

**DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO DE LA  
AUTOMATIZACION DE LA PLANTA COMPACTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA EN BIOFILM S.A.**

**LAURA ANDREA ANGULO DELGADO  
KATTY LUZ GAMARRA DOMINGUEZ**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS  
2012**

**DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO DE LA  
AUTOMATIZACION DE LA PLANTA COMPACTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA EN BIOFILM S.A.**

**LAURA ANDREA ANGULO DELGADO  
KATTY LUZ GAMARRA DOMINGUEZ**

**Monografía presentada como requisito para optar al título de:  
Ingenieras Electrónicas.**

**Director**

**Jorge Eliécer Duque Pardo  
Magister en Ingeniería Electrónica**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2012**

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

---

FIRMA DEL JURADO

---

FIRMA DEL JURADO

Cartagena de Indias D.T. y C. Enero de 2012

## DEDICATORIA

*A Dios por regalarnos sabiduría y grandes bendiciones a nuestros padres y seres queridos quienes con gran amor y esfuerzo nos han apoyado en nuestra formación personal y profesional.*

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.1 ANTECEDENTES	13
1.1.1. Proceso para el tratamiento de agua potable	14
1.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUAL	16
2. ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS	19
2.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	19
2.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO	26
3. CONTROL DEL PROCESO	27
3.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN DESEADAS	27

3.2	ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS PARA PROPUESTA DE MEJORA	30
3.3	DISEÑO DEL PROGRAMA	38
3.3.1.	Operación normal de la PCTA	38
3.3.2.	Retrolavado de la PCTA	39
3.4	LOGICA DE PROGRAMACION	39
4.	VALOR PRACTICO – ECONOMICO DE LA SOLUCION	50
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
	BIBLIOGRAFÍA	56

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones del PLC 230Rc.....	30
Tabla 2. Especificaciones del modulo de ampliación DM230R.....	31
Tabla 3. Entradas, salidas y marcas utilizadas en el programa del PLC.....	43
Tabla 4. Sobre consumo de agua potable con operación de la PCTA.....	50
Tabla 5. Personal dedicado a montaje, operación y/o supervisión .....	51
Tabla 6. Características de los tipos de mantenimientos .....	52

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planta Compacta de tratamiento de agua High Tech.....	14
Figura 2. Diagrama de Flujo de las condiciones actuales de la PCTA.....	17
Figura 3. Fotografía de PCTA de Biofilm S.A .....	19
Figura 4. Compartimientos de la PCTA – Vista en planta .....	20
Figura 5. Válvula de agua cruda – Entrada de agua a la PCTA.....	21
Figura 6. Válvula dos vías tres posiciones pilotadas con válvula solenoide .....	21
Figura 7. Curva de rendimiento de la bomba centrífuga .....	22
Figura 8. Características constructivas de la bomba centrífuga.....	23
Figura 9. Características constructivas del motor eléctrico.....	24
Figura 10. Bombas dosificadoras de la PCTA.....	25
Figura 11. Mangueras de bombas dosificadoras .....	25
Figura 12. Tablero eléctrico de la PCTA.....	26
Figura 13. Diagrama de flujo de condiciones deseadas de la PCTA.....	29

Figura 14. PLC Logo 230Rc mas modulo DM230R.....	30
Figura 15. Diagrama de conexiones de filtros.....	32
Figura 16. Filtros a instalar .....	33
Figura 17. Posición de válvulas para operación normal .....	34
Figura 18. Válvulas en tanques de filtración .....	35
Figura 19. P&ID de la Planta Compacta de Tratamiento de Agua.....	37
Figura 20. Diagrama en Grafcet del control de la PCTA. (Norma IEC 848).....	42
Figura 21. Lógica de programación de la operación normal de la PCTA.....	44
Figura 22. Lógica de programación del retrolavado de la PCTA.....	45
Figura 23. Accionamientos de la salida del PCLC de la PCTA.....	46
Figura 24. Conexiones eléctricas de las bombas dosificadoras y de la bomba de filtrado.....	47
Figura 25. Alimentación de las válvulas accionadas por solenoide.....	48
Figura 26. Conexión eléctrica del PLC.....	49
Figura 27. Horas paro por mantenimiento.....	52

## RESUMEN

En el presente proyecto se realiza el diseño de estrategias de mejoramiento de la automatización de la planta compacta de tratamiento de agua en Biofilm S.A. De esta manera se desarrolla un programa en el PLC (Dispositivo Lógico Programable) LOGO!<sup>1</sup> marca SIEMENS<sup>2</sup> en el software LOGO!Soft Comfort V6.1 con el fin de controlar los procesos, optimizar los recursos y producir mayor cantidad de agua industrial para satisfacer la demanda interna en los procesos de soporte de Biofilm S.A. Adicionalmente se plantea eliminar el lecho filtrante e instalar tres filtros de presión para evitar que se hagan retrolavados continuos, se levante antracita con el retrolavado y se mejore la eficiencia de la planta de tratamiento de agua potable.

Palabras claves: Automatización, retrolavado, programación.

1. LOGO! Dispositivo lógico programable de Siemens
2. SIEMENS AG es una empresa multinacional de origen alemán y dedicada a las telecomunicaciones, el transporte, la iluminación, a la medicina, al financiamiento, Equipos Eléctricos, Motores, Automatización, Instrumentación Industrial y a la energía, entre otras áreas de la ingeniería.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se orienta al estudio del funcionamiento de una Planta Compacta de Tratamiento de Agua Potable (PCTA) y retrolavado automático regulado por medio de PLC, en Biofilm S.A. Esta planta está diseñada para una capacidad de 125 gpm y en un solo tanque se llevaban a cabo los procesos de mezcla y agitación, coagulación, floculación, sedimentación acelerada y filtración por bombeo, en forma simultánea. Sin embargo, después de instalada la planta se presentaron problemas de funcionamiento, como la realización de retrolavados continuos, poniendo en riesgo al proceso por bajo nivel en el tanque de almacenamiento e insatisfacción del suministro de agua potable para la planta.

Este estudio se inscribe dentro del área de investigación de instrumentación industrial y control de procesos y tiene como objetivo identificar los problemas de funcionamiento de la PCTA para realizar la automatización del funcionamiento y del retrolavado, a través de la programación de un PLC Logo, con el fin de mejorar la eficiencia de operación de la planta y disminuir los reprocesos. Así mismo se sugieren mejoras en el proceso de filtración de la planta compacta de tratamiento de agua.

Esta labor requiere de algunas tareas específicas en el siguiente orden: En primer lugar, se presenta la descripción de la problemática en torno a las condiciones actuales presentes en el proceso de potabilización del agua y retrolavado de la planta de tratamiento. Este primer objetivo es el escenario de exposición del contenido del primer capítulo titulado: Descripción del problema. En segunda instancia se presenta un panorama de los equipos de instrumentación que contribuyen al proceso de potabilización del agua.

En tercer lugar, se explican las condiciones deseadas para la operación de la planta de tratamiento y se presenta el programa para la automatización del proceso, con el fin de proponer confiabilidad en la implementación del tratamiento de agua: calidad y costos. Una cuarta tarea, consiste en el análisis económico que representa para Biofilm S.A la implementación de la propuesta presentada en esta investigación.

Se considera que este estudio corresponde a una investigación de aplicación tecnológica, ya que pretende lograr la implementación de avances tecnológicos sobre una realidad concreta, generando conocimientos o métodos dirigidos al sector productivo de bienes y servicios, con el fin de mejorarlo y hacerlo más eficiente. En este caso, se hace referencia al tema de la automatización industrial y específicamente a la instrumentación que la tecnología ha creado para hacer posible esta realidad.

## **1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.1 ANTECEDENTES**

BIOFILM S.A, es una empresa industrial que inició en Colombia y se encuentra ubicada en la zona industrial de Mamonal, en la ciudad de Cartagena (Sector Puertas de Hierro, Km 5); actualmente tiene una sede en Altamira, México. El objeto de BIOFILM es producir y comercializar películas de Polipropileno Biorientado, definidas en cinco categorías principales: Coextruidas, Metalizadas, Opacas, Etiquetas y Planas, desarrolladas en estrecha relación con las necesidades de los clientes y las de los usuarios finales de los empaques.

Adicionalmente BIOFILM desarrolla películas de alta tecnología que incluyen: Alta Barrera transparente, películas Oxo-degradables y películas holográficas para las artes gráficas y empaque flexible. Cuenta con 6 metalizadoras con tecnología de punta y una capacidad total de 15.000 T/año, BIOFILM es hoy el mayor productor de películas metalizadas en Latinoamérica.

Para el proceso de producción de estas películas se necesita agua tratada de alta calidad, para ello se cuenta con dos plantas de tratamiento de agua dentro de la compañía. Una primera planta de tratamiento de agua convencional con una capacidad de 300 m<sup>3</sup> que fue instalada con los inicios de Biofilm S.A hace aproximadamente 20 años; y una segunda plantas de tratamiento de agua marca High Tech Filtración industrial con diseño compacto y retrolavado automático regulado por medio de un PLC, para una capacidad de 125 gpm, instalada hace 2 años aproximadamente. Esta planta se instaló con el fin de satisfacer la demanda

interna de Biofilm S.A. y de producir agua potable de forma eficiente y eficaz. Esta última planta, será la planta de estudio de la presente investigación.

La planta High – Tech consta de un solo tanque donde se llevan los diferentes procesos involucrados: mezcla y agitación, coagulación, floculación, sedimentación acelerada y filtración por bombeo, en forma simultánea. El agua tratada en la PCTA se utiliza para reponer sistemas de agua de torres de enfriamiento, requerimiento de agua en proceso productivo, Baños, jardinería y suministro auxiliar en la planta de cogeneración eléctrica. Se encuentra instalada bajo techo y tiene un peso de 4 toneladas en vacío y de 22 toneladas en operación.

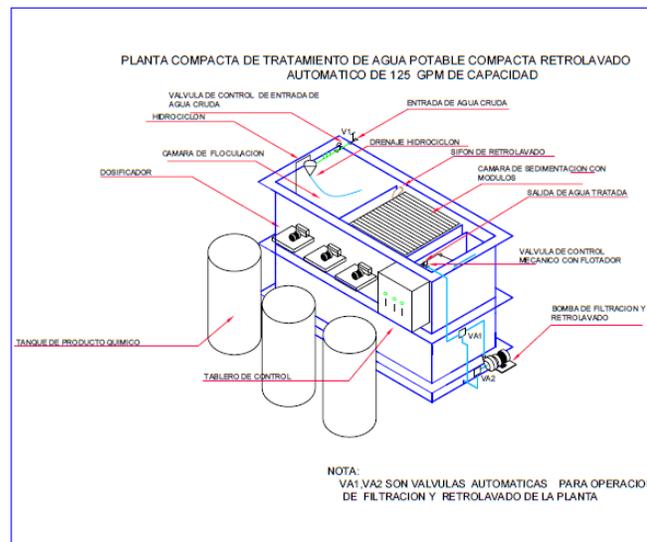


Figura 1. Planta Compacta de tratamiento de agua High Tech

### 1.1.1. Proceso para el tratamiento de agua potable

- 1) Mezcla y agitación: En la primera etapa de la PCTA, el agua cruda entra a la planta por la línea en donde se encuentra instalada una válvula de control

eléctrico actuada por solenoide y en esta misma línea se encuentran los puntos de aplicación de coagulante (Hidroxiclورو de Aluminio que neutralizan la carga y promueven que las partículas pequeñas en suspensión colisionen haciendo que estas formen flóculos), bactericida (Hipoclorito de Sodio) y eventualmente soda como corrector de PH y/o un polímero ayudante de coagulación, los cuales junto con el agua se mezclan en el hidrociclón centrífugo (el cual requiere de una presión mínima de entrada de agua cruda de 20 psi).

