 cm x 40 cm en el cual estarán instalados todos los elementos de control del proceso. La apariencia física del tablero antes de la instalación, se muestra en la Figura 4.



Fig. 4. Tablero de control en pleno proceso de constitución

Tabla 5. Elementos eléctricos utilizados en el tablero de control

No.	ELEMENTOS	DESIGNACIÓN	DATOS TÉCNICOS
1	Disyuntor	F1	10 A bipolar
1	Disyuntor	F10	10 A bipolar

1	Fusible	F2	5:00 AM
1	Fusible	F3	5:00 AM
18	Relés de Control	C1, ...C18	1NA/1NC bobina 24VDC
8	Relés configurable a sensor de nivel SIEMENS	LS1...LS8	Capacitivo 1NA/1NC bobina 24 VDC
4	Relés configurable a sensor de nivel	LS9...LS12	Capacitivo 1NA/1NC bobina 24 VDC
1	Fuente de alimentación LOGO	T1	240V/24 VDC 2.5 A
1	Controlador SIEMENS	PLC	S71214 AC/DC/DC 12 entradas, 8 salidas
6	Módulos de expansión salidas	SB3...SB8	Relay 8 salidas
1	Módulo de expansión	SB1	DC/DC 16 DI/16DQ
1	Switch Ethernet industrial	-	4 puertos, 24VDC
1	UPS	-	60 VA, entrada 120VAC salida 24VDC

## V. ANÁLISIS, PRUEBAS Y RESULTADOS

Se analizará los resultados obtenidos durante el proceso de desarrollo del proyecto de titulación enfocando dicho análisis a pruebas sobre los dispositivos implementados.

### A. PRUEBAS DE CONEXIONES ELÉCTRICAS

Después de las conexiones se realizó las pruebas eléctricas, como son pruebas de cortocircuito y conexiones a tierra de los actuadores, como son protecciones y corrientes de fuga respectivamente. Se revisó el cableado de control y todas las posibles fallas existentes.

### B. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC Y HMI

Con la seguridad de tener un programa confiable por la simulación del accionamiento, antes de

armarlo, se energizó a la máquina, se revisó todas las señales de los sensores de nivel, finales de carrera, elementos de sobrecarga y cortocircuito, etc. Se verificó si existía comunicación entre el HMI - PLC, por medio de señales de control del HMI y accionamientos de todos los elementos por medio de los botones y controles virtuales que ofrece la pantalla táctil ya programada. Las pruebas de funcionamiento se relacionaron con los siguientes aspectos:

- Correcta recepción de datos de los sensores
- Las señales son sincronizadas y monitoreadas por medio del programa STEP 7 BASIC V 10.5 la cual se puede visualizar poco a poco que todos los sensores de posición están correctamente conectados y responden al cambio físico en un tiempo estimado de 0,5 seg. El tiempo es suficiente para que el proceso se ponga en marcha.
- Funcionamiento de los actuadores
- El funcionamiento de los actuadores se realiza por medio de las salidas Q0.0 hasta el Q3.7, gobernando en mayor medida este proceso las válvulas de cierre y apertura. El gobierno por medio del PLC y de los relés de control es fácilmente identificado por medio de señales luminosas.
- Funcionamiento completo del sistema en manual y automático

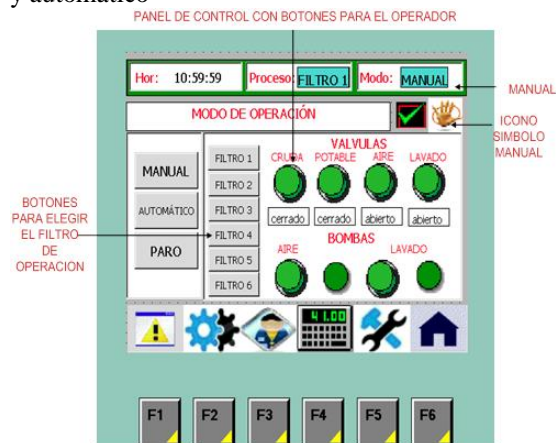


Fig. 5. Panel de control en MANUAL  
En automatico aparece un simbolo y el comentario



Fig. 6. Panel de control en AUTOMÁTICO

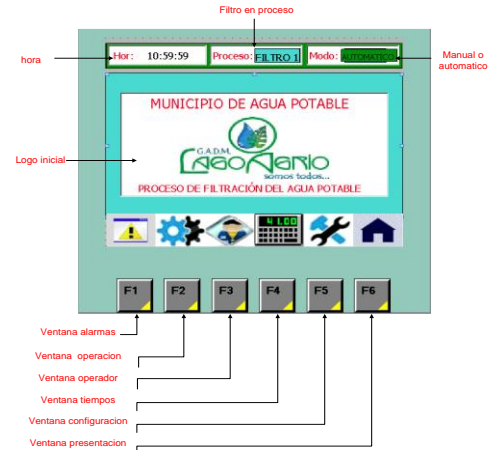


Fig. 5. Panel de control del HMI

En manual, se pone en funcionamiento al proceso por los siguientes pasos:

