 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Fredy Alexander Arenas Castaño

Wilson Humberto Londoño Giraldo

Ingeniería Mecatrónica

Director del trabajo de Grado
Manuel Alejandro Ospina Alarcón

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Agosto de 2017

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En Colombia se cuenta con numerosas plantas para el tratamiento de agua potable (PTAP), la mayoría de gran capacidad que van de 200 a 5.000 L/s, estas manejan sistemas de control para garantizar condiciones de alta calidad en el proceso final donde el agua es apta para el consumo humano, generando economía y eficiencia en su producción. Las plantas de tratamiento de pequeña (9 a 99 L/s) y mediana capacidad (100 a 199 L/s), generalmente no cuentan con este tipo de tecnología entorpeciendo el proceso, teniendo en cuenta que son sistemas manipulados físicamente por operarios que se exponen diariamente a errores que ocasionan accidentes, pérdidas de tiempo, insumos, dinero, e incluso reprocesos que distorsionan el control y manejo del recurso hídrico.

Este trabajo se enfocó en el diseño de un sistema automatizado (SCADA) para una PTAP, compuesto por la simulación entre un PLC y una pantalla HMI donde se representa una topología de comunicación industrial, que a su vez centraliza el control de los subprocesos que conforman la potabilización del agua (Dosificación de químicos, Floculación, Sedimentación, Filtración y Desinfección) para plantas de tratamiento a pequeña y mediana escala. Para ello, se empleó el software Simatic S7 donde se elaboró el algoritmo de control en lenguaje KOP, que en conjunto con WinCC Flexible permite visualizar la simulación a través de una pantalla HMI y así poder maniobrar los elementos de control que dispone una PTAP.

Este diseño reúne un comportamiento que permite interactuar en tiempo real con cada operación que se lleva a cabo dentro de la PTAP, el programa reconoce y actúa sobre los dispositivos que conforman dicho proceso (Sensores de volumen, Caudalímetros, Sensores de turbiedad, Electroválvulas, Bombas dosificadoras y Moto reductores).

Una futura implementación ayudaría a reducir los errores mencionados anteriormente por la intervención manual en este tipo de plantas que no presentan tecnologías autómatas, minimizándolos y contribuyendo al proceso de potabilización de agua; además de tener un sistema de monitoreo que mejora las condiciones de control. La importancia de un sistema automático en la potabilización de agua garantiza desempeño en su funcionamiento, ofreciéndole al operador de planta la comodidad de tener un programa amigable desde donde podrá observar y manipular directamente el proceso de toda la PTAP sin necesidad de presenciarlo físicamente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Palabras claves:

Control, Automatización, Simatic S7, WinCC FLEXIBLE, Pantalla HMI, SCADA, Simulación, PLC, Proceso de Potabilización, Automatas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Al profesor Manuel Alejandro Ospina, asesor metodológico, por su interés y apoyo brindado en el desarrollo del proyecto.

Al señor Diego Herreño, estudiante de ING. Electromecánica, por el asesoramiento en la programación.

Al señor Esneider Salazar, estudiante de ING. Mecatrónica, por el asesoramiento en plantas de tratamiento de agua potable.

A todos los que colaboraron durante el proceso investigativo en nuestro trabajo de grado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

PLC: Controlador Lógico Programable.

KOP: Lenguaje de programación de contactos.

HMI: Interfaz Hombre - Máquina.

PTAP: Planta de tratamiento de agua potable.

PT: Planta de tratamiento-

STEP 7: Software de programación de PLC de Siemens.

WINCC: Control de supervisión y adquisición de datos (SCADA).

PC: Computador Personal.

T1: Tanque 1.

T2: Tanque 2.

T3: Tanque 3.

T4: Tanque 4.

T5: Tanque 5.

FC: Bloques de programación auxiliares.

OB1: Bloque de programación principal.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	8
1.1.	Objetivo general.....	9
1.2.	Objetivos Específicos.....	9
1.3.	Organización del trabajo	9
2.	MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.	Tratamiento.....	10
2.1.1.	Dosificación de insumos químicos	11
2.1.2.	Coagulación – floculación.....	11
2.1.3.	Sedimentación o decantación.....	11
2.1.4.	Filtración.....	12
2.1.5.	Desinfección	12
2.2.	Automatización	12
2.2.1	PLC.....	12
2.2.2.	Pantalla HMI.....	13
2.2.3.	WinCC Flexible Siemens	14
2.2.4.	Simatic S7 (Step 7).....	14
2.2.5.	Lenguaje de programación.....	15
3.	METODOLOGÍA.....	16
3.2.	Selección y configuración PLC S7 300.	17
3.3.	Algoritmo de programación KOP.	19
3.4.	Diagrama de flujo Modo Automático.....	22
3.5.	Modo manual	24
3.6.	Modo automático.....	24
3.7.	Diseño interfaz gráfica (HMI).	24
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1.	Pantalla de Inicio Proceso PTAP.	29

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2. Sistema de dosificación de insumos químicos.	30
Se realizó control de las siguientes variables:.....	30
4.3. Sistema de floculación.....	31
Se realizó control de las siguientes variables:.....	31
4.4. Sistema de sedimentación.	32
Se realizó control de las siguientes variables:.....	32
4.5. Sistema de filtración.....	33
Se realizó control de las siguientes variables:.....	33
4.6. Sistema de desinfección.....	34
Se realizó control de las siguientes variables:.....	34
4.7. Listado de avisos o fallas del sistema.....	35
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.	38
5.1. Trabajo futuro	39
REFERENCIAS	40
APÉNDICE.....	42

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países del mundo con mayor cantidad de ecosistemas que producen agua (sin incluir los mares) que podría distribuirse a la población y a la industria, por ende, es necesario contar con PTAP para tratar el agua de manera que pueda ser apta para el consumo humano. Embalses como el de Rionegro (Antioquia) que maneja una capacidad de ingreso de agua de 195 L/s, no cuentan con sistemas de control avanzado que garantice procesos eficientes y seguros, por lo que se deben implementar tecnologías modernas y dejar de hacer en forma artesanal el proceso que constituye la potabilización de agua.

Atendiendo a la problemática, se diseñó un sistema automático centralizado que permite supervisar y manipular (Electroválvulas de entrada, de salida, de desagüe tanques, Bombas dosificadoras de químicos y Moto reductor) además, de sensores (Volumen tanques, Caudalímetros y Turbiedad) encargados de suministrar la información de diferentes medidas físicas que se presentan dentro de una PTAP.

Teniendo como referencia la PT de Rionegro (Antioquia), se localizaron las características necesarias a nivel de control que no se tienen en cuenta para el manejo automático de esta planta, en los cuales se evidenciaron válvulas, compuertas y bombas dosificadoras netamente manuales, haciendo que el operario se desplace para poder realizar la activación o desactivación de dichos dispositivos, además de visualizar físicamente el comportamiento de toda la planta, lo que genera un proceso ineficiente.

Para el diseño del sistema automático se integraron dos programas que pueden interactuar entre ellos (Simatic S7 y WinCC Flexible), son los encargados de vigilar y controlar el estado en que se encuentra cada dispositivo dentro del sistema. Se elaboró el algoritmo de control teniendo en cuenta las variables que intervienen en el proceso de potabilización y se diseñó la PTAP a través de interfaz gráfica o pantalla HMI, donde se visualiza el funcionamiento de todo el proceso teniendo la posibilidad de observar el comportamiento de cada dispositivo, incluyendo los posibles errores o fallas que puedan presentar. De igual manera, dentro de la programación se puede interactuar con

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

el programa y pasar de modo automático a modo manual para que el operario pueda manipular los dispositivos a voluntad propia.

Teniendo en cuenta las necesidades generadas por este proyecto, se plantearon los siguientes objetivos.

1.1. Objetivo general

Diseñar un sistema automatizado para el tratamiento del agua potable mediante un autómatas programable.

1.2. Objetivos Específicos

- Generar el algoritmo de programación en lenguaje KOP para la adquisición y ejecución de variables a intervenir.
- Diseñar mediante un sistema SCADA el proceso completo del manejo de cada una de las variables en un sistema de potabilización de agua.
- Simular el diseño propuesto en los softwares Simatic S7 y WinCC Flexible.

1.3. Organización del trabajo

Este trabajo se dividió en cinco secciones que describen el diseño de un algoritmo para controlar las posibles variables de una PTAP. La primera sección corresponde a la introducción, donde se contextualiza el desarrollo de un proyecto automático para una PTAP.

En la segunda sección se encuentran los conceptos para la implantación del proyecto, como son los tipos de software utilizados para el diseño del algoritmo.

La tercera sección corresponde a la metodología implementada en el diseño del algoritmo, donde se hace uso de los softwares Simatic S7 (PLC) y WinCC Flexible (Pantalla HMI) para realizar la programación en lenguaje KOP y su respectiva simulación.

En la cuarta sección se describen los resultados obtenidos en las secciones anteriores, mostrando los beneficios de la posible implementación de sistemas autómatas en plantas de tratamiento que trabajan de forma manual.

La sección cinco corresponde a las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Dado que el objetivo central de este análisis es el diseño de un algoritmo para el control de una PTAP, es preciso aclarar algunos conceptos. Es adecuado comenzar mencionando que la gran mayoría de plantas de tratamiento de agua de tamaño significativo como la Ayurá (Medellín Antioquia) maneja 5.000 L/s (Organización panamericana de salud, 1972) y cuentan con sistemas de control automatizado, esto hace que nos enfoquemos en plantas de pequeño y mediano tamaño como en este caso la planta de Tratamiento de La Fe que maneja un caudal de 65 L/s (Aguas del oriente antioqueño S.A.S, 2011).

Debido a la globalización y avances tecnológicos, se hace necesario que las plantas de tratamiento de agua entren en modernización para obtener un proceso centralizado de la información. En nuestro medio es común encontrar PTAP operadas manualmente, dado que estos se realizan basándose en la experiencia de operarios, lo que no garantiza la eficiencia del tratamiento. Por lo anterior sería idóneo implementar sistemas automáticos para el control de proceso en PTAP con lo que se puede aumentar la calidad del agua tratada.

2.1. Tratamiento

De acuerdo con (Rojas, 2015) el incremento del uso de agua potable está creciendo exponencialmente, haciendo que el número de plantas de tratamiento hagan de igual manera. Para garantizar que este recurso hídrico presente las normas necesarias para ser potable (social, 2007), se hace necesario que cumpla con el proceso básico que ya se encuentra establecido en la Figura 1.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La Figura 1. Muestra la estructura de los subprocesos para una PTAP.

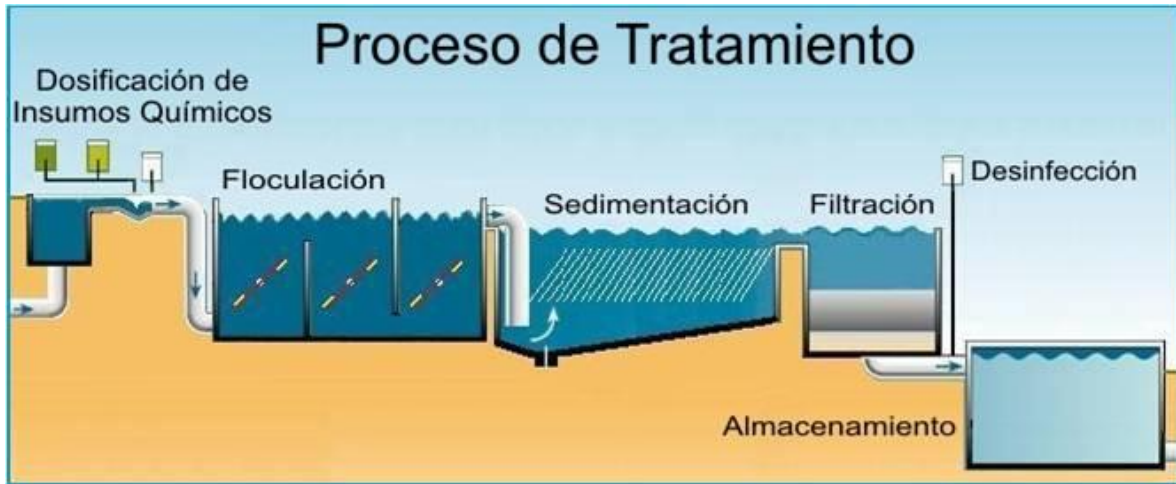


Figura 1. Proceso de una planta de tratamiento de agua potable

Fuente: (Rojas, 2015) fecha de consulta 25/09/2016

2.1.1. Dosificación de insumos químicos

El pre tratamiento consiste en la dosificación de insumos químicos, con el fin de comenzar a realizar el aclaramiento, reducción de olores y sabor en el agua. El suministro de estos químicos se realiza dependiendo del flujo de agua y turbiedad.