- 2) Coagulación: A la entrada de la cámara de floculación se realiza una separación de partículas sólidas y se lleva a cabo la coagulación. El agua coagulada sale por encima del hidrociclón para ser conducida al fondo de la cámara de floculación.
- 3) Floculación: el agua coagulada ingresa a la cámara de floculación en la cual se distribuye por una flauta ranura y pasa en sentido ascendente descendente, con el fin de que las partículas coaguladas se aglomeren. A este proceso se le llama floculación.
- 4) Sedimentación Acelerada ó Clarificación: El agua coagulada y floculada es distribuida uniformemente a través del clarificador usando laterales de distribución bien diseñados ubicados debajo de los módulos plásticos de sedimentación, para promover una rápida clarificación. Los módulos son tubos cuadrados inclinados a 7.5 grados con respecto a la horizontal, lo que hace que los flóculos “capturados” sedimenten por gravedad hacia el fondo del tanque y formen lodo. Este lodo se remueve periódicamente por la parte inferior de la cámara de sedimentación mediante la acción de la válvula automática de descarga de lodos.

5) Filtración por bombeo: Finalmente el agua ya clarificada pasa a la cámara de filtración con el fin de eliminar las partículas sólidas más finas restantes. La cámara de filtración consta de un lecho mixto de arena y antracita que retiene los finos que han escapado del sedimentador. El agua ya filtrada es bombeada y pasa del sistema colector con flautas ranuradas al tanque de agua tratada o tanque de almacenamiento.

## **1.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUAL**

Actualmente la PCTA de Biofilm S.A. opera de acuerdo a la figura 2. El tratamiento de agua potable inicia con el suministro de agua cruda a la planta, luego pasa por los procesos de mezcla, coagulación, floculación, sedimentación y filtración. En la cámara de filtración se tienen dos sensores de nivel, el primer sensor mide el nivel de colmatación de la planta y el segundo mide el nivel del agua en la cámara de filtración. Cuando el nivel de colmatación es alto se cierra la válvula de control de agua cruda y las válvulas que controlan la dosificación deteniendo el proceso de potabilización del agua e iniciando el proceso de retrolavado de la planta.

Por otro lado, cuando el nivel de agua clarificada en la cámara de filtración no es bajo el sensor envía una señal que permite abrir la válvula para que el agua sea bombeada hasta el tanque de almacenamiento. En el tanque de almacenamiento se tiene otro sensor que controla el nivel del agua de dicho tanque; cuando el nivel del agua es alto el sensor envía una señal que apaga la bomba de filtrado.

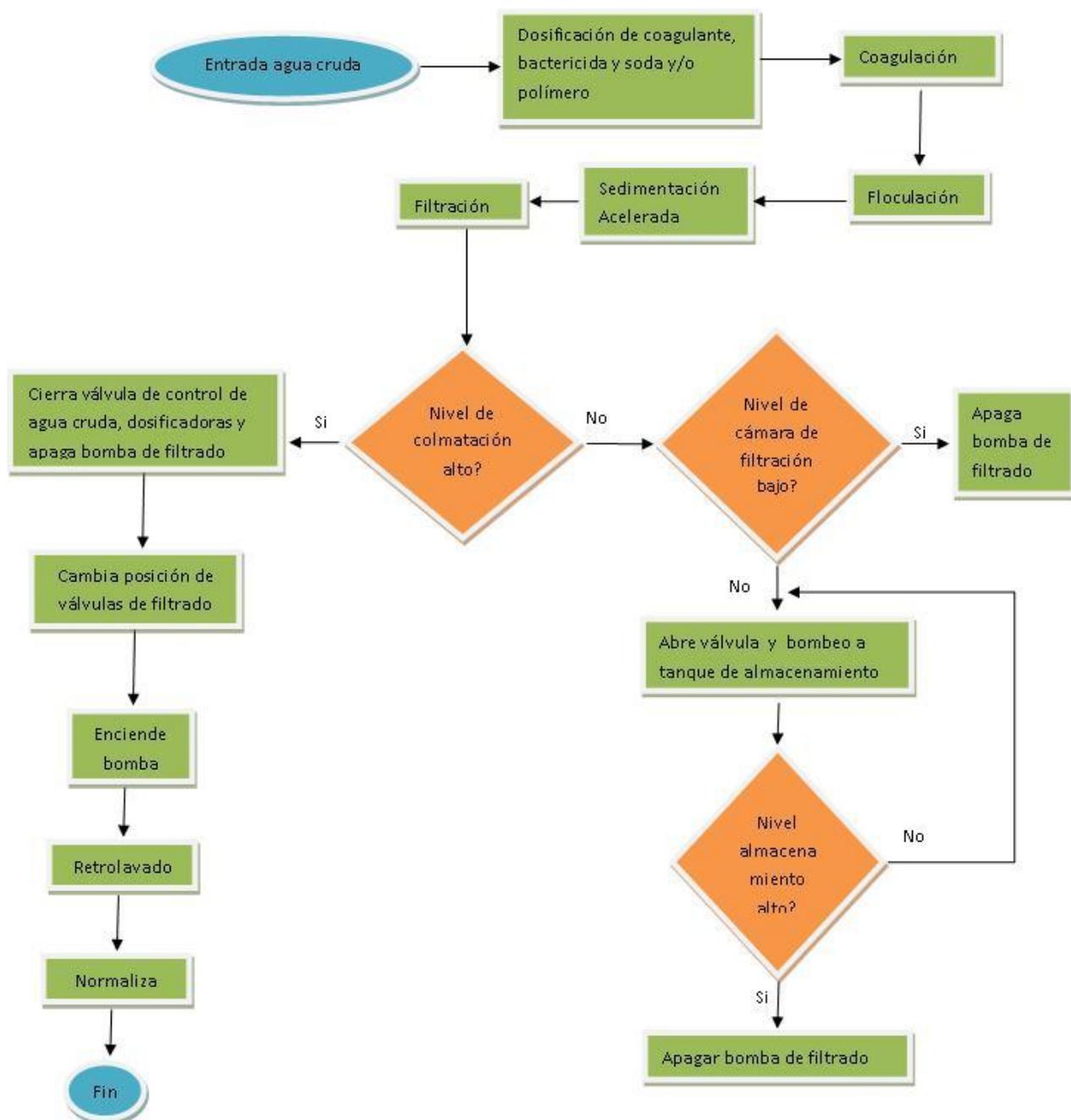


Figura 2. Diagrama de Flujo de las condiciones actuales de la PCTA

Cuando se realizó la puesta en marcha de la PCTA en Biofilm S.A. los resultados obtenidos no cumplieron las consignas de operación necesarias para satisfacer la demanda; presentando los problemas que se mencionan a continuación:

- Se realizan retrolavados cada 3 horas, debido a que la cámara de filtrado se satura con facilidad.
- En ocasiones ha realizado dos retrolavados continuos, es decir después de finalizar uno empieza otro
- Se nota una alta formación de espuma en la cámara de filtración que hace que cuando se realice el retrolavado se levante antracita y se pierda con el agua del retrolavado.
- La planta siempre está encendida, manteniendo el nivel del tanque de almacenamiento en 2,20 metros aproximadamente, pero cuando se efectúa el retrolavado cae hasta 20cm, poniendo en riesgo al proceso por bajo nivel en este tanque.
- Los caudales medidos con un equipo de ultrasonido arrojan valores por debajo de 125 gpm (oscilan entre 100-110 gpm)
- En ocasiones, luego de realizar el retrolavado la planta se apaga y no arranca en automático
- Durante el ciclo de retrolavado no se suspende el suministro de agua cruda hacia la planta.

## 2. ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS

### 2.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

Se dispone de una Planta de Tratamiento de Agua Potable con capacidad de 125 gpm, marca High-Tech. La planta es de diseño compacto y retrolavado automático regulado por medio de un autómata programable, es decir, en un solo tanque se llevan los diferentes procesos involucrados: mezcla y agitación, coagulación, floculación y sedimentación acelerada, en forma simultánea. En la figura 3 se aprecia la fotografía de la PCTA instalada en Biofilm S.A.



*Figura 3. Fotografía de PCTA de Biofilm S.A*

La PCTA es el tanque donde se realiza el proceso de potabilización del agua y que de allí es bombeada a un tanque de almacenamiento desde donde se distribuye a las líneas de producción. Esta planta consta de los siguientes elementos:

- Un tanque de clarificación con sistema de dosificación y mezcla rápida de productos químicos dividido en tres compartimientos para floculación con hidrociclón, sedimentación acelerada por módulos plásticos y cámara de filtración. Fabricado con lámina de acero de 3/16" de espesor con refuerzos estructurales, pintada con pintura epóxica previo sand-blasting. Dimensiones: 5.7m x 1.77m x 1.83m. Peso en operación 22 Ton. En la figura 4 se muestra una fotografía vista de planta de los compartimientos de la PCTA, donde se aprecia el paso del agua de un compartimiento a otro.



*Figura 4. Compartimientos de la PCTA – Vista en planta*

- Una válvula de control de flujo para entrada de agua cruda. Módulos plásticos de sedimentación acelerada, diseñados para incorporar los ciclos de retrolavado y descarga de lodos, hidrociclón para separación de sólidos y coagulación. En la figura 5, se muestra la válvula que permite la entrada de agua cruda.



Figura 5. Válvula de agua cruda – Entrada de agua a la PCTA

- Una válvula de dos vías tres posiciones pilotada con válvula solenoide para servicio y retrolavado. En la figura 6, se muestran las partes constructivas de la válvula de dos vías tres posiciones.

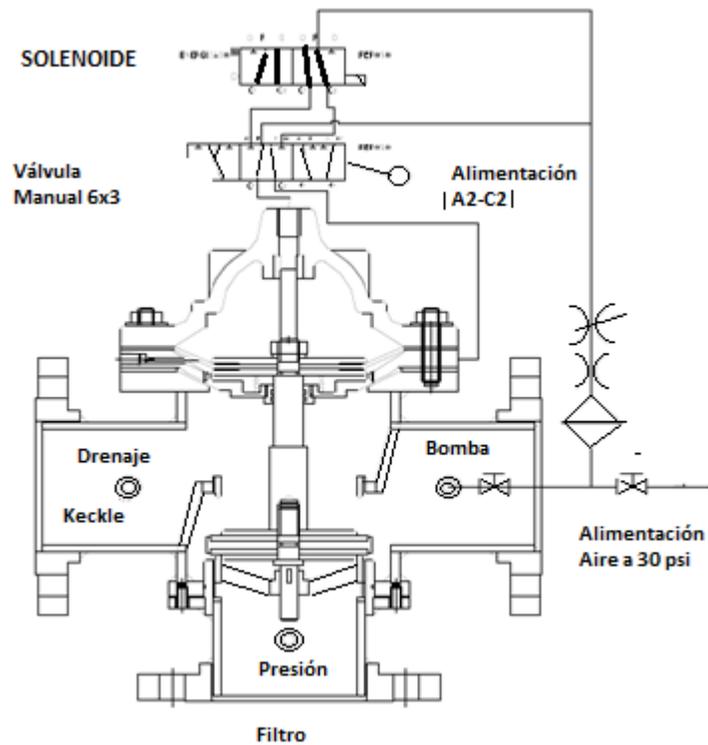


Figura 6. Válvula dos vías tres posiciones pilotada con válvula solenoide

- Una electrobomba para servicio y retrolavado acoplada a motor eléctrico trifásico de 7.5 Hp 220/440 V, 60 Hz.. La electrobomba es una bomba centrífuga de construcción monobloque fabricada en hierro fundido. Diametro de succion 3". En las figuras 7 y 8 se muestran las características técnicas de la bomba centrífuga.