1. Se traslada a la ventana principal del HMI, y se escoge la ventana de operaciones por medio del botón F2.
2. En la ventana de operaciones se escoge la opción manual, inmediatamente se abre un panel donde se muestran los botones de FILTROS.
3. Se escoge el número del filtro que se desee.
4. Ya escogido el filtro, aparecerá el icono de filtro en la barra de estado, y se podrá comandar con los botones de agua cruda, potable, retro lavado y soplado, para abrir y cerrar las válvulas que requieren en el proceso.
5. Para cada actividad también se deberá activar el botón de bomba de retro-lavado y de soplado para activar a dichas bombas.
6. La simulación del proceso podrá ser vista en la ventana del operador. En automático:
  - 6.1. Se traslada a la ventana principal del HMI, y se escoge la ventana de operaciones por medio del botón F2.
  - 6.2. En la ventana de operaciones se escoge la opción automático, e inmediatamente, aparecerá un ícono de una flecha e incluso en la barra de estado la opción automática, ya estando así, todo el proceso será autónomo y funcionará dependiendo de las condiciones del proceso.
  - 6.3. Para parar el proceso en la ventana de operaciones se escoge la opción PARO y se detendrá todo el proceso.

• Calibración de tiempos de operación del proceso de filtrado.

Ya implementado el proceso de filtrado fue conveniente realizar una calibración de los tiempos de soplado y retro lavado para mejorar el filtrado del agua, y reducir tiempos de operación, para lo



cual, se realizó algunas pruebas de funcionamiento dándonos los siguientes resultados.

### C. ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Durante las pruebas de cortocircuito se comprobó que las protecciones instaladas cumplieron su función durante la operación fuera de los parámetros diseñados de los dispositivos.
- También se comprobó que no hubo corrientes de fuga en los actuadores durante las pruebas de conexión a tierra.
- Las pruebas de funcionamiento y conexión entre el PLC-HMI fueron correctas ya que durante las pruebas de filtrado la operación se realizó según los parámetros establecidos.
- Se mejoraron los tiempos de funcionamiento del proceso gracias a las pruebas realizadas, calibrando en cada una de éstas hasta obtener el valor más óptimo para el sistema.

### VI. CONCLUSIONES

- Se comprobó que el sistema registra datos, eventos y alarmas de manera automática y rápida a través de la red de campo implementada en la Planta de tratamiento de agua potable del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de “LAGO AGRIO”.
- El proceso de la Planta de tratamiento de agua potable se modificó con lo más actual del mercado ya que era controlado por relés de tecnología discontinuada y los cuales también ya están fuera del mercado y pasó a ser controlado por un PLC Siemens S71200.
- Se mejoraron considerablemente los tiempos de mantenimiento ya que antes era demasiado difícil encontrar la falla en el sistema debido a la gran cantidad de relés que controlaban el proceso y ahora todo es controlado por el PLC.
- Se optimizó los tiempos de operación de la Planta de tratamiento de agua potable gracias al control total por medio del PLC y por ende se redujeron costos de energía al disminuir el tiempo de operación de los motores tanto de bombeo de agua como los motores de compresión de aire y sopladores en aproximadamente 30 horas al mes.
- Se consiguió que el lavado sea adecuado evitando considerablemente el escape de la capa de arena del lecho filtrante y mejorando la vida útil del mismo.
- Mediante la implementación del sistema se consiguió a más de la estandarización del proceso de lavado de filtros, un aumento en la eficiencia, reducción en los costos de operación y por ende aumento de la producción, posibilitando que la Planta de tratamiento de agua potable del Gobierno

Autónomo Descentralizado Municipal de “LAGO AGRIO” brinde servicio de calidad a más usuarios.

### VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, G. y. (1976). Manual Hidráulico. México: Harla.
- Arboleda, J. (2000). Teoría y práctica de la Purificación del Agua. Colombia: Mc. Graw Hill.
- Bonilla, C. y. (s.f.). Diseño e Implementación del Sistema de Control Manual y Automático para la Estación de Bombeo de Agua Potable Puengasi de la EMAAP-Q. Tesis.
- Carrillo, A. E. (s.f.). Implementación de un Sistema Scada para el Control del Proceso de Retrolavado en la EMAAP-Q, Planta "El Placer". Tesis. Latacunga, Ecuador.
- Electric, D. (2000). Manual de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del GAD de Lago Agrio. Lago Agrio, Ecuador: GAD.
- Endress, y. H. (2005). Medición del Caudal. Madrid: Edición Española.
- Garzón, S. V. (2004). Automatización del Tanque de Almacenamiento y Distribución del Sistema de Agua Potable de la Comunidad de Oyambarillo.
- IEC, I. E. (1990). IEC 158-2 - PROFIBUS-PA. Norma. El Instituto de Estudios Catalanes.
- INEN, I. E. (2011). Agua Potable, requisitos. NTE INEN 1 108, Cuarta, 12. Quito, ECUADOR.
- Ranald V. Giles, J. B. (1994). Mecánica de los fluidos e hidráulica. McGraw-Hill.

### BIOGRAFÍA



**Deivid Gaona.** Nació el 4 de marzo de 1986 en Lago Agrio provincia de Sucumbíos en Ecuador. Es graduado de Ingeniería en Electromecánica, de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2014. Áreas de Interés: Sistemas Eléctricos, Control Eléctrico, Automatización.

Email: [deiv\\_jav@hotmail.com](mailto:deiv_jav@hotmail.com)