2.1.2. Coagulación – floculación

La floculación es un sub proceso que consiste en la dosificación de coagulante al agua para lograr que las partículas en suspensión se vuelvan más grandes, este ciclo de mezclado se genera al agitarse el agua por medio de un moto reductor con hélice (Celator), provocando que las partículas, se vayan acumulando en el fondo del tanque reduciendo la turbiedad en el agua, para posteriormente dirigirse a la siguiente etapa del proceso.

2.1.3. Sedimentación o decantación

En esta etapa se filtra el agua atrapando parte de los lodos que no alcanzaron a ser evacuados en la floculación a través de un cedazo que disminuye la turbiedad, permitiendo así que el agua siga su curso a un proceso de clarificación estricto.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1.4. Filtración

El agua proveniente de la sedimentación aun contiene partículas en suspensión que deben retirarse por un medio filtrante, compuesto de materiales granulares capaces de retener partículas minúsculas que contaminan el agua, clarificando el agua y llevándola a la siguiente etapa.

Los medios filtrantes más conocidos son la arena y el carbón activado granular. El carbón activado es un químico utilizado para comenzar etapa de aclaramiento además de ayudar con la filtración, también proporciona adsorción de sustancias orgánicas, evitando olores y sabores en el agua.

2.1.5. Desinfección

La etapa final del proceso de potabilización de agua es la desinfección, esta garantiza la eliminación de organismos que pueden afectar la salud. Estos parásitos generan enfermedades conocidas como el tifus, hepatitis, cólera entre otras y por esta razón radica la importancia de una buena etapa de desinfección.

2.2. Automatización

El principio de la automatización, consta de tomar procesos manuales o mecánicos y adaptarlos a sistemas de control que garanticen un excelente desempeño en la realización de tareas definidas. De esta forma con sistemas autómatas y programaciones precisas, se minimizan los costos y los reprocesos generando agilidad en la obtención de resultados para el producto final.

Según (Rocatek, 2010), el manejo de la tecnología informática combinado con los mecanismos industriales y sus procesos, pueden ayudar con los diseños e implementaciones de sistemas de monitoreo y control. Una de las herramientas más importantes y evolucionadas para el desarrollo de un sistema de control industrial es un PLC. La Interfaz hombre-máquina (HMI) o interfaces hombre PC, se utilizan para conectarse con los PLC's y otros dispositivos. El personal de asistencia se encarga del seguimiento y control del proceso a través de la interfaz visual HMI, en donde no solo puede ver el estado actual del proceso, sino también realizar modificaciones a variables críticas del proceso.

2.2.1 PLC

Las siglas PLC se conocen en inglés como controlador lógico programable (Programmable Logic Controller). Según (Rocatek, 2010) el PLC se considera a nivel industrial como un PC de alto

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

rendimiento capaz de proporcionar confianza en un entorno industrial. Estos dispositivos de control industrial pueden brindar soluciones a entornos de trabajo, además de ofrecer recursos basados en la programación que puede tener diferentes niveles de complejidad, el PLC debe ser programado por personal experto que debe conocer el medio que desea automatizar para poder desarrollar el algoritmo de control idóneo capaz de generar resultados que justifiquen la automatización dentro de un proceso de producción o manejo de maquinaria.

En la Figura 2 se muestra un PLC con las partes que lo componen.

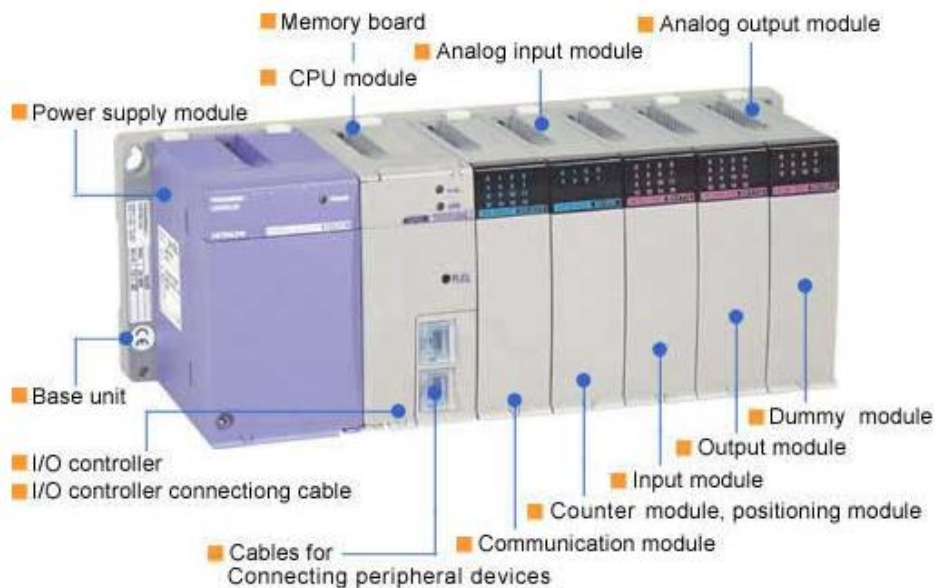


Figura 2. PLC y sus partes

Fuente: (Rocatek, 2010) fecha de consulta 25/09/2016.

2.2.2. Pantalla HMI

De acuerdo (WONDERWERE, 2013) la interfaz hombre-máquina (HMI), es simplemente la manera en que los humanos interactúan con las máquinas. Es una pantalla asistida por un ordenador en la cual se pueden visualizar los procesos con el fin de poder controlarlos de forma cómoda.

A continuación, En la Figura 3 se muestra la pantalla HMI marca siemens.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

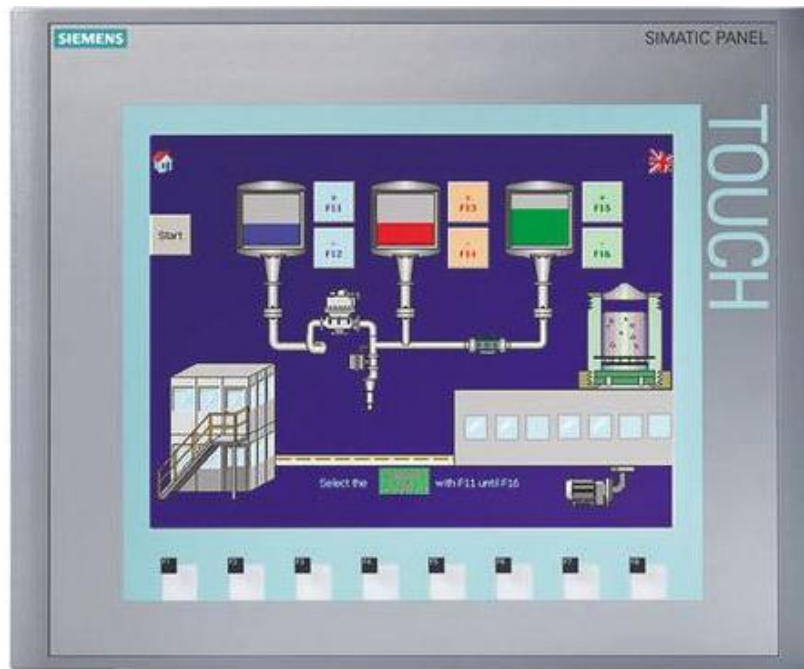


Figura 3. Pantalla HMI

Fuente: (RS, 2017) fecha de consulta 25/09/2016

2.2.3. WinCC Flexible Siemens

WinCC Flexible es un programa que presenta opciones en el manejo y visualización de procesos que se deseen manipular en los entornos industriales por medio de una pantalla HMI. Esta herramienta posee un sistema capaz de emitir avisos que muestran eventos generados dentro del control de una automatización, además de proporcionar recetas, alarmas y animación de componentes.

Este software puede interactuar con Simatic S7 en el manejo adecuado y preciso de la información que debe ser utilizada para el monitoreo de cualquier tipo de sistema automático, además de tener la capacidad para el almacenamiento de archivos en el manejo de procesos (Automatas Industriales, 2006).

2.2.4. Simatic S7 (Step 7)

Este sistema maneja varios lenguajes de programación conocidos como KOP, FUP y AWL (Siemens, 2017). También presenta infinidad de tareas que se pueden realizar en la automatización que van desde como encender una lámpara, hasta complejas como automatizar maquinaria industrial.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.5. Lenguaje de programación

Según (Morales, 2014), un lenguaje es básicamente la programación de un sistema estructurado de comunicación capaz de realizar tareas y copiar al ser humano, brindando la posibilidad de solucionar problemas cotidianos basados en la comunicación por medio de signos, palabras, sonidos o gestos. Este código se realiza siguiendo secuencias lógicas de programación que den solución al problema y que a su vez interprete las instrucciones que debe ejecutar.

Con la programación podemos generar un conjunto de comandos que se ejecutan ordenadamente para realizar tareas definidas en base a un proceso determinado. Estos comandos o instrucciones se conocen como “código fuente”, el cual presenta un propósito definido en el establecimiento de un programa. Hoy en día, se encuentran un sin número de lenguajes de programación que presentan diferentes clasificaciones, como son:

Lenguajes de programación de bajo nivel, se diseñan exclusivamente para el control de hardware de un dispositivo específico, también llamado lenguaje de máquina. Generalmente se utilizan para tareas como reproducción de audio o video, mostrar imágenes, realizar operaciones matemáticas, movimiento del puntero, asignación, liberación de memoria, entre otras.

Los Lenguajes de programación de alto nivel, son aquellos parecidos al razonamiento humano que manejan con gran destreza la lógica difusa. No dependen de la máquina y sirven principalmente para crear programas informáticos que puedan solucionar distintos tipos de necesidades, además permiten adaptar sistemas con diferentes niveles de complejidad brindando infinidad de alternativas dependiendo del problema a tratar (Morales, 2014).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Para dar solución al problema y alcanzar los objetivos, se decidió desarrollar la siguiente metodología para diseñar el sistema automático y comprender mejor el proceso en una PTAP.

3.1. Reconocimiento de las condiciones y estructura de una (PTAP).

Después de analizar las condiciones críticas encargadas de generar inconsistencias en la actividad de una PTAP, se propusieron las siguientes etapas:

- Entender a fondo el proceso por el que debe pasar el agua dentro de una PT, para ello se recopiló información a través de diferentes medios de investigación (Libros, bases de datos) (Academia Nacional de Ciencias, 2007), además de realizar una visita física a la planta de tratamiento del Rionegro Antioquia, donde se presenciaron las condiciones de funcionamiento de los dispositivos mecánicos que la conforman.
- De acuerdo a las necesidades que se encontraron para plantas de tratamiento no automatizadas, se puede evidenciar que sus dispositivos manuales son: bombas dosificadoras, válvulas tipo compuerta y moto reductores, estos son controlados directamente por operarios en el momento que el proceso se encuentre activo, generando ineficiencia en la manipulación de sus componentes y pérdida deliberada de otras actividades que se ven involucradas (suministros de químicos y tiempos muertos de operarios y costos de operación). Ver Figuras 4 y 5.



Figura 4. Dosificadores y moto reductor (Celator) manuales PTAP Rionegro Antioquia.

Fuente: Propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 5. Válvulas tipo compuertas manuales PTAP Rionegro Antioquia.

Fuente: Propia.

3.2. Selección y configuración PLC S7 300.

Para este caso se seleccionó el PLC S7 300 de Siemens con una CPU 314 C-2 DP, el cual es conocido a nivel industrial y en la institución universitaria. Al tener un programa compatible con WinCC Flexible genera un acoplamiento sencillo, haciendo más dinámico la elaboración del proyecto para la PTAP.

En la simbología utilizada para la automatización de la PTAP, se tuvieron en cuenta señales analógicas y digitales necesarias para la ejecución de los diferentes procesos del sistema por intermedio del PLC. Para ello tenemos las variables predefinidas como en este caso las marcas (M), que fueron utilizadas en este proyecto para ser almacenadas y gestionadas por los bloques DB.

Al declarar las variables en la simbología del PLC es necesario tener en cuenta el tipo de dato que se desea manejar y su respectiva dirección, siendo esto de vital importancia a la hora de desarrollar el algoritmo de programación. A continuación, se especifica algunos tipos de datos que se manejaron en nuestra planta de tratamiento.

- Bit que corresponde a un tipo de dato Booleano (BOOL) que se almacena en marcas (M 0.0 hasta M 0.?).
- Word o Palabra utilizada en datos enteros (INT) y guardado en marcas (MW ?) que puede guardar hasta 16 Bits.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Doble palabra manejada para datos reales y se almacenaron en (MD ?) con una capacidad de memoria de hasta 32 Bits.