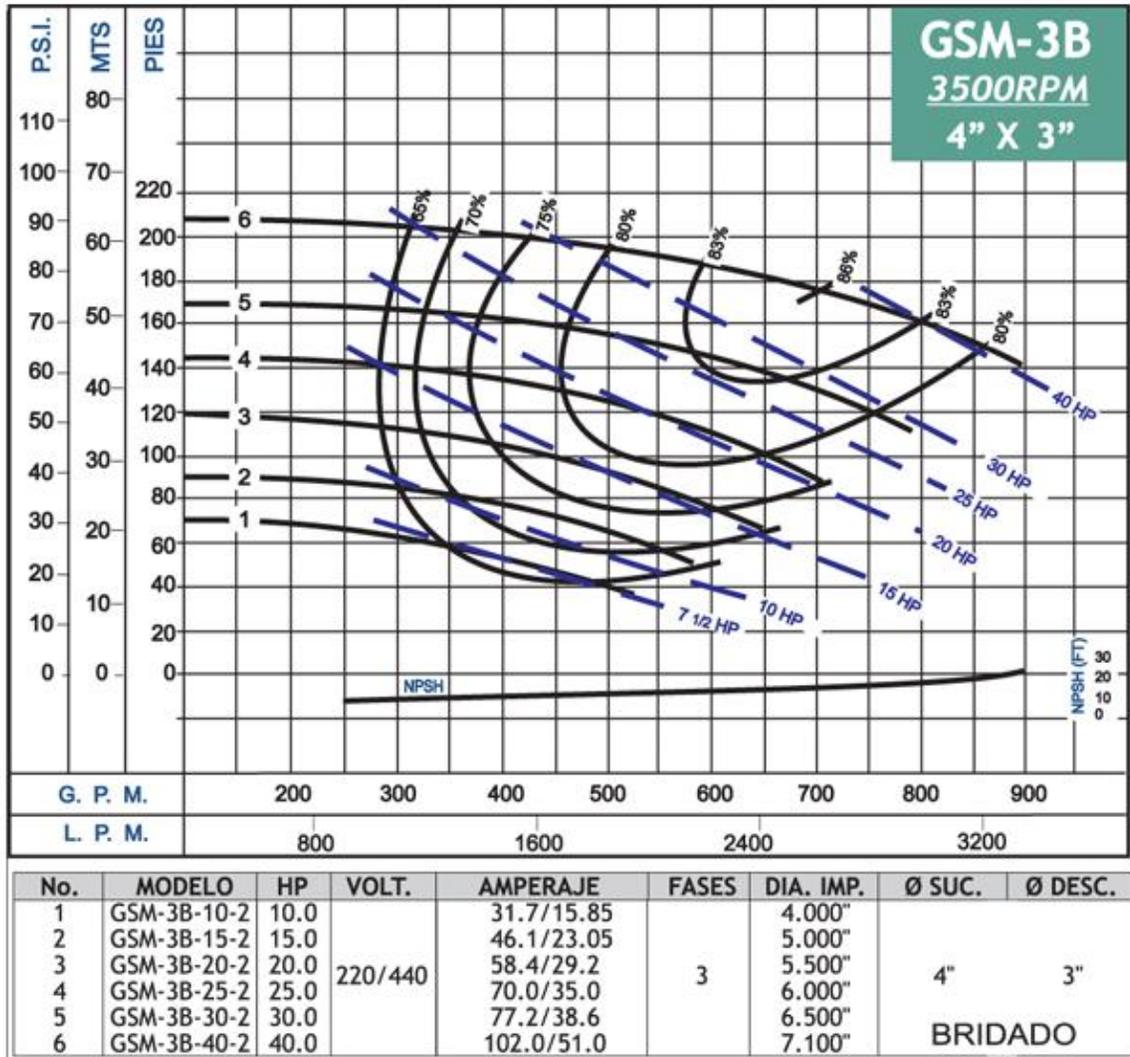


Figura 7. Curva de rendimiento de la bomba centrífuga

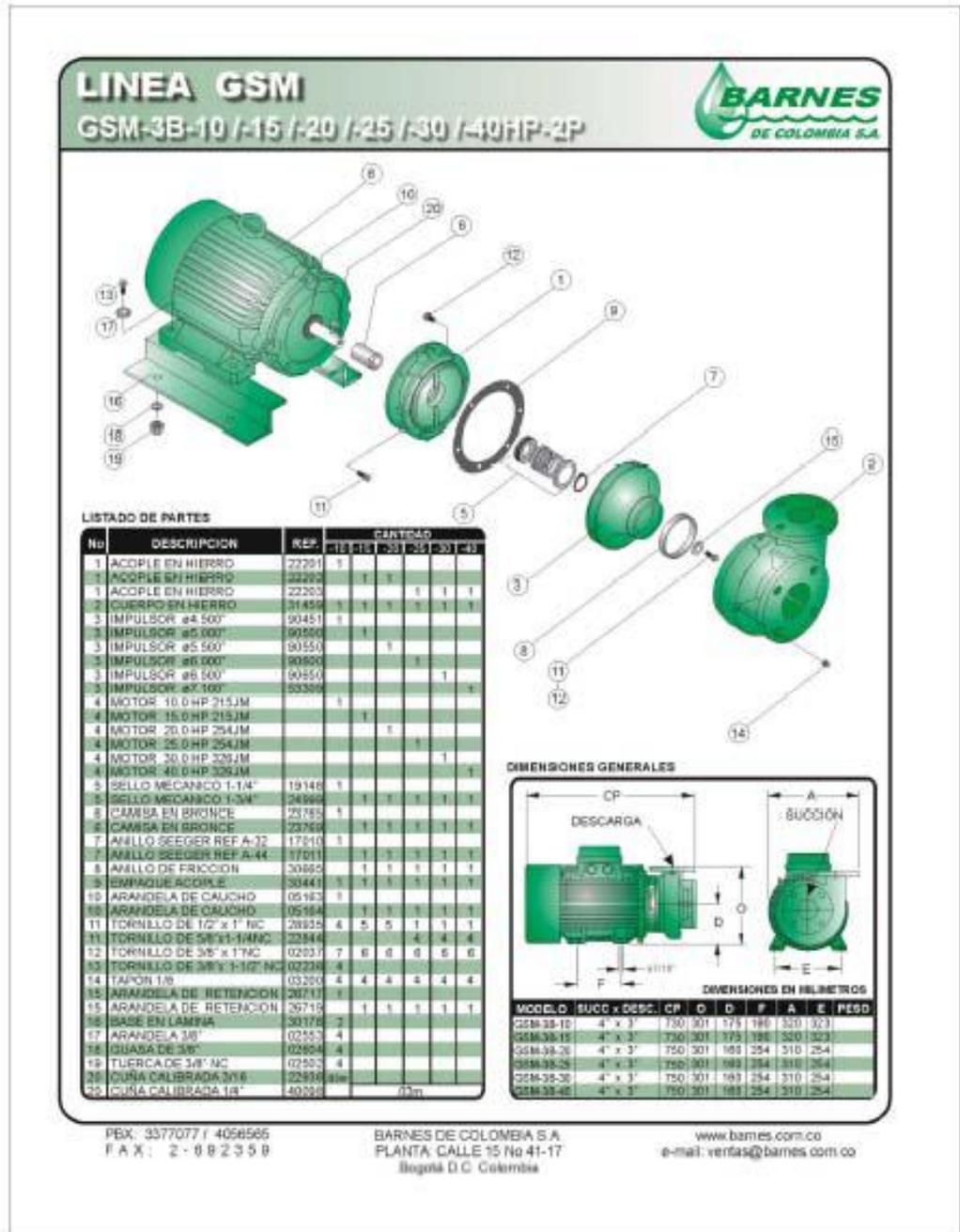
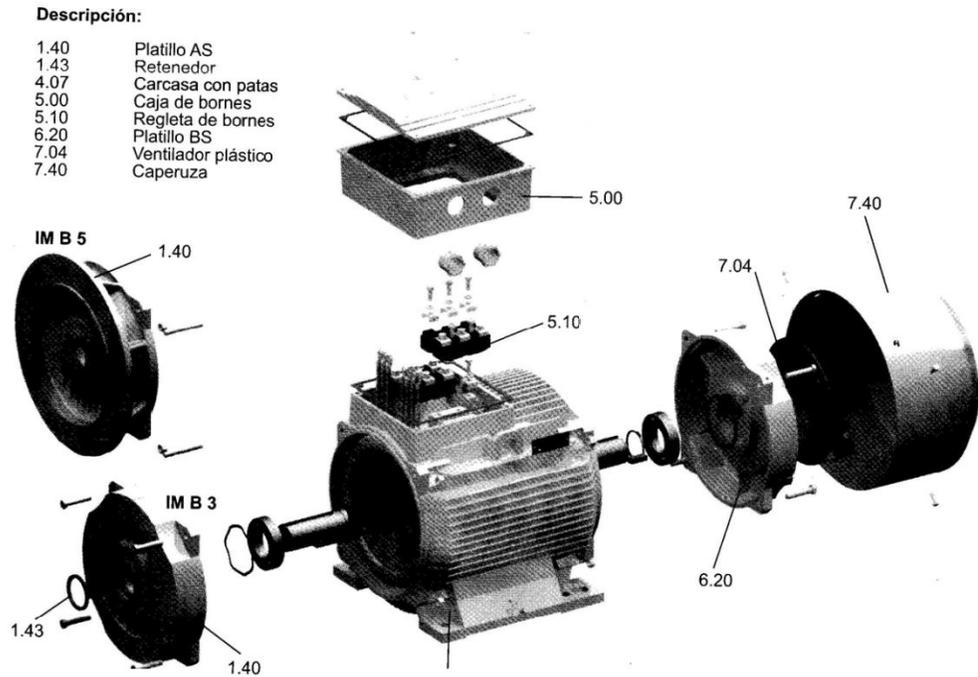


Figura 8. Características constructivas de la bomba centrífuga

El motor eléctrico acoplado a la bomba centrífuga es de 7.5 Hp 220/440 V, 60 Hz. En la figura 9 se encuentran las características constructivas del motor eléctrico.



*Figura 9. Características constructivas del motor eléctrico*

- Un equipo de dosificación y control: dos flotadores tipo para mercurio, para control de operación de la planta por alto y bajo nivel en el tanque de almacenamiento de agua tratada. Dimensiones del tanque: 11.4m x 7.5m x 3.0m
- Una bomba dosificadora electrónica marca Pulsafeeder, de 30 galones por día de capacidad de solución de producto químico, con su respectivo tanque plástico. En la figura 10, se aprecia la bomba con la placa de características técnicas de las bombas dosificadoras. Cada bomba requiere 6 amperios para su funcionamiento.



*Figura 10. Bombas dosificadoras de la PCTA*

De cada bomba dosificadora se deriva una manguera hasta el cabezal de entrada de agua cruda de la PCTA. En la figura 11, se muestra una fotografía donde se aprecian las mangueras que se derivan de las bombas dosificadoras.



*Figura 11. Mangueras de bombas dosificadoras*

- Un tablero eléctrico que incluye: un plc que regula retrolavado y el funcionamiento de la planta, los interruptores, contadores, relés para arranque y protección de los diferentes motores, junto con los interruptores de control y luces de señalización y además los enclavamientos necesarios

para llevar a cabo el control de la planta por alto y bajo nivel en el tanque de almacenamiento de agua tratada. En la figura 12 se muestra el tablero eléctrico que viene junto a la PCTA, desde donde se controlan las protecciones, alimentaciones y señales de toda la plata.



*Figura 12. Tablero eléctrico de la PCTA*

## **2.2 TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

El tanque de almacenamiento se usa como depósito para contener una reserva suficiente de agua potable para su posterior uso. Es un tanque con dimensiones: 11.4m \* 7.5m \* 3m. fabricado en concreto. Con una capacidad de almacenamiento de 257 m<sup>3</sup>.

### **3. CONTROL DEL PROCESO**

#### **3.1 CONDICIONES DE OPERACIÓN DESEADAS**

En las condiciones de operación actual se mostró que la problemática radica en mejorar la calidad del agua, el caudal requerido para almacenamiento y la automatización del proceso de tratamiento del agua y del retrolavado.

Cuando se identificó que se necesitaba mejorar la calidad del agua, se pensó en el proceso de filtrado y antes de realizar el proceso de selección de nuevos filtros, se indagó en la planta acerca de la existencia de filtros de presión; encontrándose que existían tres filtros sin utilizar, que pertenecían a la planta convencional. La planta convencional de tratamiento de agua en Biofilm S.A. cumplía con las especificaciones que debía tener el agua para almacenamiento, sin embargo con el continuo crecimiento de la empresa, el caudal al que se bombeaba el agua no era suficiente para suplir la demanda; por esta razón se implementó la Planta Compacta de Tratamiento de Agua (PCTA). Entonces con el fin de optimizar costos en la solución del problema de operación, se decidió proponer la implementación de estos filtros por fuera de la PCTA para reemplazar el lecho mixto de arena y antracita de la cámara de filtración, teniendo en cuenta que comprarlos significaría realizar cálculos e investigaciones para la selección que tendrían una inversión adicional. En cambio realizar las pruebas con los filtros encontrados en la planta, sería una orden interna de la empresa que se ejecutaría sin someterse a un estudio de factibilidad riguroso y que permitiría validar la solución propuesta y mejorar la eficiencia de la planta.