En la Figura 6 se pueden ver parte de la simbología utilizada:

124	Hay Falla_nivel_min_T3	M	14.7	BOOL	
125	Hay Falla_nivel_max_T4	M	15.0	BOOL	
126	Hay Falla_nivel_min_T4	M	15.1	BOOL	
127	Hay falla_nivel_max_T5	M	15.2	BOOL	
128	Hay Falla_nivel_min_T5	M	15.3	BOOL	
129	Marca de ciclo 0	M	250.0	BOOL	
130	Marca de ciclo 1	M	250.1	BOOL	
131	marca de ciclo 2	M	250.2	BOOL	
132	Marca de ciclo 3	M	250.3	BOOL	
133	Marca de ciclo 4	M	250.4	BOOL	
134	Marca de ciclo 5	M	250.5	BOOL	
135	Marca de ciclo 6	M	250.6	BOOL	
136	Marca de ciclo 7	M	250.7	BOOL	
137	Entrada de caudal en Di	MD	16	DINT	
138	Caudal de entrada en R	MD	20	REAL	
139	Caudal de int en sñ real	MD	30	REAL	
140	Caudal Real T1	MD	44	REAL	
141	nivel_actual_T1	MD	48	REAL	
142	setpoint_lo_nivel_T1	MD	52	REAL	nivel bajo
143	setpoint_hi_nivel_T1	MD	56	REAL	
144	nivel_actual_T2	MD	60	REAL	
145	Caudal Real T2	MD	72	REAL	
153	nivel_actual_T4	MD	120	REAL	
154	setpoint_lo_nivel_T4	MD	124	REAL	
155	setpoint_hi_nivel_T4	MD	128	REAL	
156	Caudal real T5	MD	138	REAL	
157	nivel_actuel_T5	MD	146	REAL	
158	setpoint_lo_nivel_T5	MD	150	REAL	
159	setpoint_hi_nivel_T5	MD	154	REAL	
160	Módulo de falla 1	MV/V	6	INT	
161	Módulo de falla 2	MV/V	12	INT	
162	Módulo de falla 3	MV/V	14	INT	
163	Caudal de int en sñalog	MV/V	26	INT	
164	Caudal de entrada	MV/V	166	INT	
165	Velocidad motor	MV/V	168	INT	
166	Nivel de rebbose	MV/V	170	INT	
167	Nivel de rebbose del T5	MV/V	172	INT	
168	val_dosif_cA_T1	MV/V	180	INT	
169	val_dosif_ZA_T1	MV/V	182	INT	
170	val_dosif_cuag_T2	MV/V	184	INT	
171	val_dosif_desif T5	MV/V	186	INT	
172	Bloque central	OB	1	OB	1
173	Motor ON/OFF	PAW	256	INT	
174	Frecuencia motor	PAW	258	INT	

*Variables con 1 Bit
"Booleanas" (0 / 1)*

*Variables de 32 Bits
tipo "doble Word"*

*Variables con 16 Bits
tipo "Word"*

Figura 6 Simbología 1.

Fuente: Propia.

La simbología completa que se necesitó para este proyecto se encuentra en el apéndice (Figura 1A) donde se puede identificar el uso de las variables con mayor claridad.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3. Algoritmo de programación KOP.

En la elaboración del algoritmo se utilizó una técnica de ensayo y error, con la que paso a paso se fueron diseñando los segmentos que conformaron los bloques utilizados en el sistema (ver Figura 1B apéndice). Para ello se manejaron variables analógicas y digitales que fueron necesarias para controlar cada subproceso, obteniendo eficiencia con respecto a la visualización y control de la PTAP en su simulación. La mayoría de señales utilizadas fueron booleanas (control “ON” – “OFF”) para manipular las válvulas (de entrada y suministro de agua, de desagüe de lodos) provistas en cada tanque, además de señales analógicas de las bombas dosificadoras y el moto reductor (Celator).

El control utilizado en la PTAP funciona de la siguiente manera:

3.3.1. Paso 1.

Se deben tener inicialmente las cuatro condiciones siguientes para poder arrancar la simulación en el PLC:

- Se pulsa o selecciona el inicio.
- Manejar un caudal de agua de 9 a 199 L/s (parámetro establecido en nuestro programa que podrá ser cambiado a solicitud del usuario donde se desee implementar)
- Se ingresan los porcentajes de dosificaciones de químicos que pueden ir de 0.01 a 0.9 L/s y estos serán suministrados por el laboratorio.
- Se activa modo manual o automático.
- El Sensor de volumen mínimo T1 en posición “ON”.

3.3.2. Paso 2.

Al tener las condiciones antes mencionadas se da comienzo al llenando del T1 de Dosificación de Químicos abriendo la electroválvula “entrada agua” y activando las bombas dosificadoras (carbón activado y sulfato de aluminio), cuando el agua toque el sensor de volumen máximo en T1 cambiara de estado “OFF” a “ON”, el programa verifica que la condición de volumen mínimo de T2 se encuentre en “ON”.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.3.3. Paso 3.

Cuando se presente la condición, sensor de volumen máximo T1 y mínimo T2 activos, automáticamente la electroválvula “entrada de agua” se activa en el T2 de Floculación en conjunto con la bomba dosificadora (coagulante) iniciando el llenado, cuando el volumen del tanque 2 se encuentre entre 9.000 / 9.200 litros se da comienzo al giro del moto reductor (Celator) que tendrá una velocidad de 50 RPM, este se mantendrá girando siempre y cuando el volumen del tanque se mantenga entre 9.000 / 19.320 litros. Al llegar el agua al volumen máximo en T2 y cambiar de estado “OFF” a “ON”, el programa verifica que la condición de volumen mínimo de T3 se encuentre en “ON”.

3.3.4. Paso 4.

Al estar activos los sensores de volumen máximo T2 y mínimo T3, se comienza el proceso de activación de la electroválvula “entrada de agua” del T3 de Sedimentación permitiendo el llenado, al tener este 19.300 litro y el sensor de volumen máximo cambie de estado “OFF” a “ON”, el programa verifica que la condición de volumen mínimo de T4 se encuentre en “ON”.

3.3.5. Paso 5.

En T4 (**Filtración**), se manejan condiciones iguales a las del paso 4, ya que solo se activan válvulas de entrada y desagüe teniendo en cuenta el cambio de estado de los sensores de volumen de agua.

3.3.6. Paso 6.

Para que T5 (**Desinfección**) entre en secuencia activando la electroválvula de entrada de agua y la bomba dosificadora de Cloro , se hace necesario que los sensores encargados de suministrar al PLC la información del volumen máximo T4 y mínimo T5 se encuentren en estado “ON” para comenzar el llenado de este, cuando el volumen de agua llegue hasta el sensor volumen alto, el programa se encargara de parar el proceso de todo el sistema, para que no se generen desbordamientos de tanques, dosificaciones inadecuadas o mal funcionamiento de los actuadores que lo componen, además T5 cuenta con una bomba de suministro conectada a la red de distribución que abre manualmente. En este sistema las bombas de desagüe se activan automáticamente durante 3 segundos con un intercalo de espera de 30 min.

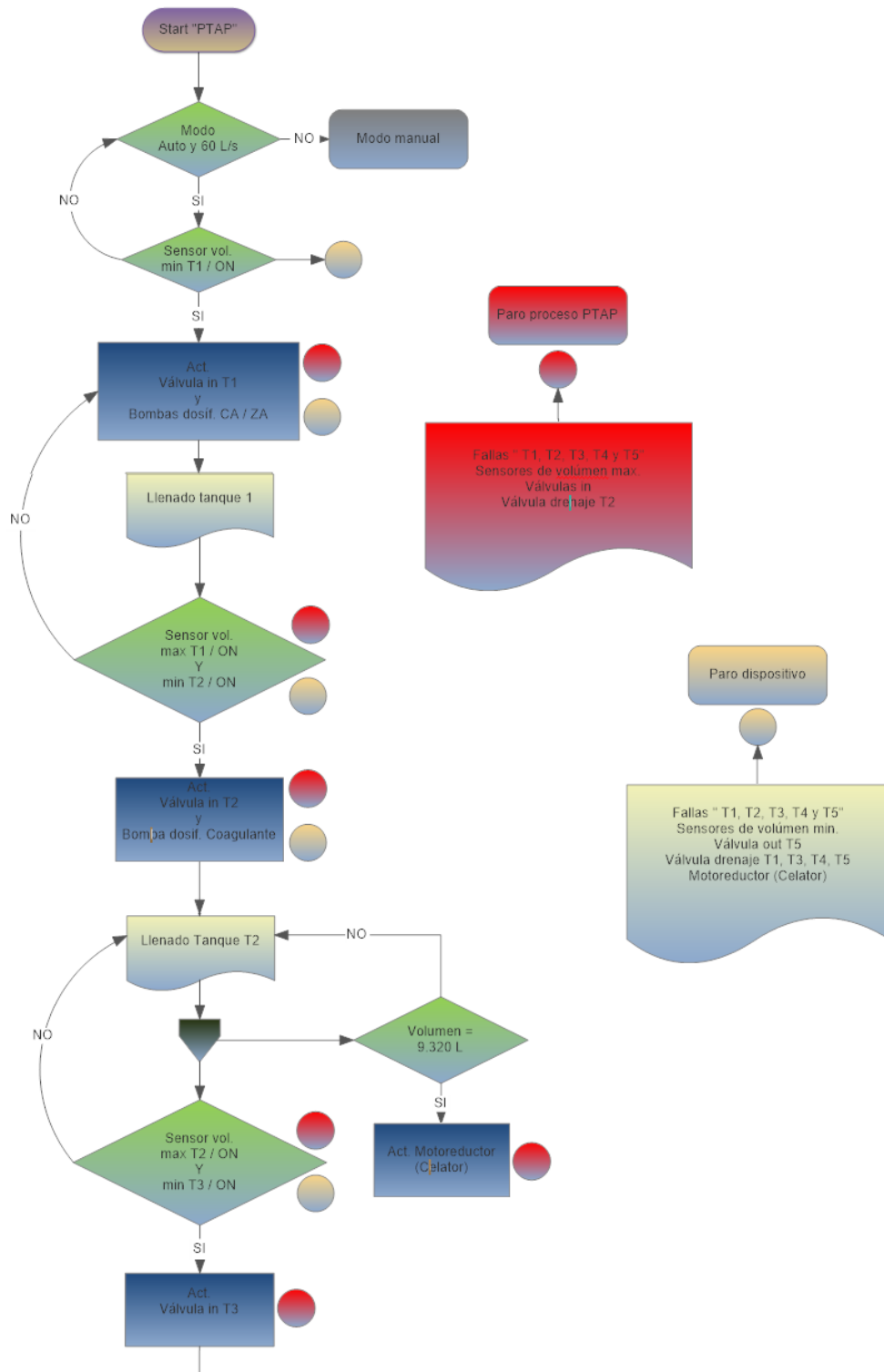
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El programa Step 7 cuenta con un sistema operativo que se adecua a este proyecto, en que se decidió utilizar el lenguaje de programación KOP en vez de AWL o FUP, por ser de fácil interpretación y manejo en la estructuración de cada uno de los bloques (algoritmo) que conforman el sistema, a continuación, se mencionan cada uno de los bloques utilizados.

- Bloque principal OB1: encargado de ejecutar la programación seleccionada por el usuario, utilizando los diferentes bloques mencionados a continuación.
- Bloques secundarios FC: en estos se diseña el algoritmo KOP que se estableció para el manejo de las variables de entrada y salida del PLC dentro de cada tanque del sistema de potabilización de agua, que van desde el FC1 a FC5 (Modo Automático) y FC6 a FC10 (modo Manual).

En La Figura 7 se muestra el diagrama de flujo en donde se encuentra todo el funcionamiento del sistema en modo automático, para poder ver una parte importante del Algoritmo de programación KOP utilizado en este proyecto, se mostrarán los bloques OB1 y FC2 donde se tiene la mayor cantidad de variables utilizadas, encontrando que los demás bloques (FC1, FC3 al FC5 automático y del FC6 al FC10 manual) presentan variables de operación iguales. Para evidenciar el funcionamiento de estos dos bloques el lector puede mirar las Figuras del apéndice B.