Por otra parte, se propone un nuevo programa de control del PLC, teniendo en cuenta las condiciones de operación deseadas, el correcto funcionamiento de los equipos, medidas de seguridad y protección que con el programa anterior no se tenían en cuenta y por las cuales se presentaban fallas.

Debido a los problemas mencionados en las “Condiciones de operación actuales” se propone la solución mostrada en el diagrama de flujo de la figura 13, el cual funciona de la siguiente manera:

El agua cruda entra a la planta, a través de una válvula de control eléctrica a la cámara de mezcla rápida. Luego pasa por los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. El agua clarificada pasa de la cámara de sedimentación a la cámara de filtración donde aún se mantienen los dos sensores de nivel los cuales miden el nivel de colmatación y el nivel de agua en esta cámara. Cuando el nivel de colmatación en la cámara es alto se cierra la válvula de control de agua cruda y las válvulas que controlan la dosificación. Si se cumple con el tiempo para el retrolavado, se cambia la posición de las válvulas de control de los filtros y se inicia el retrolavado en los mismos hasta normalizar el proceso. Con la aplicación de la solución propuesta se busca que los retrolavados de los filtros se realicen cada 12 horas con una duración de 8 minutos aproximadamente por filtro.

Cuando el nivel de colmatación no es alto, se verifica el nivel del agua en la cámara de filtración. Si el nivel es bajo envía una señal para apagar la bomba de filtrado; si el nivel no es bajo se enciende la bomba de filtrado y el agua clarificada es bombeada al tanque de almacenamiento pasando por los tres filtros externos. El tanque de almacenamiento tiene un sensor que controla el nivel del agua; si el nivel del agua es alto y se cumple el tiempo de retrolavado, se apaga la bomba de filtrado, se cambia la posición de las válvulas de la cámara de filtración y se inicia

el retrolavado de la planta High-Tech hasta normalizar el proceso. Este retrolavado se realiza cada 36 horas con una duración de aproximadamente 10 minutos.

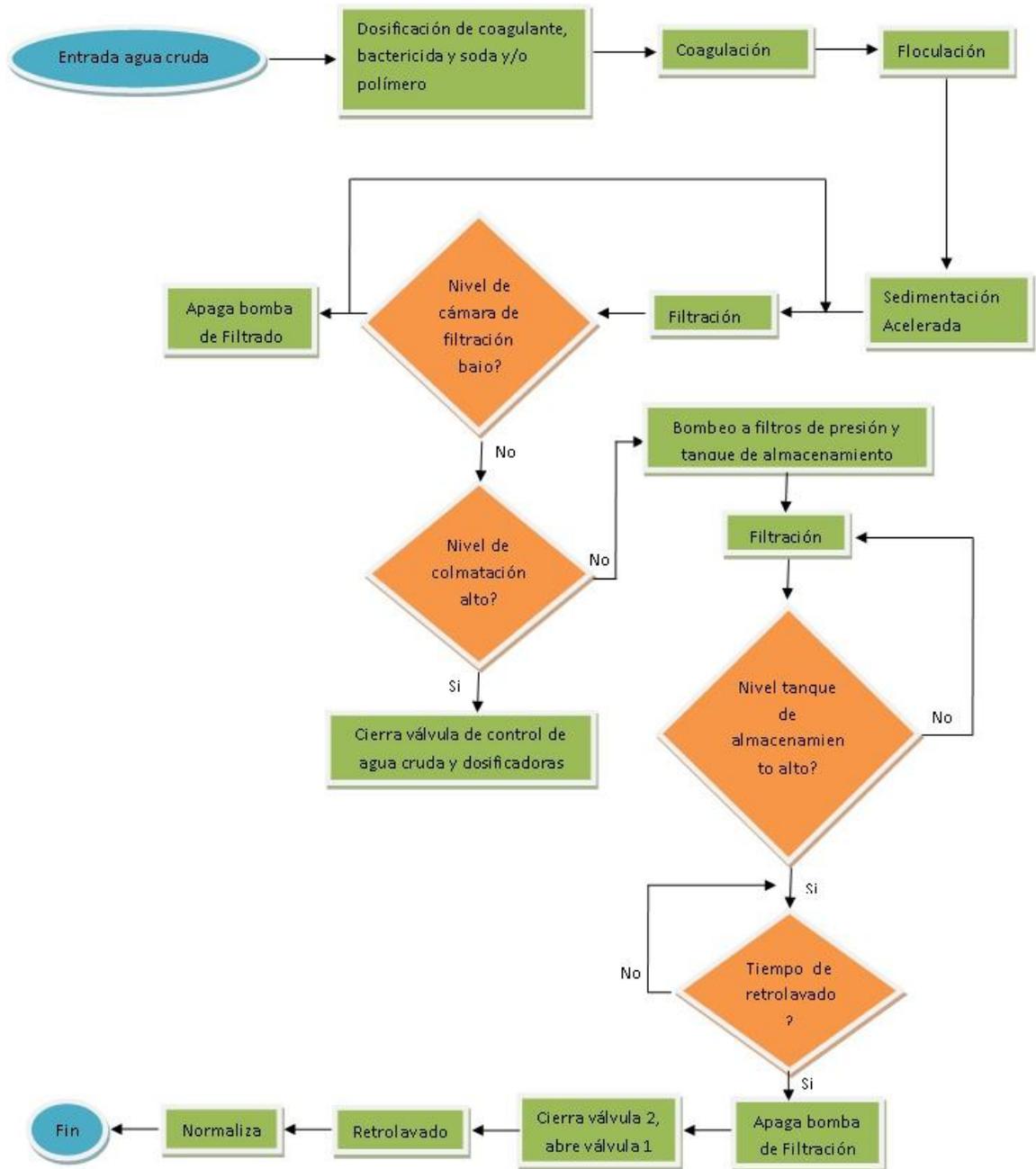


Figura 13. Diagrama de flujo de condiciones deseadas de la PCTA

### 3.2 ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS PARA LA PROPUESTA DE MEJORA

Los equipos que se necesitan para la puesta en operación de la PCTA con la propuesta de mejora son:

- PLC Logo 230Rc mas modulo DM230R

En la figura 14, se muestra una fotografía de un PLC con las especificaciones de la referencia instalado con un modulo adicional.



Figura 14. PLC Logo 230Rc mas modulo DM230R

Adicionalmente, en la tabla 1 se encuentran las características del PCL 230R y en la tabla 2 las características del modulo de ampliación.

Símbolo	Designación	Alimentación	Entradas	Salidas	Características
	LOGO! 12/24RC	12/24 V CC	8 digitales (1)	4 relés de 10A	
	LOGO! 24	24 V c.c.	8 digitales (1)	4 transistores 24V / 0,3A	Sin reloj
	LOGO! 24RC (3)	24 V AC / 24 V DC	8 digitales	4 relés de 10A	
	LOGO! 230RC (2)	115...240 V CA/CC	8 digitales	4 relés de 10A	
	LOGO! 12/24RCo	12/24 V CC	8 digitales (1)	4 relés de 10A	Sin display Sin teclado
	LOGO! 24o	24 V DC	8 digitales (1)	4 transistores 24V / 0,3A	Sin display Sin teclado Sin reloj
	LOGO! 24RCo (3)	24 V AC / 24 V DC	8 digitales	4 relés de 10A	Sin display Sin teclado
	LOGO! 230RCo (2)	115...240 V CA/CC	8 digitales	4 relés de 10A	Sin display Sin teclado

Tabla 1. Especificaciones del PLC 230Rc

Símbolo	Designación	Alimentación	Entradas	Salidas
	LOGO! DM 8 12/24R	12/24 V CC	4 digitales	4 relés de 5A
	LOGO! DM 8 24	24 V c.c.	4 digitales	4 transistores 24V / 0,3A
	LOGO! DM 8 24R (3)	24 V AC/DC	4 digitales	4 relés de 5A
	LOGO! DM 8 230R	115...240 V CA/CC	4 digitales (1)	4 relés de 5A
	LOGO! AM 2	12/24 V CC	2 analógicas 0 ... 10V ó 0 ... 20mA (2)	ninguna
	LOGO! AM 2 PT100	12/24 V DC	2 Pt100 -50 °C hasta +200 °C	ninguna

*Tabla 2. Especificaciones del modulo de ampliación DM230R*

- Sistema de filtración

Para el sistema de Filtración se tienen en cuenta los siguientes requerimientos:

Se necesita remover los componentes de suspensiones (floculo) que han podido escapar de la sección de sedimentación o cualquier tipo de suciedad que haya quedado en el agua. El material del medio filtrante debe tener:

- Compatibilidad y resistencia química con la mezcla
- Permeabilidad al fluido y resistencia a las presiones de filtración
- Capacidad en la retención de sólidos
- Adaptación al equipo de filtración y mantenimiento
- Relación vida útil y coste

Por lo tanto se seleccionaron 3 filtros marca Useche & Cia Ltda (que pertenecían a la planta convencional), de las siguientes especificaciones:

Diámetro 42 pulgadas.

Altura costura-costura: 55 pulgadas.

Entrada: 3 pulgadas.

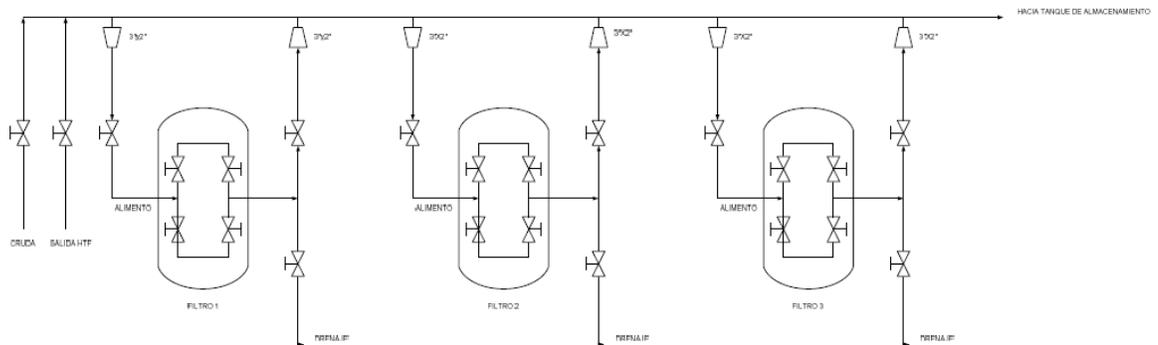
Salida: 3 pulgadas.

El medio filtrante de los equipos de filtración consta de los siguientes materiales:

1. GRAVA: sirve como sustrato para los demás lechos, protege las flautas y canaliza el agua hacia los recolectores de fondo, altura 40 cm (desde el fondo del filtro).
2. GRANITO MOLIDO: retiene partículas de diámetro 0,78 – 1,50 mm, altura 10 cm.
3. ARENA FINA: retiene partículas de diámetro 0,66 – 0,27 mm, altura 25 cm.

La cantidad total de arena para cada filtro es de 900 kg.

La figura 15 muestra la distribución del agua desde la entrada hasta la salida por los filtros:



*Figura 15. Diagrama de conexiones de filtros*

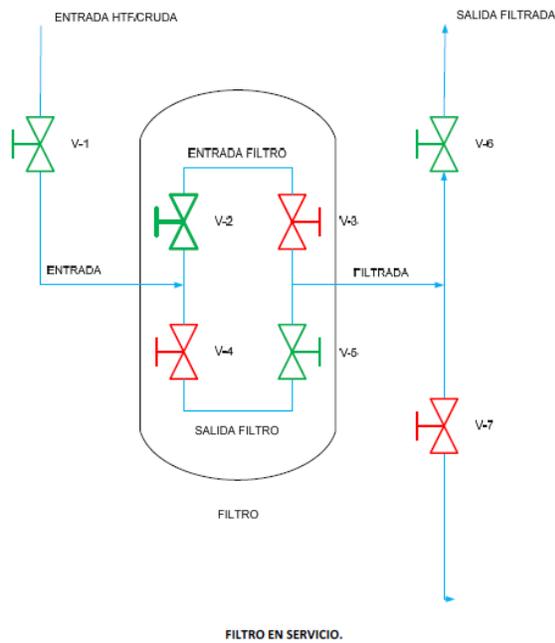
De acuerdo a la figura 15, el agua proviene de la cámara de filtración de la High-Tech y es distribuida en un cabezal de 3", para así descender a cada unidad (filtro 1, 2 y 3) por la línea de mano izquierda (viendo el filtro de frente), a la salida de cada unidad (mano derecha del filtro), se encuentran dos salidas, una ascendente (filtrada) que retorna nuevamente a un cabezal común de 3" que es llevado a un tanque de almacenamiento y otra descendente (drenaje) por donde se eliminan los

residuos provenientes del retro lavado. Análogamente el cabezal de 3", cuenta con una alimentación adicional una línea de agua cruda proveniente de la planta. El agua ingresa a los filtros por la parte superior mediante la flauta de distribución y se vierte a través del lecho filtrante (arena), en donde se retienen los sólidos suspendidos proveniente en la corriente de alimentación, luego el agua ya filtrada es recolectada en la parte inferior por la flauta y evacuada por la parte inferior del filtro. En la figura 16, se aprecia una fotografía de los filtros a instalar.



*Figura 16. Filtros a instalar*

Para colocar un filtro en servicio se procede de la manera como se explica a continuación. En la figura 17 se muestra el funcionamiento de las válvulas para el proceso de filtrado:



*Figura 17. Posición de válvulas para operación normal*

1. Asegúrese de que la planta esté produciendo agua y que la válvula reguladora este abierta.
2. Asegúrese de que la válvula V-1 y V-6 se encuentran cerrados antes de colocar la unidad en servicio.
3. Abra las válvulas V-2 y V-5.
4. Asegúrese de que las válvulas V-3 y V-4 estén totalmente cerradas.
5. Abra la válvula V-6.
6. Abra la válvula V-7 para sacar cualquier acumulación de aire en filtro (Esto se hace por precaución).
7. Abra la válvula V-1 para permitir el acceso de agua al sistema.

8. Tan pronto vea el agua salir por el drenaje (V-7), cierre la válvula V-7 y el sistema estará en servicio.

Con el fin de tener mayor claridad en la posición de las válvulas en la figura 18 se muestra una fotografía del sistema de válvulas instalado en los tanques de filtración.



*Figura 18. Válvulas en tanques de filtración*

Para aumentar la vida útil y el desempeño de los filtros se recomienda realizar las siguientes actividades:

- |                                    |                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| • Mantenimiento metalmecánico      | Anualmente (corrosión)            |
| • Revisión de lechos filtrantes    | Anualmente (evaluar compactación) |
| • Revisión de Flautas distribución | Anualmente (Fractura)             |

• Fugas	Constantemente
• Cambio de Válvulas Universales	Cada 2 años (buen uso)
• Movimiento de Válvulas poco utilizadas	Constantemente (evita pegaduras)
• Cambio de los empaques del filtro	Cada 2 años (opcional)
• Retro lavados	Cada 2 días (depende calidad agua)
• Duración retro lavados	Mínimo 10 minutos (agua clara)

Para la implementación de la mejora del proceso de automatización de la planta de tratamiento de agua se presenta un diagrama P&ID donde se muestran los equipos de instrumentación y de proceso para la puesta en marcha de la propuesta de mejora. En la figura 19 se observa el diagrama en mención.

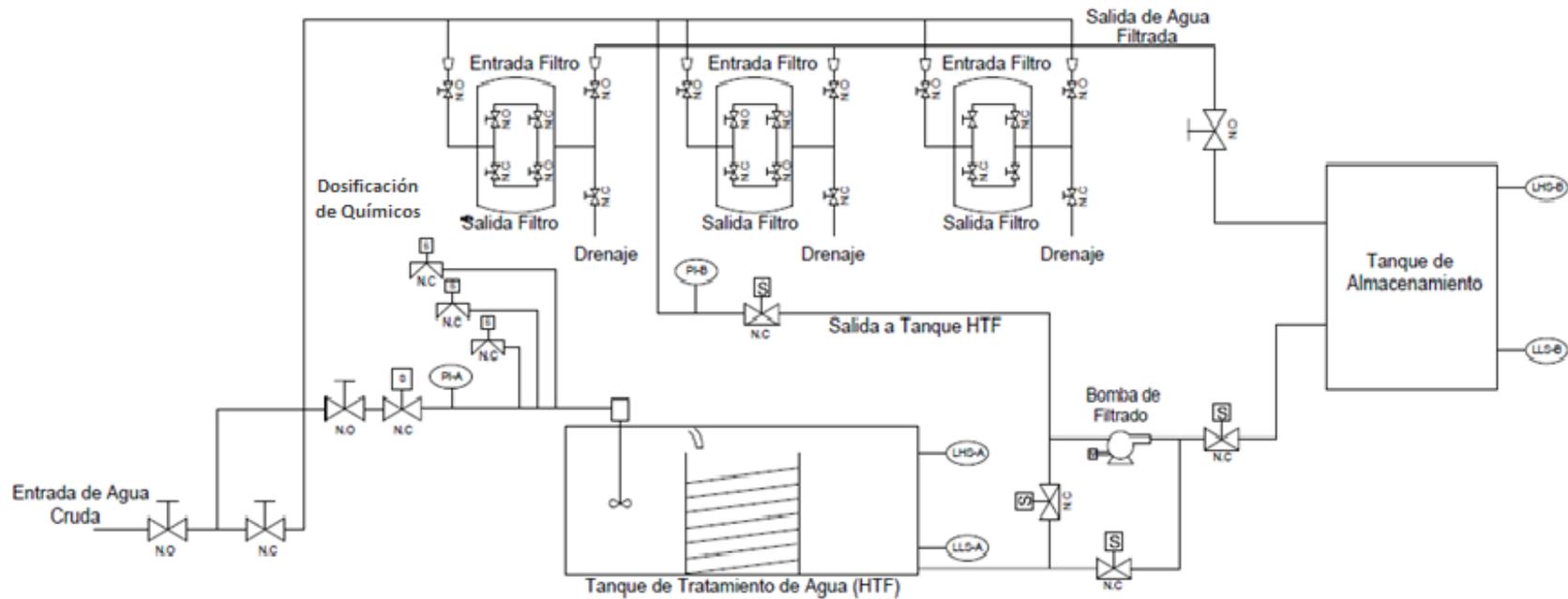


Figura 19. P&ID de la Planta Compacta de Tratamiento de Agua

### **3.3 DISEÑO DEL PROGRAMA**

#### **3.3.1 Operación normal de la PCTA**

Para elaborar el diseño del programa que controlará el proceso de tratamiento de agua y el retrolavado, se establecen unas etapas de proceso: reposo, que es cuando la planta se encuentra desenergizada y detenida; parado, en esta etapa la planta se encuentra energizada y lista para arrancar; operación normal, que donde se realiza el proceso de tratamiento de agua; retrolavado, llenando y drenando. De acuerdo a la solución propuesta y a lo mostrado en el diagrama anterior, el proceso de potabilización del agua, es decir el funcionamiento de la etapa de operación normal se implementará de la siguiente manera:

El agua cruda entra a la planta, a través de una válvula de control eléctrica a la cámara de mezcla rápida. Luego pasa por los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. El agua clarificada pasa de la cámara de sedimentación a la cámara de filtración donde aún se mantienen los dos sensores de nivel los cuales miden el nivel de colmatación y el nivel de agua en esta cámara. Cuando el nivel de colmatación en la cámara es alto se cierra la válvula de control de agua cruda y las válvulas que controlan la dosificación. Si se cumple con el tiempo para el retrolavado, se cambia la posición de las válvulas de control de los filtros y se inicia el retrolavado en los mismos hasta normalizar el proceso.

Cuando el nivel de colmatación no es alto, se verifica el nivel del agua en la cámara de filtración, si el nivel es bajo envía una señal para apagar la bomba de filtrado; si el nivel no es bajo se enciende la bomba de filtrado y el agua clarificada es bombeada al tanque de almacenamiento pasando por los tres filtros externos.

El tanque de almacenamiento tiene un sensor que controla el nivel del agua; si el nivel del agua es alto apaga la bomba de filtrado y si es bajo la enciende.

### **3.3.2 Retrolavado de la PCTA**

El proceso de retrolavado automático se inicia verificando el nivel de agua del tanque de almacenamiento y se cumple el tiempo de retrolavado, se apaga la bomba de filtrado, se cambia la posición de las válvulas de la cámara de filtración y se inicia el retrolavado (donde tienen lugar las etapas de llenado y drenando) de la planta High-Tech hasta normalizar el proceso. Este retrolavado se realiza cada 36 horas con una duración de aproximadamente 12 minutos.

### **3.4 LOGICA DE PROGRAMCIÓN**

Para la automatización se diseña un programa para el accionamiento eléctrico de las bombas y válvulas implicadas en el proceso, el cual se desarrolla en el PLC LOGO! marca SIEMENS en el software LOGO!Soft Comfort V6.1. Este programa se realiza de acuerdo a las normas IEC 61082 y la norma europea UNE EN 60617.

El diseño se realiza de acuerdo a las siguientes condiciones de operación:

1. Arrancar con el pulsador de marcha
2. Cuando arranca abrir la válvula de control de agua cruda y encender las bombas dosificadoras de químicos.
3. Con el arranque, se abren 2 de las válvulas de dos vías y tres posiciones, para permitir el paso de agua al tanque de almacenamiento.

4. Debe apagar las bombas dosificadoras y cerrar la válvula de control de agua cruda si el nivel de colmatación de la cámara de filtrado está alto.
5. La electrobomba que alimenta el tanque de almacenamiento debe ponerse en marcha cuando el nivel del tanque de almacenamiento esté bajo y debe pararse cuando alcance nivel bajo en la cámara filtrado y cuando alcance el nivel alto en el tanque de almacenamiento; debe seguir parada hasta que vuelva a faltar nivel en el tanque o haya bajo nivel en cámara de filtrado.
6. El retrolavado del tanque de clarificación de la PCTA debe realizarse cada 36 horas y con agua tratada, entonces una vez se cumpla este tiempo y el nivel del tanque de almacenamiento esté alto, se apaga la planta, se cambian de posición las 4 válvulas de dos vías y tres posiciones: (las que estaban abiertas se cierran y las que estaban cerradas se abren) y pasados unos segundos se enciende la bomba de filtrado y una vez alcanza el nivel de colmatación se espera 1 minuto, se apaga la bomba y transcurridos 10 minutos (que es el tiempo en que tarda en romperse el sifón una vez alcanzado ese nivel) se normalizan las posiciones de las válvulas y se adecua la planta para que inicie nuevamente el proceso de tratamiento del agua.

Para desarrollar el programa de control del proceso, se divide el proceso en 6 etapas de funcionamiento:

- Reposo: se cumple cuando la planta está desenergizada o cuando se presiona el pulsador de parada.
- Parado: se cumple cuando la planta se encuentra energizada y lista para arrancar.

- Operación Normal: Ocurre cuando se activa el pulsador de marcha o cuando termina un retrolavado.
- Retrolavado: tienen lugar cuando se cumplen las 36 horas de operación normal y el sensor de nivel del tanque de almacenamiento indica que el nivel está alto; entonces se apaga la planta y se cambia la posición de las válvulas de 3 vías y dos posiciones.
- Llenando: cuando se cumple la condición de retrolavado, se enciende nuevamente la bomba de filtrado, para hacer recircular el agua en sentido contrario a la operación normal, hasta que el nivel de colmatación está alto.
- Drenando: si el nivel de colmatación está alto, el agua empieza a drenar por el sifón, al cabo de un minuto se apaga la bomba, mientras el agua sigue saliendo por el sifón y para que este se rompa deben haber transcurrido 8 minutos aproximadamente. Posteriormente se normaliza y se regresa al estado de operación normal.