3.4. Diagrama de flujo Modo Automático.



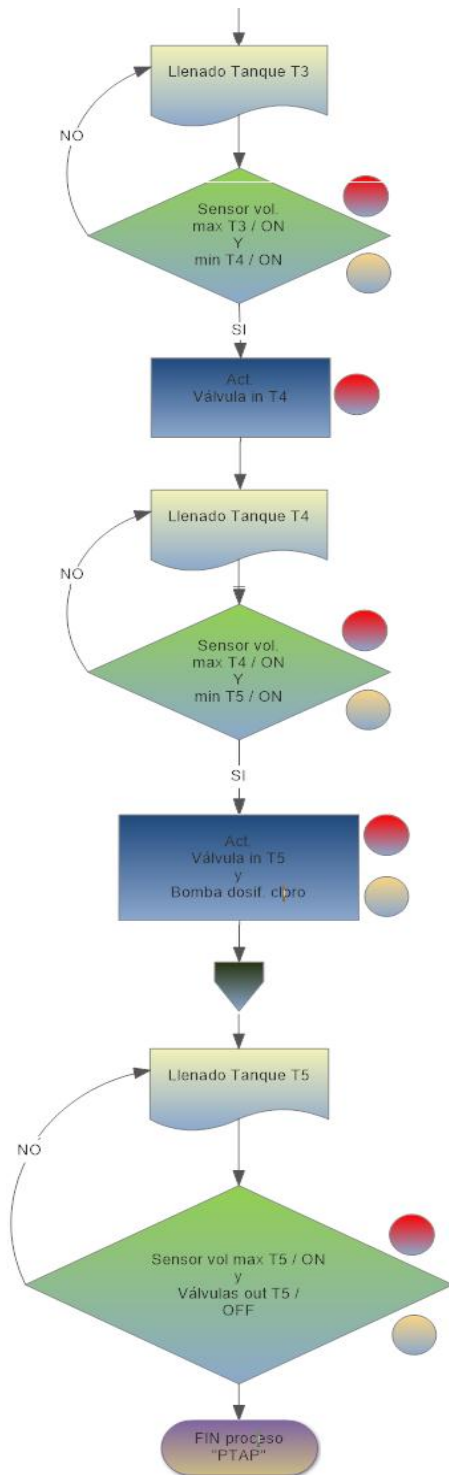


Figura 7. Diagrama de flujo modo automático.

Fuente: Propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Dentro del diseño del algoritmo, se presentan dos modos de operación los cuales hacen funcionar el sistema de la siguiente manera:

3.5. Modo manual

Este modo permite al usuario realizar cualquier maniobra directa dentro del proceso, utilizando cada una de las características (Supervisión, control y adquisición de datos) que proporciona el sistema SCADA. En este caso, utilizando los pulsadores (Modo manual) configurados dentro de cada subproceso que se visualiza en las pantallas HMI, se garantiza el funcionamiento manual del control de la PTAP, además de ser útiles a la hora de realizar mantenimientos o reparaciones en cualquier punto del sistema.

3.6. Modo automático

En este modo se trabaja el sistema de una manera diferente, determinando una secuencia lógica de programación entre el algoritmo y la funcionalidad de la pantalla HMI, facilitando la interacción hombre-máquina en la que el usuario está en la capacidad de tomar decisiones necesarias para el buen desempeño del programa, iniciando desde la selección manual-auto hasta suspender totalmente el sistema. Para ello se deben tener en cuenta las variables de medición que suministran los sensores (caudal, nivel de tanques, no fallas) e igualmente tener los demás dispositivos (Electroválvulas entrada y distribución de agua, de desagüe de lodos, bombas dosificadoras, moto reductor, no fallas) en perfecto estado y operando, teniendo claro que solo es necesario que la persona encargada presione el botón de “inicio”, y que se garanticen las condiciones iniciales mencionadas en la sección 3.3.1. Paso 1.

3.7. Diseño interfaz gráfica (HMI).

Con la ayuda del software WinCC Flexible, se puede reflejar a través de una Interfaz gráfica la facilidad con que el operario puede interactuar con los diferentes dispositivos del sistema en una PTAP sin estar en contacto directo. Esta interfaz presenta un vínculo directo con el PLC, donde se puede ver en tiempo real el funcionamiento de todas las variables que conforman el proceso de potabilización de agua.

En las Figuras de 8 a 12 se muestran los pasos más importantes del diseño y configuración de la pantalla MP 377 15” Touch en WinCC Flexible Advance, para el monitoreo e interacción con el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

sistema, también los pasos utilizados en el desarrollo del entorno para la simulación de sistema de control y supervisión en la PTAP.

Se utilizó una pantalla MP 377 15" touch, que aporta mejores prestaciones al momento de visualizar y manejar la PTAP por su tamaño, además de las propiedades que preste WinCC Flexible. Ver Figura 8 y 9.

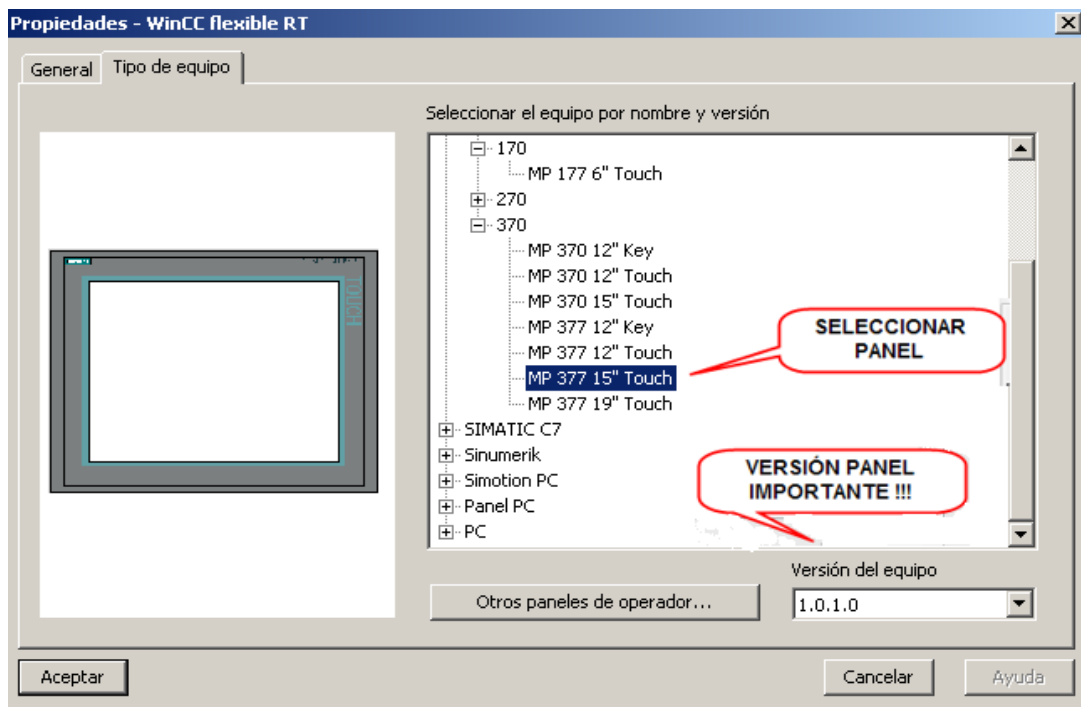


Figura 8. Inicio configuración HMI.

Fuente: (Siemens, 2010)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

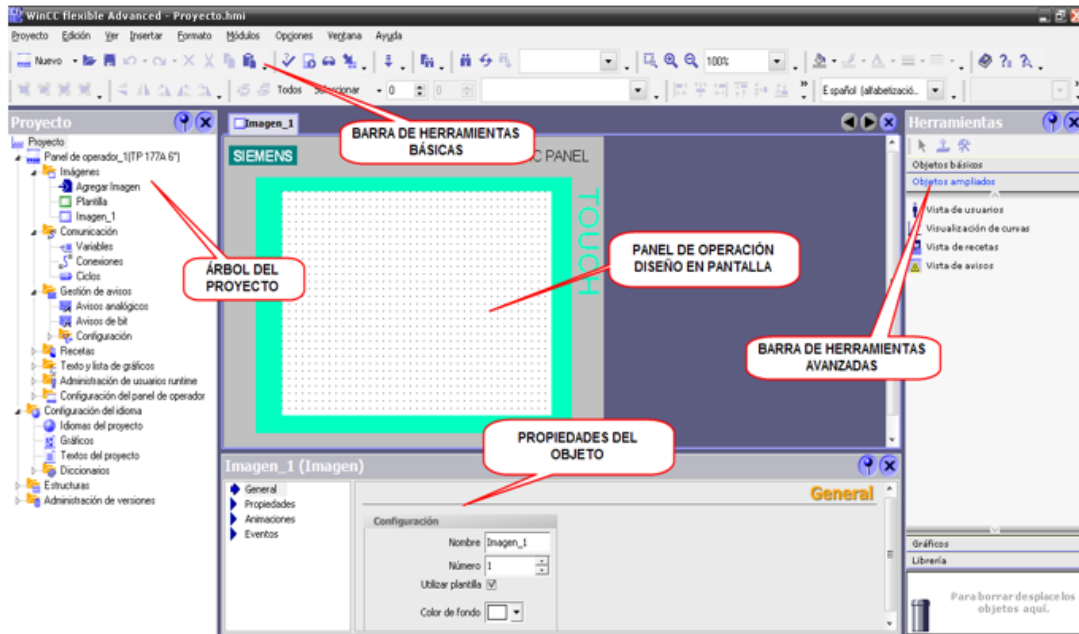


Figura 9. Inicio configuración HMI.

Fuente: (Siemens, 2010).

En el listado de herramientas, se seleccionan los diferentes medios para crear el entorno de cada proceso como en este caso la potabilización de agua tales como: Sensores, pilotos, válvulas, bombas dosificadoras y tanques. Ver Figuras 10 y 11.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

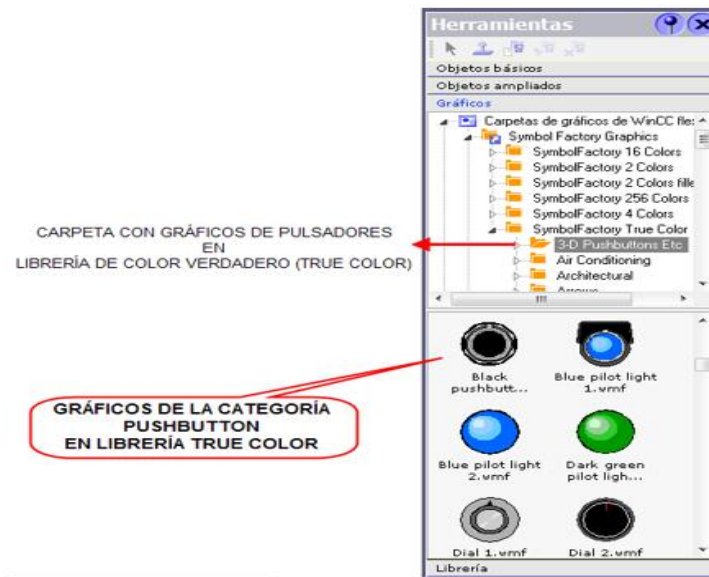


Figura 10. Configuración de HMI con asistente.

Fuente: (Siemens, 2010)

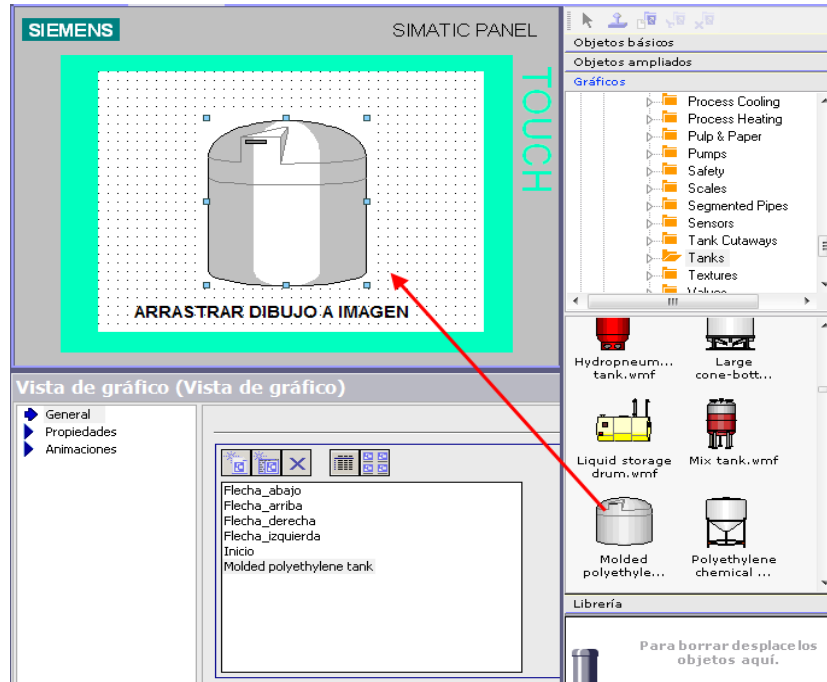


Figura 11. Configuración de HMI con asistente.

Fuente: (Siemens, 2010).

Con la interfaz finalizada se realizó la conexión entre la pantalla y el PLC lo cual se visualiza la Figura 12, con el fin de enlazar las variables usadas en la programación KOP con las variables locales de la pantalla.