Lo anterior se puede apreciar en el diagrama (realizado de acuerdo a la norma IEC 848) de la figura 20.

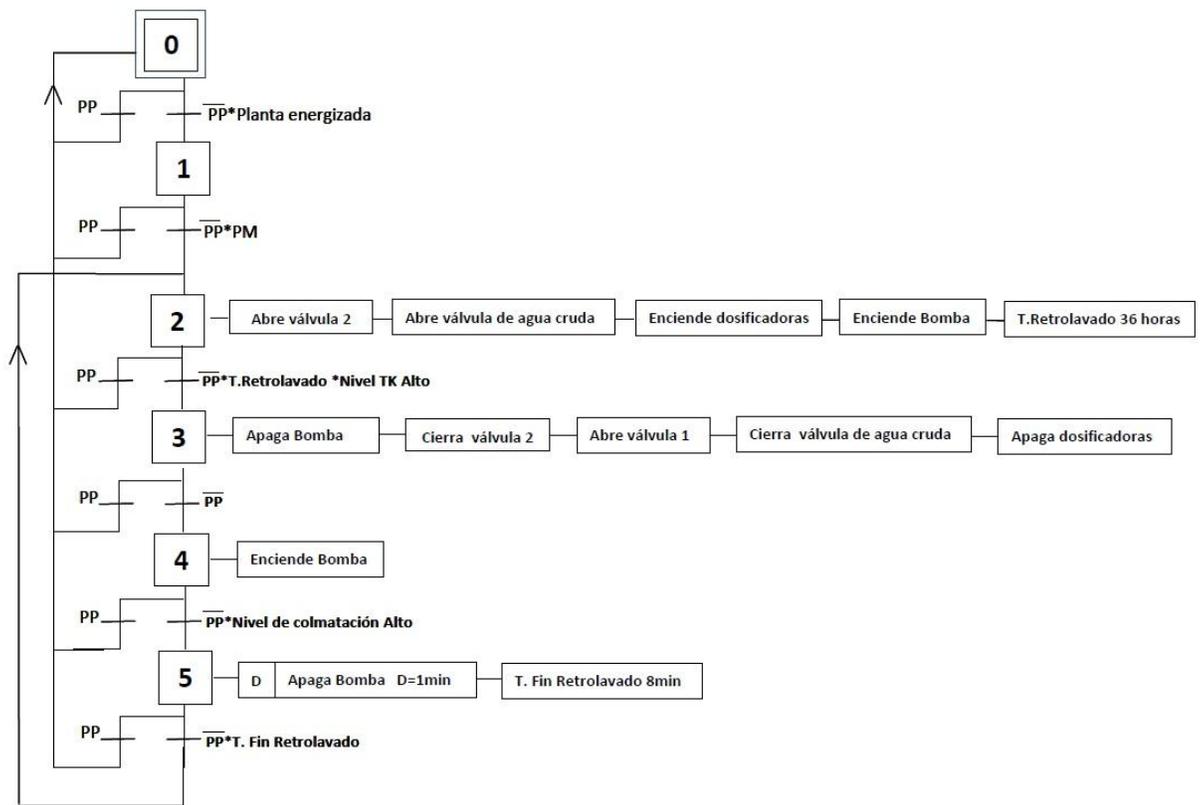


Figura 20. Diagrama en Grafcet del control de la PCTA. (Norma IEC 848)

Con ayuda del diagrama anterior, se determinaron las entradas, salidas y las marcas que debía tener el programa, como se observa en la tabla 3, así como la lógica de programación que se implementaría (figuras 21, 22 y 23).

<b>ENTRADA</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>SALIDA</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>MARCA</b>	<b>NOMBRE</b>
<b>I1</b>	Pulsador de Marcha	Q1	Bomba dosificadora 1	M1	Operación normal
<b>I2</b>	Pulsador de Parada	Q2	Bomba dosificadora 2	M2	Retrolavado
<b>I3</b>	Señal de flotador de nivel de la cámara de filtrado	Q3	Bomba dosificadora 3	M3	Llenando
<b>I4</b>	Señal de flotador de nivel del tanque de almacenamiento	Q4	Bomba de filtración	M4	Drenando
<b>I6</b>	Señal de flotador de nivel de colmatación	Q5	Válvula automática de agua cruda		
		Q6	Válvula automática de dos vías tres posiciones 1		
		Q7	Válvula automática de dos vías tres posiciones		

*Tabla 3. Entradas, salidas y marcas utilizadas en el programa del PLC.*

A continuación se encuentra el programa realizado para el control de proceso de la PCTA.

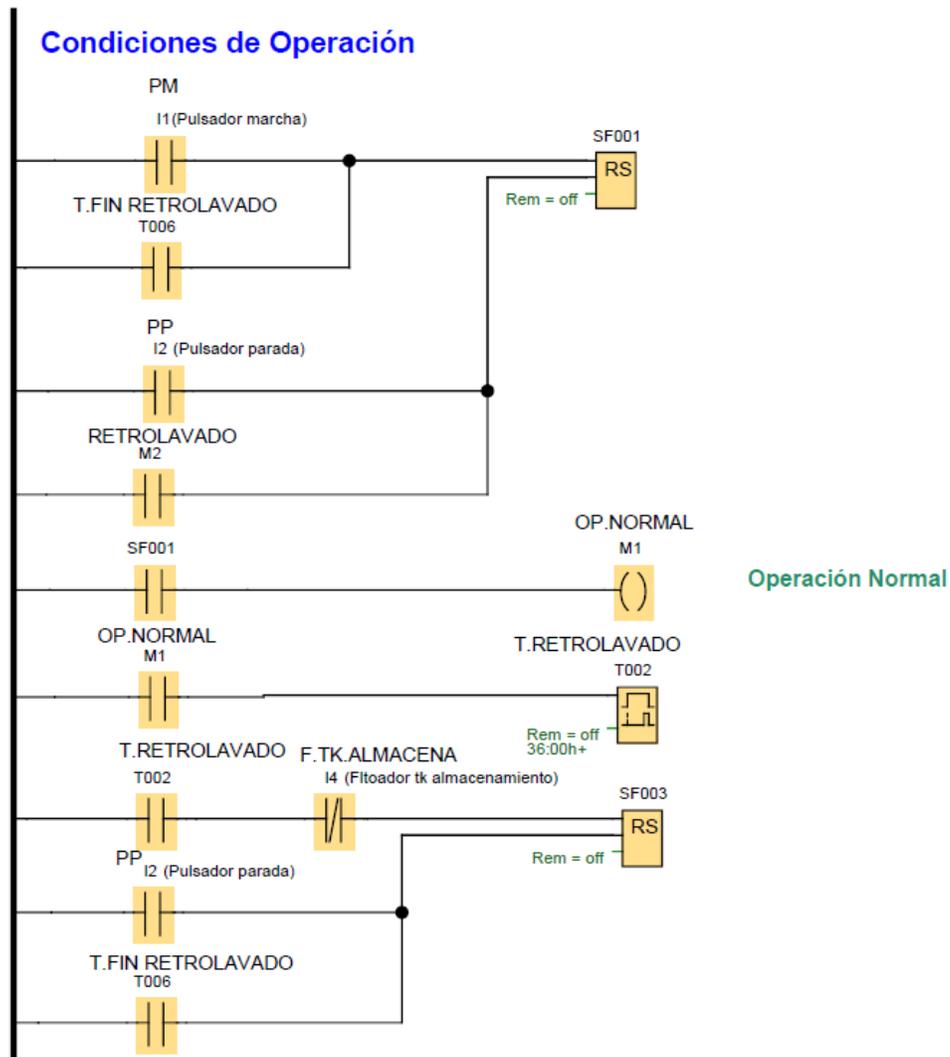


Figura 21. Lógica de programación de la operación normal de la PCTA.

Como se observa, en el programa se condicionaron las etapas de proceso de funcionamiento de igual forma que se hizo en el diagrama grafet (figura 20). En este caso se muestra la etapa “Operación Normal” esta se cumple cuando se activa el pulsador de marcha (PM) o después de finalizar un retrolavado y no se ha pulsado la parada de emergencia (PP). Entonces cuando las condiciones anteriores se cumplen, se activa una marca (M1) interna del PLC, que permite que se lleven a cabo los procesos implicados en el tratamiento de agua de la PCTA.

En la siguiente figura se muestra la lógica de programación para el retrolavado.

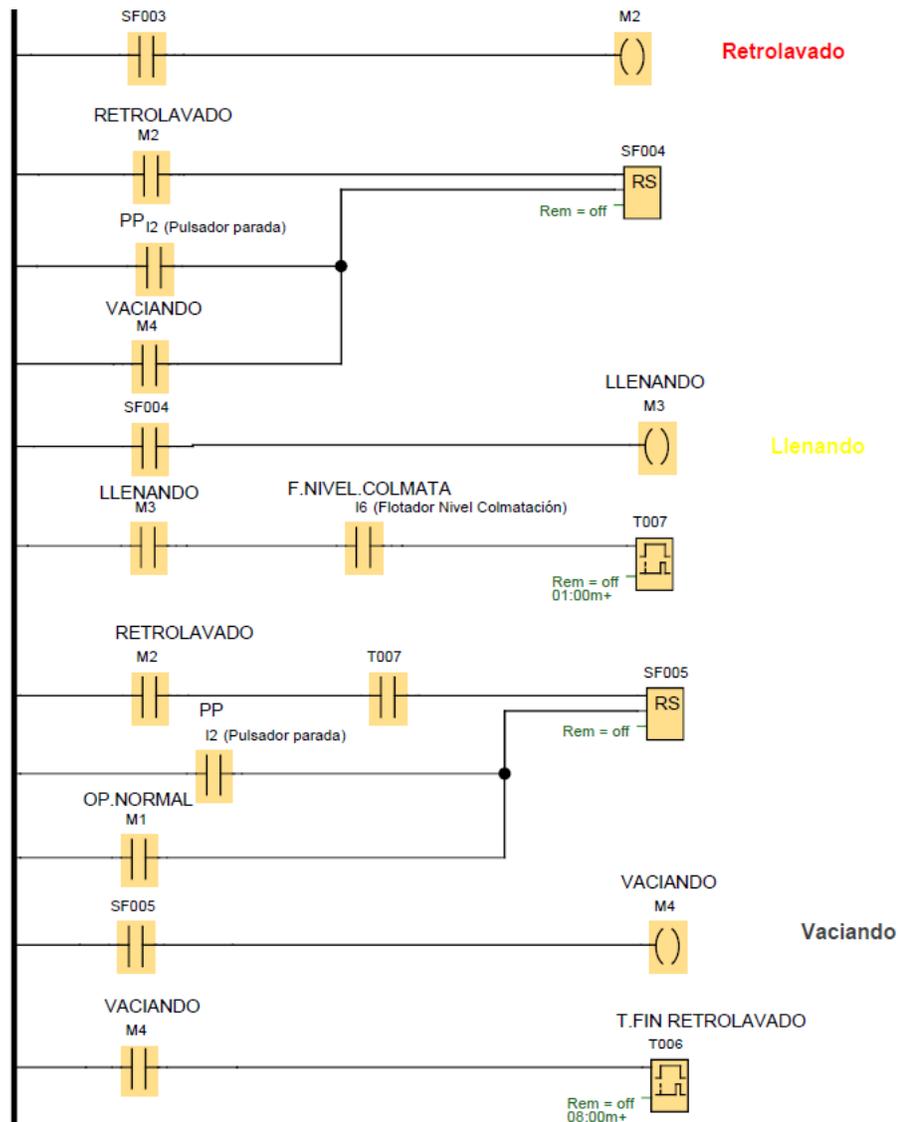


Figura 22. Lógica de programación del retrolavado de la PCTA.

De acuerdo a la figura 22 para que se efectúe el retrolavado de la PCTA, se deben cumplir las 36 horas de funcionamiento continuo y el nivel del tanque de almacenamiento debe estar alto, debido a que el retrolavado se realiza con agua tratada, entonces por seguridad, se verifica que el tanque de almacenamiento no vaya a quedar con bajo nivel después de realizarse el retrolavado. Por lo tanto,

cuando se cumplen las condiciones mencionadas, se activa una marca (M2), que da lugar al retrolavado.