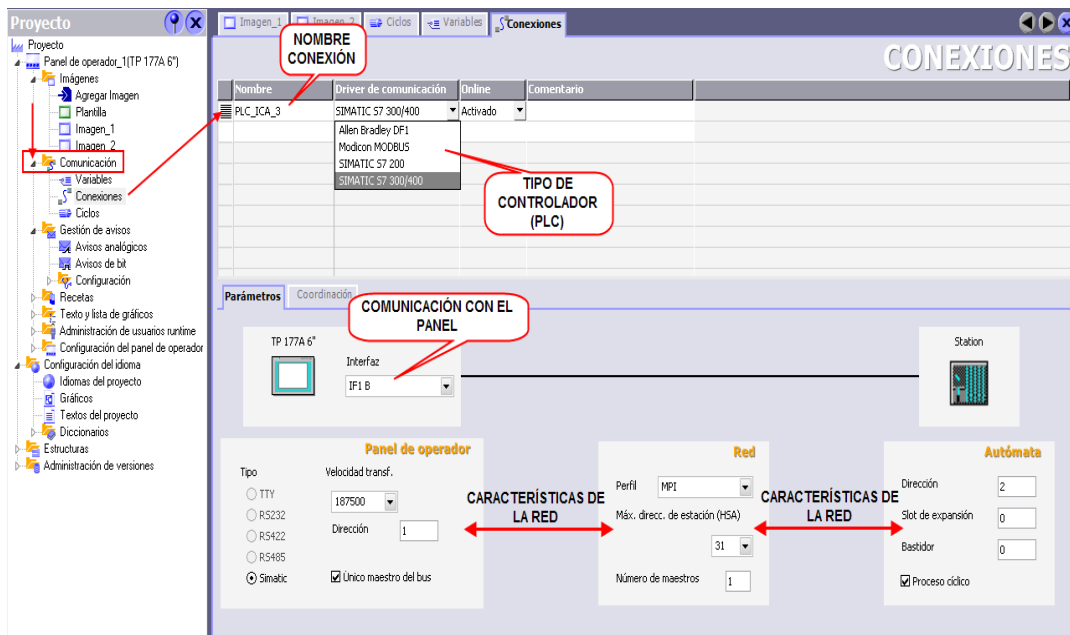


Figura 12. Configuración entre Step 57 y WINCC Flexible.

Fuente: (Siemens, 2010).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El trabajo desarrollado corresponde a la automatización de una PTAP, incluyendo todos los sub procesos, además cuenta con la posible implementación de esta programación en las diferentes plantas de tratamiento. La operación de automatización se realiza de forma automática o manual, considerando la posibilidad de realizar mantenimientos y verificación del funcionamiento de los diferentes dispositivos que componen el proceso en caso de ser implementada.

El resultado final del proyecto corresponde a la unión del algoritmo de control y la interfaz de usuario, mostrando de forma completa el funcionamiento y comportamiento generado por las variables controladas. A continuación, se mostrará el resultado final obtenido mediante varias simulaciones siendo este el esperado por el sistema SCADA. Ver Figuras de la 13 a las 19.

4.1. Pantalla de Inicio Proceso PTAP.

Para poder activar el inicio del sistema se deben tener en cuenta las condiciones mencionadas en el apartado 3.3.1, teniendo en cuenta que se puede utilizar en cualquier momento el botón de paro para anular su funcionamiento. Ver Figura 13.



Figura 13. Pantalla inicio proceso PTAP.

Fuente: Propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A través de las pantallas siguientes se maneja la visualización y control de variables que a través de este proyecto se desearon automatizar como son: válvula de entrada de agua, desagüe de lodos y bombas dosificadoras de C.A / S.A, moto reductor (Celator) y válvula de suministro de agua, además de visualizar el funcionamiento de los dispositivos que conforman una PT y poder presenciar la información en tiempo real del estado en que se encuentra cada tanque. Ver Figuras 14 a 18.

4.2. Sistema de dosificación de insumos químicos.

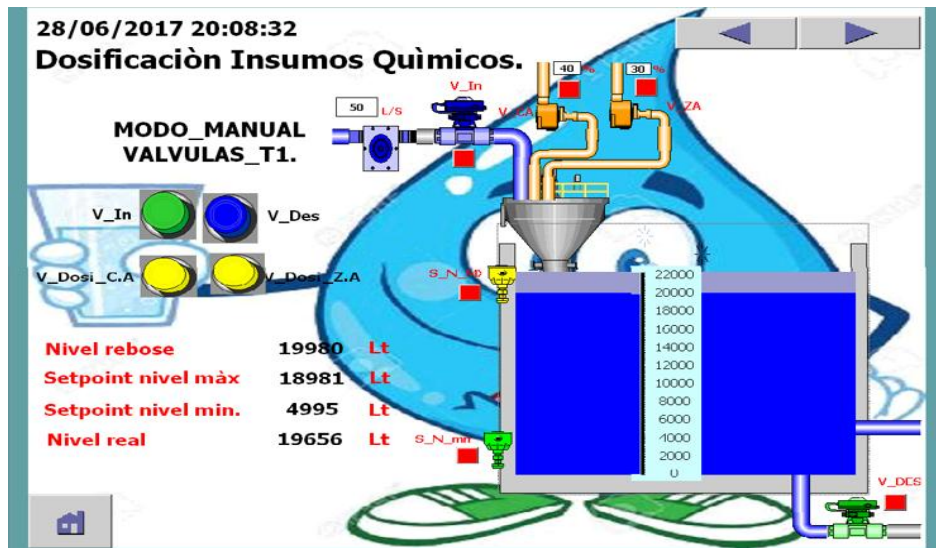


Figura 14. Dosificación de químicos PTAP.

Fuente: Propia.

Se realizó control de las siguientes variables:

- Caudal de entrada.
- Volumen mínimo de agua T1.
- Volumen máximo de agua T1.
- Válvula entrada agua T1.
- Válvula desagüe lodos T1.
- Bomba dosificadora carbón activo.
- Bomba dosificadora sulfato de aluminio.
- Falla válvula de entrada T1.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Falla válvula desagüe lodos T1.
- Falla bomba dosificadora carbón activo.
- Falla bomba dosificadora sulfato de aluminio.
- Falla volumen mínimo de agua T1.
- Falla volumen máximo de agua. T1.

4.3. Sistema de floculación.

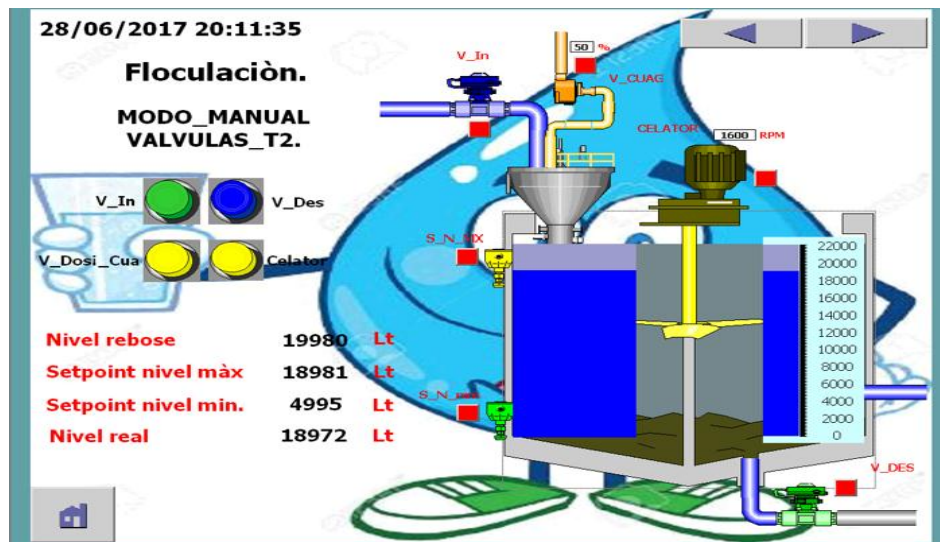


Figura 15. Floculación.

Fuente: Propia.

Se realizó control de las siguientes variables:

- Volumen mínimo de agua T2
- Volumen máximo de agua T2.
- Válvula de entrada T2.
- Válvula de desagüe T2.
- Moto reductora Celator.
- Bomba dosificadora coagulante.
- Falla válvula de entrada T2.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Falla válvula de desagüe T2.
- Falla bomba dosificadora de coagulante.
- Falla volumen mínimo de agua T2.
- Falla volumen máximo de agua T2.

4.4. Sistema de sedimentación.

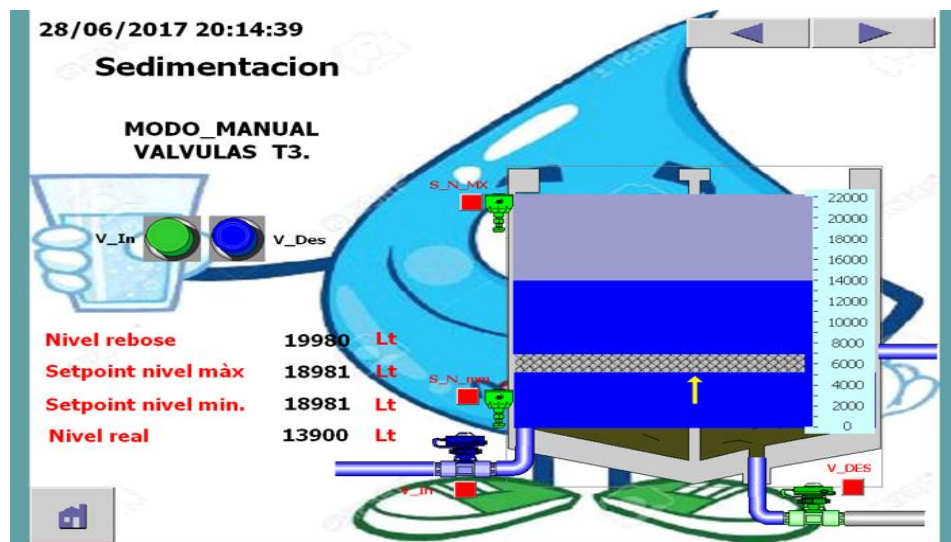


Figura 16. Sedimentación PTAP.

Fuente: Propia.

Se realizó control de las siguientes variables:

- Volumen mínimo de agua T3.
- Volumen máximo de agua T3.
- Válvula de entrada T3.
- Válvula de desagüe T3.
- Falla válvula de entrada T3.
- Falla válvula de desagüe T3.
- Falla volumen mínimo de agua T3
- Falla volumen máximo de agua T3.

4.5. Sistema de filtración.

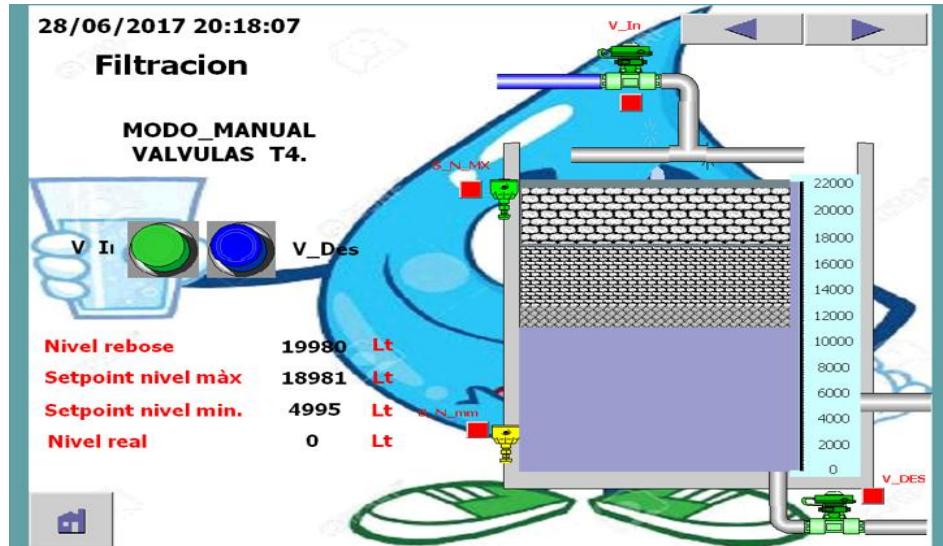


Figura 17. Filtración PTAP.

Fuente: Propia.

Se realizó control de las siguientes variables:

- Volumen mínimo de agua T4.
- Volumen máximo de agua T4.
- Válvula de entrada T4.
- Válvula de desagüe T4.
- Falla válvula de entrada T4.
- Falla válvula de desagüe T4.
- Falla volumen mínimo de agua T4.
- Falla volumen máximo de agua T4.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.6. Sistema de desinfección.

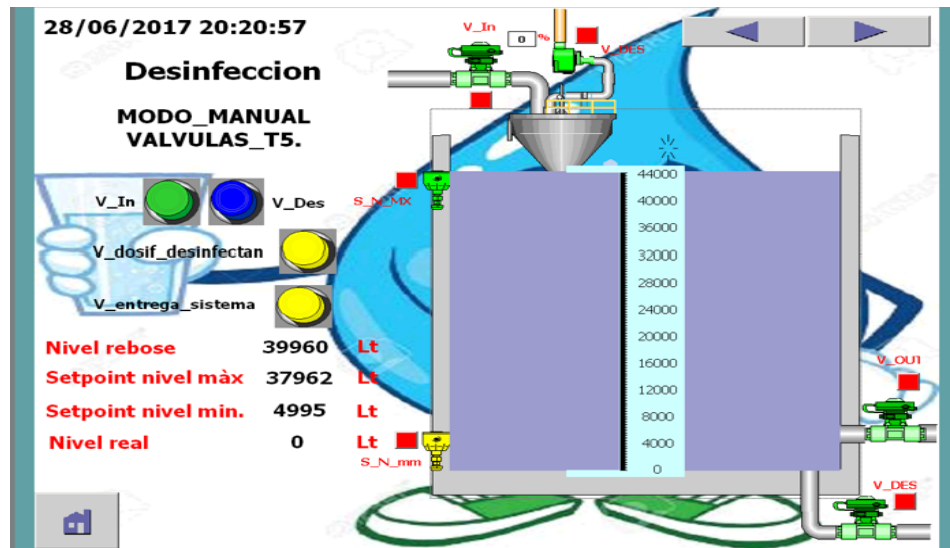


Figura 18. Desinfección PTAP.

Fuente: Propia.

Se realizó control de las siguientes variables:

- Volumen mínimo de agua T5.
- Volumen máximo de agua T5.
- Válvula de entrada T5.
- Válvula de desagüe T5.
- Bomba dosificadora de cloro.
- Falla válvula de entrada T5.
- Falla válvula de desagüe T5.
- Falla bomba dosificadora de cloro.
- Falla volumen mínimo de agua T5.
- Falla volumen máximo de agua T5.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.7. Listado de avisos o fallas del sistema.

Este listado se genera cada vez que se activa una falla, lo que ocasiona que se registre la hora exacta y mostrar el dispositivo que presenta el problema para poder proceder a su diagnóstico y reparación. Ver Figura 19.

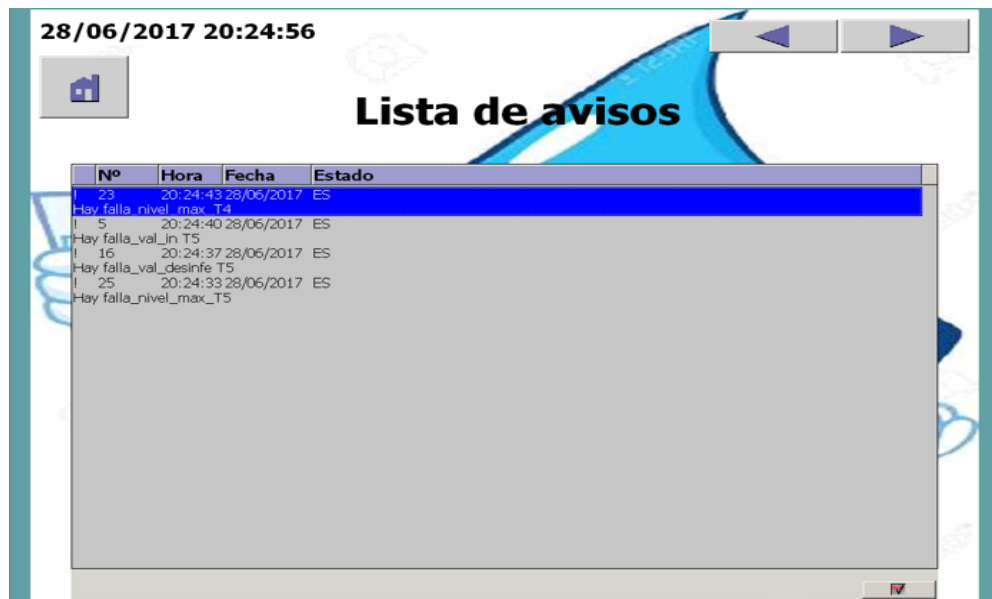


Figura 19. Lista de avisos o fallas del sistema PTAP.

Fuente: Propia.

Se diseñó un programa capaz de simular el funcionamiento real de una PTAP a través de la interacción de dos softwares (Simatic S7 y WinCC Flexible), teniendo una herramienta adaptable a cualquier situación que se presente en la potabilización de agua.

Se llevaron a cabo desarrollo de automatización para la PTAP en tres pasos:

- Se ingresó el algoritmo de programación en lenguaje KOP al PLC, para la adquisición de variables a intervenir. El algoritmo es el núcleo principal del programa utilizado en el desarrollo del proyecto de potabilización. Este algoritmo nos proporcionó de manera ordenada la posibilidad de manipular las variables (Válvulas, Bombas dosificadoras, Moto reductor) a través de la información suministrada por los sensores (Caudal, Turbiedad, Volumen de tanques) ubicados en nuestra PTAP. Ver Figura 20.

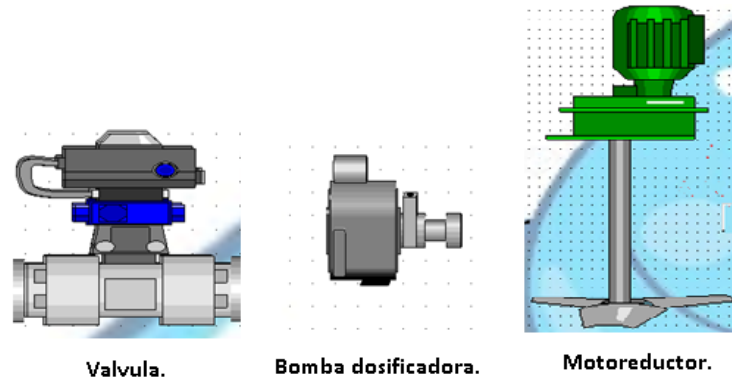


Figura 20. Variables a controlar (válvulas, bombas dosificadoras, moto reductor) PTAP.

Fuente: Propia.

Se diseñó un sistema SCADA que controla las variables en un sistema de potabilización de agua. En este caso por ser un proyecto que no se encuentra implementado y que solo se determinó llegar hasta el funcionamiento de una PTAP simulada, se diseñó una topología de red estándar encargada de manejar diferentes tipos de comunicación (Ethernet, Profibus y MPI), las cuales proporcionan de manera idónea la mejor comunicación dentro del sistema (Figura 21). En esta topología se muestra solo una parte del sistema ya que algunos dispositivos se encuentran repetidos.

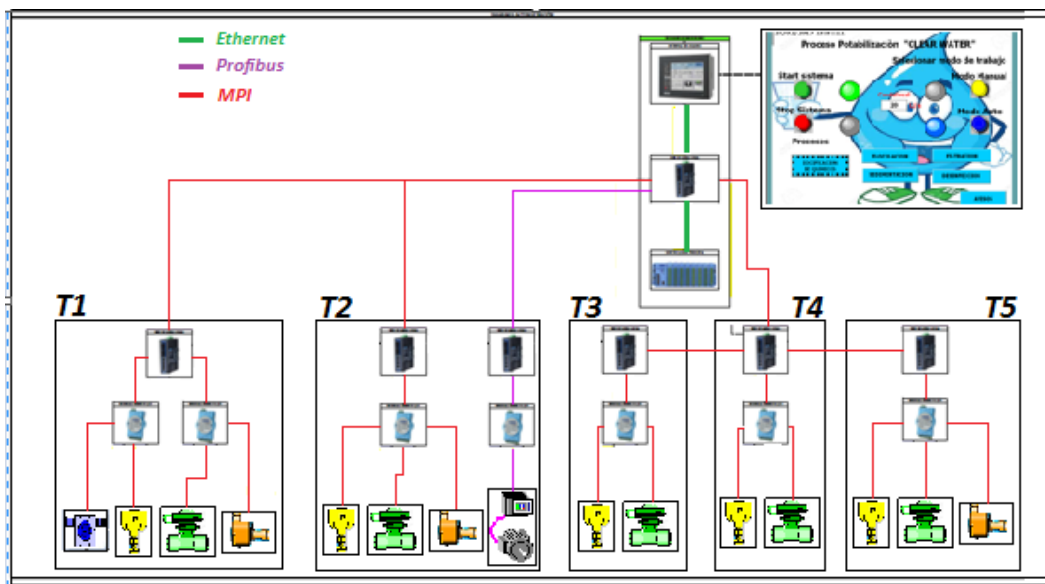


Figura 21. Topología de red PTAP.

Fuente: Propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Se realiza la simulación del diseño de la planta de tratamiento, en la que se visualiza el funcionamiento esperado de todos los dispositivos que la componen, además de presenciar cada una de las etapas que nos ayudan a entender el proceso y así poder verificar los posibles errores y fallas dentro del algoritmo (PLC) o la interfaz de visualización, para así poder realizar mejoras y garantizar un funcionamiento estable del software mediante la pantalla HMI.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.

1. Se diseñó un algoritmo y una interfaz para el control del proceso de la producción de agua potable en una planta de tratamiento, con la finalidad de proporcionar la optimización del proceso, a través de un autómata (PLC), atendiendo las falencias que se presentan actualmente en las plantas de tratamiento de agua potable a pequeña y mediana escala.

2. Al tener un sistema centralizado se evidencia la importancia que este tiene en el proceso de potabilización de agua, garantizando paso a paso un funcionamiento eficiente y además le ofrece al usuario un ambiente amigable en una pantalla HMI teniendo acceso a todo el proceso en tiempo real.

3. Se desarrolló a cabalidad el diseño, construyendo un sistema centralizado de monitoreo y control de cada dispositivo que hace parte proceso de potabilización de agua.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5.1. Trabajo futuro

Como trabajo a futuro se puede implementar dentro del algoritmo procesos para mantenimiento, por ejemplo, un sistema de limpieza de filtros y también un sistema que se encargue de evacuar los lodos que se almacenan en el fondo de los tanques.

La posible implementación del proyecto en una planta de tratamiento que no tenga un sistema de control automatizado y posea las deficiencias especificadas en el desarrollo de este trabajo, permitiendo evidenciar una buena respuesta obtenida después de su implementación realizando comparaciones entre el antes y el después.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- alflow. (2017). *alflow.dk*. Obtenido de <http://www.alflow.dk/farma-produkter/farma/tankudstyr/omroerere/roerevaerk-model-biopharm>
- Alibaba.com. (2017). *Alibaba*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/wholesale/Venta-al-por-mayor-actuador-electrico-para-compuerta/2.html>
- Automatas Industriales. (02 de 03 de 2006). Obtenido de <http://www.automatas.org/siemens/wincc.htm>
- contaval online. (2017). Obtenido de <http://www.contaval-online.com/es/periferia-descentralizada-et-200?p=32>
- DOSIDUÍMICOS S.A.S. (2017). *dosiquimicos.com*. Obtenido de <http://www.dosiquimicos.com/perist-lticas-seko.html>
- HANNA intruments. (17 de Marzo de 2016). *HANNAchile*. Obtenido de <http://www.hannachile.com/blog/post/3>
- Hidrotec. (2017). *hidritec.com*. Obtenido de <http://www.hidritec.com/hidritec/sistemas-de-dosificacion>
- Hincapie, A. (2012). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2918/621317M337.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- los manyas. (12 de mayo de 2016). *Kaspersky*. Obtenido de <http://www.losmanyas.com/tecnologia/4454/noticia-kaspersky-lab-presenta-kaspersky-industrial-cybersecurity-solucion-especializada-ciberseguridad-sistemas-industriales>
- Morales, R. (1 de septiembre de 2014). Obtenido de <https://colombiadigital.net/actualidad/articulos-informativos/item/7669-lenguajes-de-programacion-que-son-y-para-que-sirven.html>
- rocatek. (27 de octubre de 2010). Obtenido de http://www.rocatek.com/forum_automatizacion_industrial.php
- Rocatek. (2010). Obtenido de http://www.rocatek.com/forum_plc1.php

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Rojas, H. (3 de Mayo de 2015). *tratamiento de agua lluvia*. Obtenido de <http://hernanrojasenriquez.blogspot.com.co/2015/05/tratamiento-de-agua-lluvia.html>

RS. (2017). Obtenido de <http://es.rs-online.com/web/p/displays-hmi-de-pantalla-tactil/6889165/>

Siemens. (2017). Obtenido de <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/tia-portal/controller-sw-tia-portal/simatic-step7-professional-tia-portal/pages/default.aspx>

WONDERWERE. (2013). Obtenido de <http://www.indusoft.com/blog/2013/05/31/cual-es-la-diferencia-entre-scada-y-hmi/>

APÉNDICE

Apéndice A:

Simbología utilizada.