A continuación se muestran los procesos que se realizan una vez se activan las distintas marcas correspondientes a las etapas de funcionamiento de la PCTA.

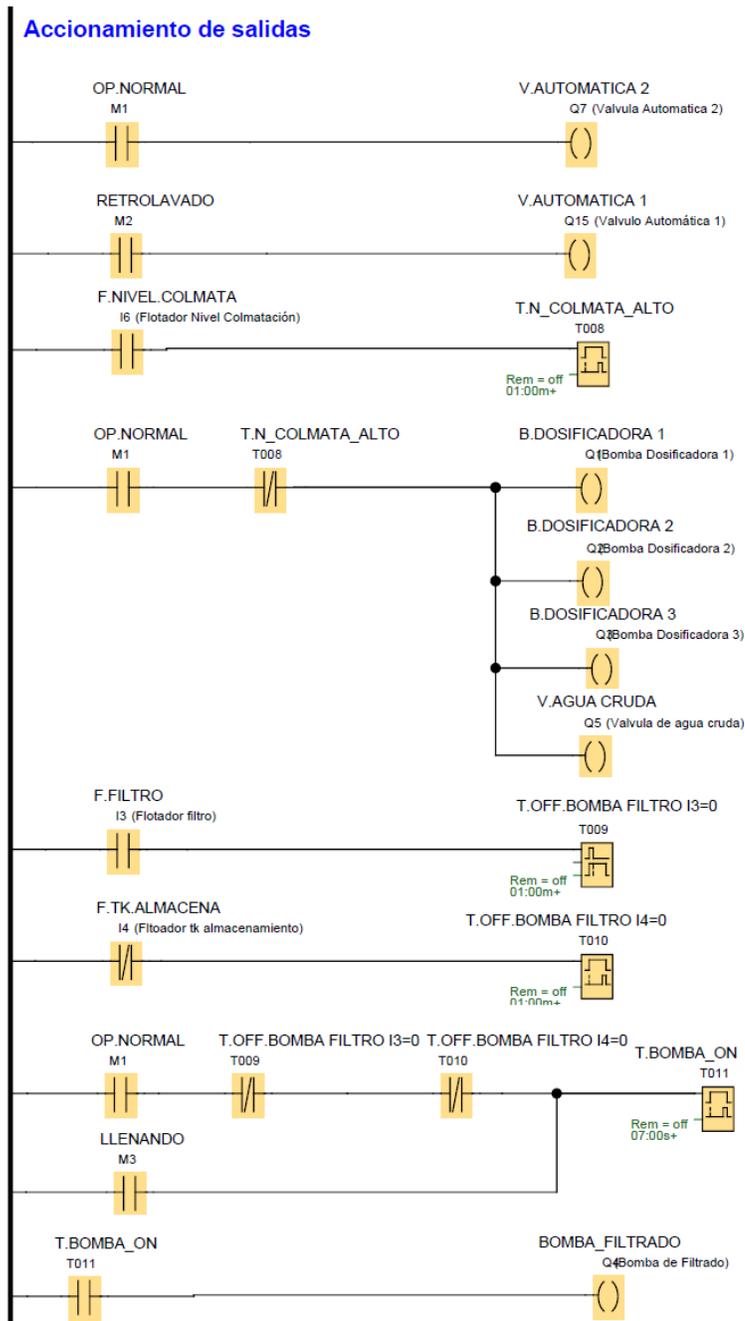


Figura 23. Accionamientos de la salida del PCLC de la PCTA.

Para la implementación de la solución es necesario realizar las conexiones eléctricas que se aprecian en las figuras 24, 25 y 26.

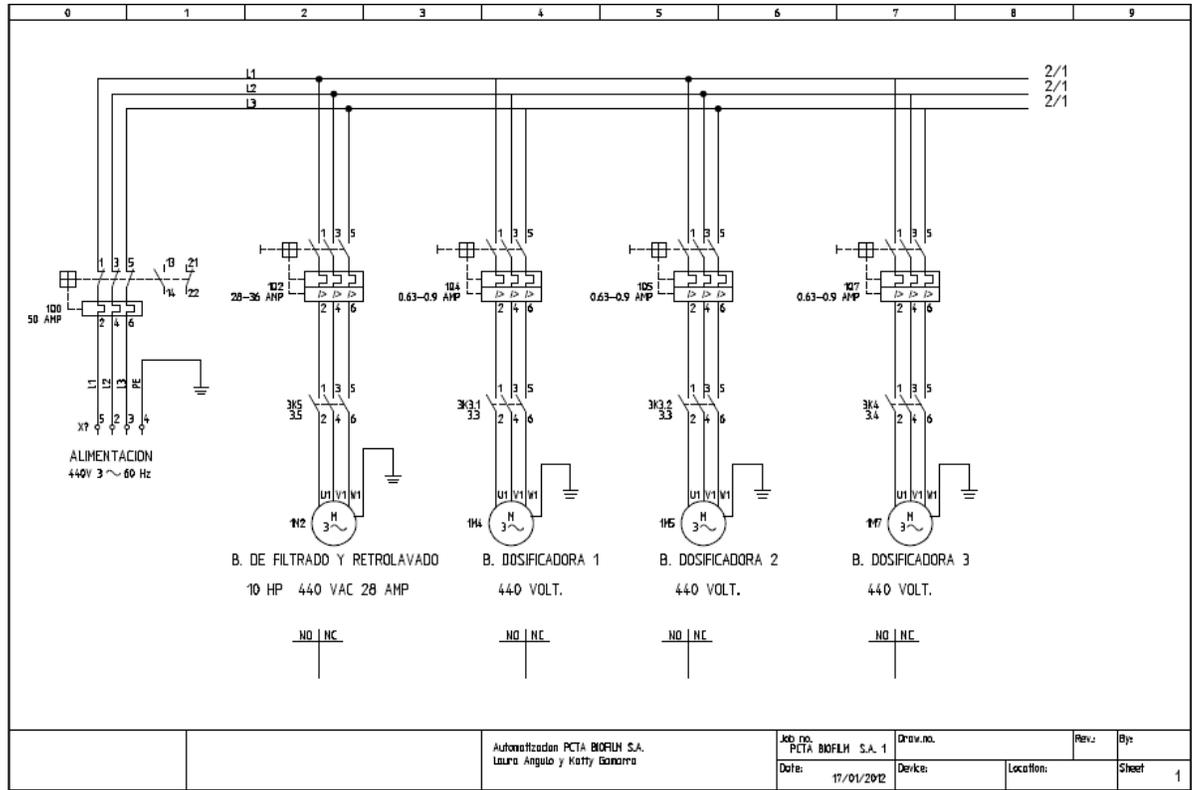


Figura 24. Conexiones eléctricas de las bombas dosificadoras y de la bomba de filtrado.

Para alimentar las bombas dosificadoras y la bomba de filtrado se necesitan 440 VAC a 60Hz, como se muestra en la figura 24. A la entrada de cada bomba se colocan guradamotores por protección contra sobrecorrientes entre 20 a 36 amperio para la bomba de filtración y retrolavado y entre 0,63 a 0,9 amperios para las bombas dosificadoras.

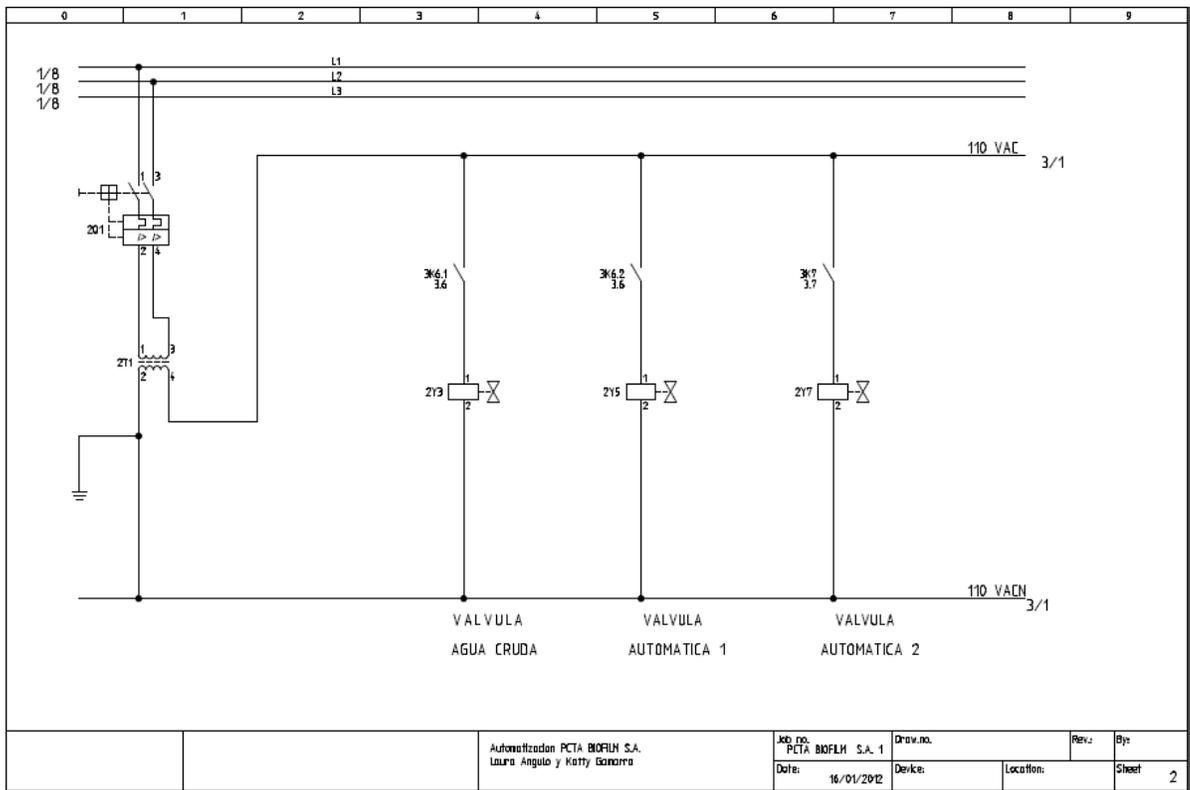
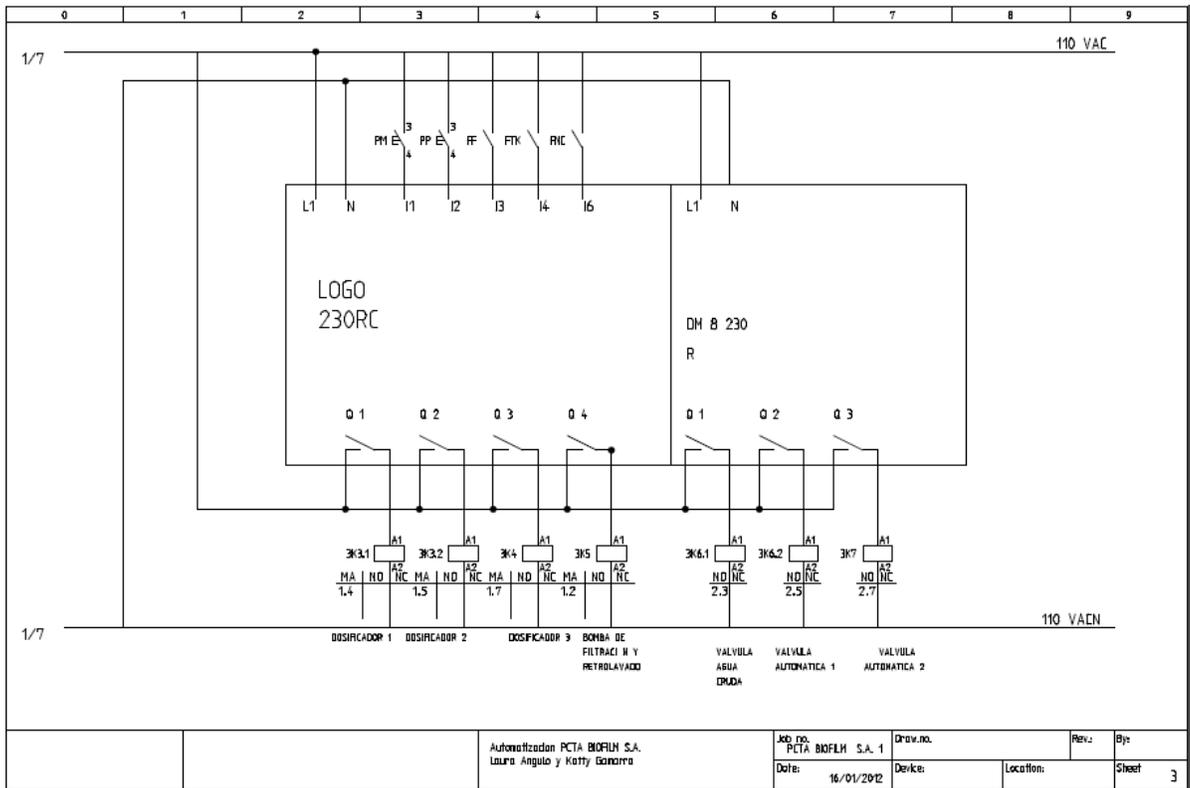


Figura 25. Alimentación de las válvulas accionadas por solenoide.