En la Figura 1A se podrá identificar las diferentes variables de entrada y salida del PLC utilizadas para el control automático o manual del sistema de Potabilización de Agua, además de algunas otras que hacen parte la configuración sistema completo que se puede visualizar continuación.

	Estado	Símbolo	Direcció	Tipo de dato	Comentario
1		Dosificación de químicos	FC 1	FC 1	Modo Automatico
2		Proceso de floculacion	FC 2	FC 2	Modo Automatico
3		Proceso de sedimentacion	FC 3	FC 3	Modo Automatico
4		Proceso de filtrado	FC 4	FC 4	Modo Automatico
5		Proceso de desinfeccion	FC 5	FC 5	Modo Automatico
6		Docificación Químicos 2	FC 6	FC 6	Modo Manual
7		Proceso de Floculacion 2	FC 7	FC 7	Modo Manual
8		Proceso Sedimentacion 2	FC 8	FC 8	Modo Manual
9		Proceso de filtrado 2	FC 9	FC 9	Modo Manual
10		Proceso desinfeccion 2	FC 10	FC 10	Modo Manual
11		SCALE	FC 105	FC 105	Scaling Values
12		UNSCALE	FC 106	FC 106	Unscaling Values
13		sens_nivel_max_T1	M 0.0	BOOL	
14		sens_nivel_min_T1	M 0.1	BOOL	
15		sens_nivel_max_T2	M 0.2	BOOL	
16		sens_nivel_min_T2	M 0.3	BOOL	
17		sens_nivel_max_T3	M 0.4	BOOL	
18		sens_nivel_min_T3	M 0.5	BOOL	
19		sens_nivel_max_T4	M 0.6	BOOL	
20		sens_nivel_min_T4	M 0.7	BOOL	
21		sens_nivel_max_T5	M 1.0	BOOL	
22		sens_nivel_min_T5	M 1.1	BOOL	
23		Motor Funcionando	M 1.2	BOOL	
24		Motor parado	M 1.3	BOOL	
25		inicio_proceso	M 2.0	BOOL	
26		paro_proceso	M 2.1	BOOL	
27		Modo_Auto	M 2.2	BOOL	
28		Proceso_activado	M 2.3	BOOL	
29		Proceso_en_paro	M 2.4	BOOL	
30		modo_manual	M 2.5	BOOL	
31		modo_auto_activado	M 2.6	BOOL	
32		modo_manual_activado	M 2.7	BOOL	
33		pul_val_in_T1	M 3.0	BOOL	
34		pul_val_in_T2	M 3.1	BOOL	
35		pul_val_in_T3	M 3.2	BOOL	
36		pul_val_in_T4	M 3.3	BOOL	
37		pul_val_in_T5	M 3.4	BOOL	
38		pul_val_des_T1	M 3.5	BOOL	
39		pul_val_des_T2	M 3.6	BOOL	
40		pul_val_des_T3	M 3.7	BOOL	

	Estado	Símbolo	Direcció	Tipo de dato	Comentario
41		pul_val_des_T4	M 4.0	BOOL	
42		pul_val_des_T5	M 4.1	BOOL	
43		pul_val_out_T5	M 4.2	BOOL	
44		pul_dosif_C.A_T1	M 4.3	BOOL	
45		pul_dosif_Z.A_T1	M 4.4	BOOL	
46		pul_val_coag T2	M 4.5	BOOL	
47		pul_celator T2	M 4.6	BOOL	
48		pul_dosif_desinf T5	M 4.7	BOOL	
49		falla_val_in T1	M 5.0	BOOL	
50		falla_val_in T2	M 5.1	BOOL	
51		falla_val_in T3	M 5.2	BOOL	
52		falla_val_in T4	M 5.3	BOOL	
53		falla_val_in T5	M 5.4	BOOL	
54		falla_val_des T1	M 5.5	BOOL	
55		falla_val_des T2	M 5.6	BOOL	
56		falla_val_des T3	M 5.7	BOOL	
57		falla_val_des T4	M 6.0	BOOL	
58		falla_val_des T5	M 6.1	BOOL	
59		falla_val_out T5	M 6.2	BOOL	
60		falla_val_dosif_C.A T1	M 6.3	BOOL	
61		falla_val_dosif_Z.A T1	M 6.4	BOOL	
62		falla_val_Coag T2	M 6.5	BOOL	
63		falla_celator T2	M 6.6	BOOL	
64		falla_val_desinf T5	M 6.7	BOOL	
65		Hay falla_val_in T1	M 7.0	BOOL	
66		Hay falla_val_in T2	M 7.1	BOOL	
67		Hay falla_val_in T3	M 7.2	BOOL	
68		Hay falla_val_in T4	M 7.3	BOOL	
69		Hay falla_val_in T5	M 7.4	BOOL	
70		Hay falla_val_des T1	M 7.5	BOOL	
71		Hay falla_val_des T2	M 7.6	BOOL	
72		Hay falla_val_des T3	M 7.7	BOOL	
73		Acti_val_in_T1	M 8.0	BOOL	
74		Acti_val_des_T1	M 8.1	BOOL	
75		Acti_val_in_T2	M 8.2	BOOL	
76		Acti_val_des_T2	M 8.3	BOOL	
77		Acti_val_in_T3	M 8.4	BOOL	
78		Acti_val_des_T3	M 8.5	BOOL	
79		Acti_val_in_T4	M 8.6	BOOL	
80		Acti_val_des_T4	M 8.7	BOOL	
81		Acti_val_des_T5	M 9.0	BOOL	
82		Acti_val_out_T5	M 9.1	BOOL	
83		Acti_val_C.A T1	M 9.2	BOOL	
84		Acti_val_Z.A T1	M 9.3	BOOL	
85		Acti_val_coag T2	M 9.4	BOOL	
86		Acti_celator T2	M 9.5	BOOL	
87		Acti_V_de desinf_T5	M 9.6	BOOL	
88		Acti_val_in_T5	M 9.7	BOOL	
89		Hay caudal	M 10.0	BOOL	
90		Reset conador 1	M 10.1	BOOL	
91		Unipolar scale	M 10.2	BOOL	
92		Unipolar unscale	M 10.3	BOOL	
93		Hay nivel apropiado T1	M 10.4	BOOL	
94		Hay nivel apropiado T2	M 10.5	BOOL	
95		Hay nivel apropiado T3	M 10.6	BOOL	

	Estado	Símbolo	Direcció	Tipo de dato	Comentario
95		Hay nivel apropiado T3	M 10.6	BOOL	
96		Hay nivel apropiado T4	M 10.7	BOOL	
97		Hay nivel apropiado T5	M 11.0	BOOL	
98		Flanco Positivo 1	M 11.1	BOOL	
99		Flanco positivo 2	M 11.2	BOOL	
100		Flanco Positivo 3	M 11.3	BOOL	
101		Hay falla_val_des T4	M 12.0	BOOL	
102		Hay falla_val_des T5	M 12.1	BOOL	
103		Hay falla_val_out T5	M 12.2	BOOL	
104		Hay falla_val_desif_CAT1	M 12.3	BOOL	
105		Hay falla_val_desif_ZAT1	M 12.4	BOOL	
106		Hay falla_val_Coag T2	M 12.5	BOOL	
107		Hay falla_celator T2	M 12.6	BOOL	
108		Hay falla_val_desinfe T5	M 12.7	BOOL	
109		Falla sens_nivel_max_T1	M 13.0	BOOL	
110		Falla sens_nivel_min_T1	M 13.1	BOOL	
111		Falla sens_nivel_max_T2	M 13.2	BOOL	
112		Falla sens_nivel_min_T2	M 13.3	BOOL	
113		Falla sens_nivel_max_T3	M 13.4	BOOL	
114		Falla sens_nivel_min_T3	M 13.5	BOOL	
115		Falla sens_nivel_max_T4	M 13.6	BOOL	
116		Falla sens_nivel_min_T4	M 13.7	BOOL	
117		Falla sens_nivel_max_T5	M 14.0	BOOL	
118		Falla sens_nivel_min_T5	M 14.1	BOOL	
119		Hay falla_nivel_max_T1	M 14.2	BOOL	
120		Hay falla_nivel_min_T1	M 14.3	BOOL	
121		Hay Falla_nivel_max_T2	M 14.4	BOOL	
122		Hay Falla_nivel_min_T2	M 14.5	BOOL	
123		Hay Falla_nivel_max_T3	M 14.6	BOOL	
124		Hay Falla_nivel_min_T3	M 14.7	BOOL	
125		Hay Falla_nivel_max_T4	M 15.0	BOOL	
126		Hay Falla_nivel_min_T4	M 15.1	BOOL	
127		Hay falla_nivel_max_T5	M 15.2	BOOL	
128		Hay Falla_nivel_min_T5	M 15.3	BOOL	
129		Marca de ciclo 0	M 250.0	BOOL	
130		Marca de ciclo 1	M 250.1	BOOL	
131		marca de ciclo 2	M 250.2	BOOL	
132		Marca de ciclo 3	M 250.3	BOOL	
133		Marca de ciclo 4	M 250.4	BOOL	
134		Marca de ciclo 5	M 250.5	BOOL	
135		Marca de ciclo 6	M 250.6	BOOL	
136		Marca de ciclo 7	M 250.7	BOOL	
137		Entrada de caudal en DI	MD 16	DINT	
138		Caudal de entrada en R	MD 20	REAL	
139		Caudal de int en sñ real	MD 30	REAL	
140		Caudal Real T1	MD 44	REAL	
141		nivel_actual_T1	MD 48	REAL	
142		setpoint_lo_nivel_T1	MD 52	REAL	nivel bajo
143		setpoint_hi_nivel_T1	MD 56	REAL	
144		nivel_actual_T2	MD 60	REAL	
145		CaudalReal T2	MD 72	REAL	
146		setpoint_lo_nivel_T2	MD 78	REAL	
147		setpoint_hi_nivel_T2	MD 88	REAL	
148		CaudalReal T3	MD 96	REAL	
149		nivel_actual_T3	MD 100	REAL	
150		setpoint_lo_nivel_T3	MD 104	REAL	

	Estado	Símbolo	Direcció	▲	Tipo de dato	Comentario
95		Hay nivel apropiado T3	M	10.6	BOOL	
96		Hay nivel apropiado T4	M	10.7	BOOL	
97		Hay nivel apropiado T5	M	11.0	BOOL	
98		Flanco Positivo 1	M	11.1	BOOL	
99		Flanco positivo 2	M	11.2	BOOL	
100		Flanco Positivo 3	M	11.3	BOOL	
101		Hay falla_val_des T4	M	12.0	BOOL	
102		Hay falla_val_des T5	M	12.1	BOOL	
103		Hay falla_val_out T5	M	12.2	BOOL	
104		Hay falla_val_desif_CAT1	M	12.3	BOOL	
105		Hay falla_val_desif_ZAT1	M	12.4	BOOL	
106		Hay falla_val_Coag T2	M	12.5	BOOL	
107		Hay falla_celstor T2	M	12.6	BOOL	
108		Hay falla_val_desinfe T5	M	12.7	BOOL	
109		Falla sens_nivel_max_T1	M	13.0	BOOL	
110		Falla sens_nivel_min_T1	M	13.1	BOOL	
111		Falla sens_nivel_max_T2	M	13.2	BOOL	
112		Falla sens_nivel_min_T2	M	13.3	BOOL	
113		Falla sens_nivel_max_T3	M	13.4	BOOL	
114		Falla sens_nivel_min_T3	M	13.5	BOOL	
115		Falla sens_nivel_max_T4	M	13.6	BOOL	
116		Falla sens_nivel_min_T4	M	13.7	BOOL	
117		Falla sens_nivel_max_T5	M	14.0	BOOL	
118		Falla sens_nivel_min_T5	M	14.1	BOOL	
119		Hay falla_nivel_max_T1	M	14.2	BOOL	
120		Hay falla_nivel_min_T1	M	14.3	BOOL	
121		Hay Falla_nivel_max_T2	M	14.4	BOOL	
122		Hay Falla_nivel_min_T2	M	14.5	BOOL	
123		Hay Falla_nivel_max_T3	M	14.6	BOOL	
124		Hay Falla_nivel_min_T3	M	14.7	BOOL	
125		Hay Falla_nivel_max_T4	M	15.0	BOOL	
126		Hay Falla_nivel_min_T4	M	15.1	BOOL	
127		Hay falla_nivel_max_T5	M	15.2	BOOL	
128		Hay Falla_nivel_min_T5	M	15.3	BOOL	
129		Marca de ciclo 0	M	250.0	BOOL	
130		Marca de ciclo 1	M	250.1	BOOL	
131		marca de ciclo 2	M	250.2	BOOL	
132		Marca de ciclo 3	M	250.3	BOOL	
133		Marca de ciclo 4	M	250.4	BOOL	
134		Marca de ciclo 5	M	250.5	BOOL	
135		Marca de ciclo 6	M	250.6	BOOL	
136		Marca de ciclo 7	M	250.7	BOOL	
137		Entrada de caudal en DI	MD	16	DINT	
138		Caudal de entrada en R	MD	20	REAL	
139		Caudal de int en sñ real	MD	30	REAL	
140		Caudal Real T1	MD	44	REAL	
141		nivel_actual_T1	MD	48	REAL	
142		setpoint_lo_nivel_T1	MD	52	REAL	nivel bajo
143		setpoint_hi_nivel_T1	MD	56	REAL	
144		nivel_actual_T2	MD	60	REAL	
145		Caudal Real T2	MD	72	REAL	
146		setpoint_lo_nivel_T2	MD	76	REAL	
147		setpoint_hi_nivel_T2	MD	80	REAL	
148		Caudal Real T3	MD	96	REAL	
149		nivel_actual_T3	MD	100	REAL	
150		setpoint_lo_nivel_T3	MD	104	REAL	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