La válvula de control de agua cruda y las válvulas de tres vías y dos posiciones se alimentan con 110 VAC a 60 Hz, entonces se transforma de 440 VAC a 110 VAC como se observa.



*Figura 26. Conexión eléctrica del PLC*

Como se observa en la figura 26, el PLC al igual que las válvulas se alimenta con 110VAC, también se muestran las entradas: pulsador de marcha (PM), Pulsador de parada (PP), Nivel de la cámara de filtrado (FF), Nivel del tanque de almacenamiento (FTK), nivel de colmatación (FNC) y las salidas: bombas dosificadoras, bomba de filtración y retrolavado, válvula de agua cruda y válvulas de dos vías y tres posiciones.

#### 4. VALOR PRÁCTICO – ECONÓMICO DE LA SOLUCION

Actualmente en Biofilm S.A el proceso de tratamiento de agua se hace con una planta compacta marca High-Tech, la cual presenta problemas con los tiempos de retrolavados, como se especifico en el capítulo 1. Estos resultados además de presentar inconvenientes operativos para la máquina, acarrearán pérdidas y sobrecostos representativos.

De acuerdo a la tabla 4 el consumo de agua para un retrolavado es de 13 m<sup>3</sup>/ciclo, realizándose en el transcurso de 24 horas (1 día) 6 retrolavados, lo que indica que aproximadamente cada 4 horas se requieren 13m<sup>3</sup> de agua para retrolavado. Este proceso agota el agua tratada del tanque de almacenamiento lo que crea trastornos en el libre funcionamiento de las dependencias que trabajan con esta agua. Debido a lo anterior Biofilm S.A debe contratar, a una empresa prestadora de servicios, carro tanques de agua para no interrumpir los procesos que dependen del agua tratada de la planta, representando un sobrecosto adicional.

Descripción	Proceso	
	Actual	Automatizado
Consumo de agua para retrolavar (m <sup>3</sup> /ciclo)	13	13
Numero de retrolavados	6 veces al día	Cada 36 horas
Gasto de consumo de agua para retrolavar (m <sup>3</sup> /día)	78	7,8
Gasto de consumo de agua para retrolavar (m <sup>3</sup> /mes)	2340	234

*Tabla 4. Sobre consumo de agua potable con operación de la PCTA*

En condiciones actuales los retrolavados se realizan con mucha frecuencia y el consumo de agua potable es alto. La propuesta de automatización de esta monografía busca controlar el tiempo de los retrolavados, haciendo un retrolavado cada 36 horas. Con la disminución de retrolavados, los gastos de consumo de agua bajan en un 90% del consumo actual.

Para la realización de los retrolavados se requiere de personal calificado dedicado a la operación y supervisión del proceso. En la tabla 5 se muestran los costos de un técnico mecánico y un ingeniero que son los encargados de montaje, operación y supervisión de las actividades requeridas en el proceso. De acuerdo a la información mostrada en condiciones actuales se requieren aproximadamente 240 horas, lo que representa un sobre costo mensual. La automatización del proceso de tratamiento de agua de la planta disminuiría las horas empleadas, hasta 60, para la puesta en marcha del proceso y los retrolavados, garantizando las condiciones de agua potable en el tanque de almacenamiento.

Descripción	Proceso	
	Actual	Automatizado
Costo hora de Técnico mecánico	\$ 17.500	\$ 17.500
Horas destinadas	240	60
Ingeniero	\$ 35.000	\$ 35.000
Horas destinadas	240	60
<b>Total Horas Personal</b>	<b>\$ 12.600.000</b>	<b>\$ 3.150.000</b>

*Tabla 5. Personal dedicado a montaje, operación y/o supervisión*

Con la automatización del proceso se evitarían además fallas en la potabilización del agua por errores u olvidos humanos. Por ejemplo, cuando no se hace un retrolavado en el tiempo programado, los filtros se colmatan, permitiendo el paso de sedimentos en el agua.

La instrumentación industrial, debido al gran avance tecnológico, exige una mayor precisión en las labores de mantenimientos, con el fin de no llegar a los de tipo correctivo. En la tabla 6 se muestran las características de los mantenimientos predictivos, preventivos y correctivos,

TIPO DE MANTENIMIENTO	ESTADO DE FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA	MOTIVO DE LA INTERVENCION	TAREAS A REALIZAR	OBJETIVO DE LA INTERVENCION
CORRECTIVO	FUERA DE SERVICIO	FALLA	CAMBIO DE COMPONENTES	RETORNIAR AL SERVICIO
PREVENTIVO	FUERA DE SERVICIO	INSPECCION PROGRAMADA	DESARMES PARA INSPECCION Y CAMBIO DE DETERMINADOS COMPONENTES	GARANTIZAR POR DETERMINADO PERIODO SU FUNCIONAMIENTO
PREDICTIVO	EN SERVICIO	CONTROL PROGRAMADO	MEDICIONES	PREDECIR Y DETECTAR FALLAS A TIEMPO Y PROGRAMAR SU CORRECCION

Tabla 6. Características de los tipos de mantenimientos

De todos los casos que generan sobrecostos a la producción, las pérdidas que resultan por parada, debido a mantenimientos, son las más significativas de todo el proceso. En la gráfica siguiente se muestran las horas paro de mantenimiento por limpieza de equipos.

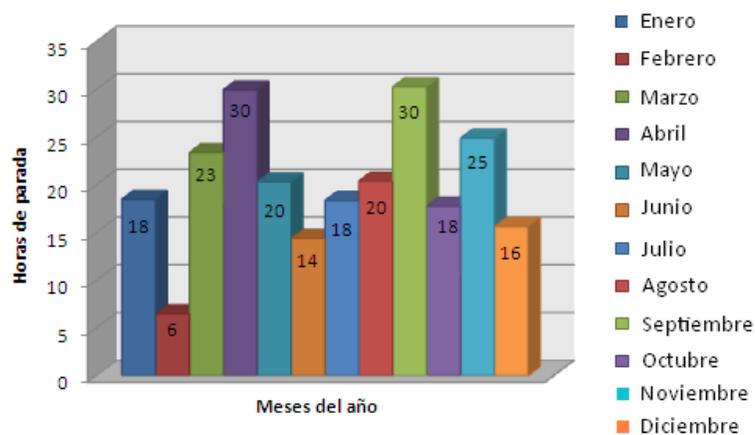


Figura 27. Horas paro por mantenimiento

En Biofilm S.A para el año 2011 se presentaron paradas debido a mantenimientos preventivos o correctivos alcanzando un total de 240 horas. En la figura 27 se muestra la cantidad de horas por paro mes a mes que se generaron por limpieza de equipos, el mal funcionamiento de la planta High-Tech, incide en gran medida debido a que si el agua no se filtra de manera adecuada los equipos por donde circula se ensucian y aumentan el número de mantenimientos. En los meses de Abril y Septiembre se presentó la mayor cantidad de horas por parada, meses en los que la PCTA estuvo fuera de servicio.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la disminución de retrolavados, los gastos de consumo de agua bajan en un 90% del consumo actual. La reducción en el consumo, lleva a Biofilm S.A a participar activamente del uso eficiente y racional del agua que tiene como ventajas no cuantificables las relacionadas con el medio ambiente, la salud y el bienestar social. Cumpliendo además con la ley 373 del 6 de Junio de 1997 “programa para el uso eficiente y ahorro del agua”.

Por otra parte, al realizar la mejora en la automatización de la PCTA, se tiene un impacto económico considerable, pues se logran disminuir las horas paro por limpieza, teniendo en cuenta que la producción/hora de Biofilm es aproximadamente de 3,4 toneladas y cada tonelada tiene un valor de 1,2 dólares, por cada hora paro que se disminuya, se ahorran 5.000 dólares.

El sistema automático de tratamiento de agua y retrolavado de la planta High – Tech permite controlar en tiempo real los retrolavados de la planta y obtener agua tratada de alta calidad de manera continúa. Permitiendo a su vez realizar periódicamente pruebas del agua tratada para así mantener las condiciones requeridas para la producción.

Mediante la implementación del programa de automatización se puede tener control sobre los niveles altos y bajos de los tanques de filtración y de almacenamiento, lo que garantiza que no se presentaran reboses en los tanques o arranque en vacío de la bomba de filtración por bajo nivel. Los reboses pueden generar retrolavados no programados en el caso del tanque de filtrado o desbordamientos de agua en el tanque de almacenamiento.

La automatización del proceso de tratamiento de agua, brinda a Biofilm S.A la oportunidad de evolucionar en la pirámide de automatización, pasando del nivel 1, control por equipos en campo (actuadores, sensores, válvulas y otros.) al nivel 2, control de procesos por PLC`s, donde las señales llegan desde el nivel inferior vía alambrado o vía redes de comunicación dedicadas. El avance en la pirámide de automatización permite adquirir una experiencia valorada en aplicaciones para autómatas y posteriormente en adquisición de datos.

A través del control de la planta se logra el mejoramiento de la coordinación del proceso, la reducción de tiempos y de costos en el área de mantenimiento. Además se evitan las fallas presentadas por errores humanos.

El PLC le otorga robustez y confianza al proceso dentro del ámbito industrial y precisión en los tiempos de retrolavados por lo que se recomienda emplear un PLC con puerto Ethernet para futuros monitoreos de consumo de agua mediante conexión inalámbrica o alambrada de un sistema supervisorio en Biofilm S.A.

Es crucial para la adquisición de los datos de consumo de agua, la instalación de un transmisor registrador de flujo en la salida de la bomba de filtrado para registrar el consumo de agua, supervisar y controlar el comportamiento de la planta a corto y largo plazo y así establecer mejoras en el sistema en tiempo real.

## BIBLIOGRAFIA

- HIGH TECH FILTRACIÓN INDUSTRIAL LTDA. Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de agua potable de 125 gpm Biofilm. Bogotá, 2010.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas para normas. 2 ed. Bogotá: ICONTEC 1996. 6 p. (NTC 1307)
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas para normas. 2 ed. Bogotá: ICONTEC 1996. 6 p. (NTC 1307)
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION 61082.
- ANÓNIMO. Grafcet una forma simple e intuitiva de programación [en línea]. <<http://formacion.plcmadrid.es/descargas/docs/presentaciongrafcet.pdf>> [citado en 19 de enero de 2012 ]
- ANÓNIMO. Problemas Grafcet [en línea]. <[http://isa.umh.es/assignaturas/asct/automatas/Problemas\\_Grafcet.pdf](http://isa.umh.es/assignaturas/asct/automatas/Problemas_Grafcet.pdf)> [citado en 17 de enero de 2012 ]
- JIMÉNEZ MEZA, OBED RENATO. Simbología y normas eléctricas [en línea] <> [citado en 19 de enero de 2012 ]
- NAPIER – REID. Plantas Compactas para Tratamiento de Aguas. 2007.