	Estado	Símbolo	Dirección	Tipo de dato	Comentario
151		setpoint_hi_nivel_T3	MD 108	REAL	
152		Caudal real T4	MD 116	REAL	
153		nivel_actual_T4	MD 120	REAL	
154		setpoint_lo_nivel_T4	MD 124	REAL	
155		setpoint_hi_nivel_T4	MD 128	REAL	
156		Caudal real T5	MD 138	REAL	
157		nivel_actual_T5	MD 146	REAL	
158		setpoint_lo_nivel_T5	MD 150	REAL	
159		setpoint_hi_nivel_T5	MD 154	REAL	
160		Modulo de falla 1	MV 6	INT	
161		Modulo de falla 2	MV 12	INT	
162		Modulo de falla 3	MV 14	INT	
163		Caudal de int en sñalog	MV 26	INT	
164		Caudal de entrada	MV 166	INT	
165		Velocidad motor	MV 168	INT	
166		Nivel de rebose	MV 170	INT	
167		Nivel de rebose del T5	MV 172	INT	
168		val_dosif_C_A_T1	MV 180	INT	
169		val_dosif_Z_A_T1	MV 182	INT	
170		val_dosif_cuag_T2	MV 184	INT	
171		val_dosif_desif T5	MV 186	INT	
172		Bloque central	OB 1	OB 1	Este bloque ejecuta la programación profuesta, Bloque principal
173		Motor ON/OFF	PAV 256	INT	
174		Frecuencia motor	PAV 258	INT	

Figura 1A. Simbología utilizada PTAP.

Fuente: Propia

Apéndice B.

En la Figura 1B se encuentra el algoritmo de programación que se manejó, para ello se explicara con dos bloques en los cuales se puede tener el resto de funcionamiento del sistema de una PTAP, estos bloques son el OB1 (Bloque de ejecución principal) y el FC2 (Modo automático) que tienen una programación más completa en la que se pueden representar los bloques faltantes.

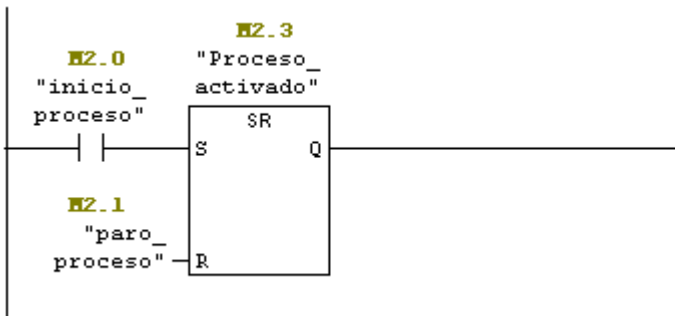
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Bloque OB1

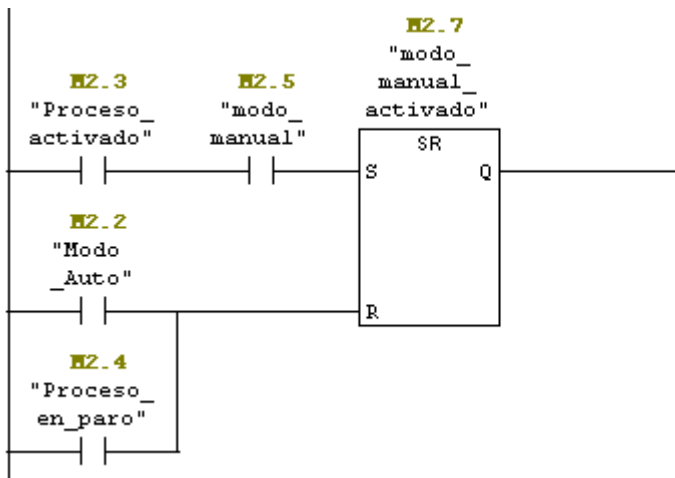
Segmento 1. Indicador de proceso en Stop.



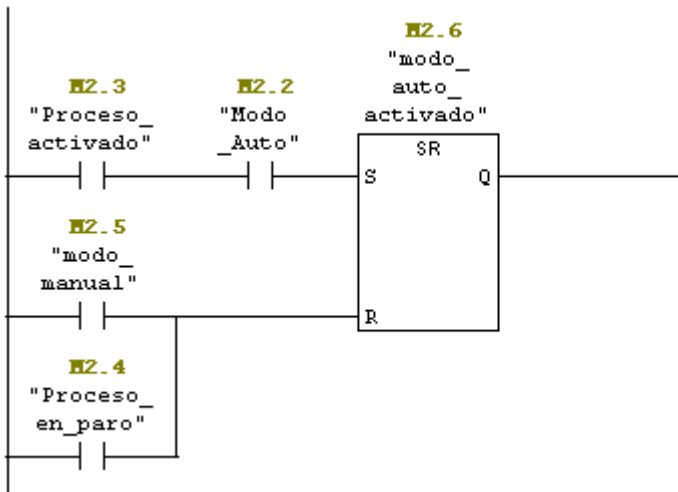
Segmento 2. Proceso activado o en funcionamiento.



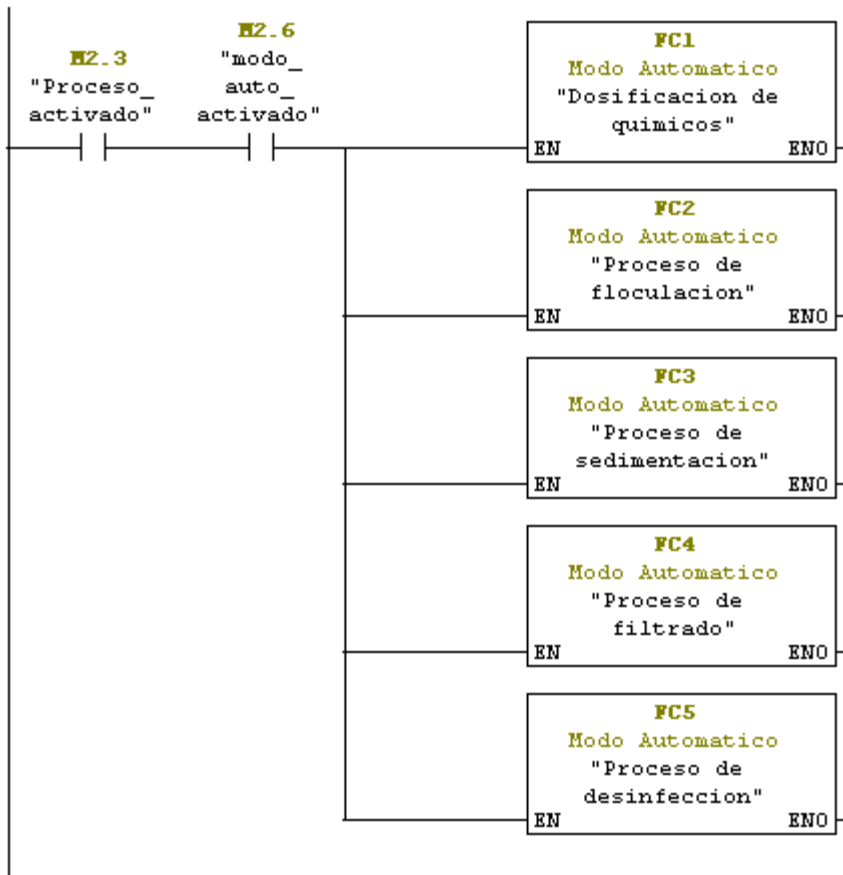
Segmento 3. Modo funcionamiento manual.



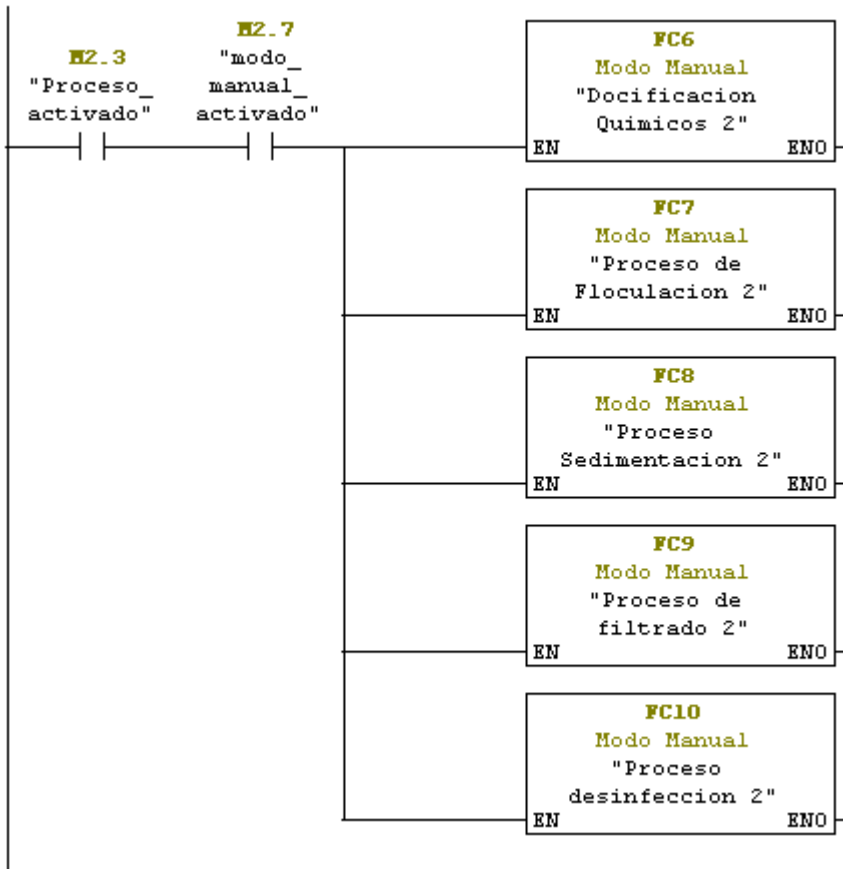
Segmento 4. Modo funcionamiento automático.



Segmento 5. Modo automático activado.



Segmento 6. Modo manual activado.

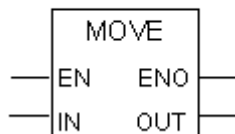


En las imágenes a continuación se verán algunos símbolos utilizados en los demás bloques FC que hacen parte fundamental para la programación y simulación del sistema de potabilización de agua.

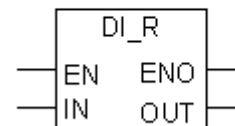
MOVE. Asigna un valor a una dirección.

DI_R. Convertir de entero doble a real.

Símbolo

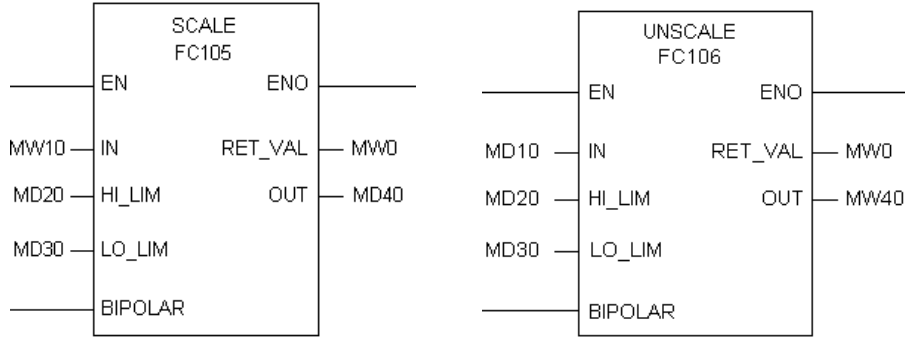


Símbolo



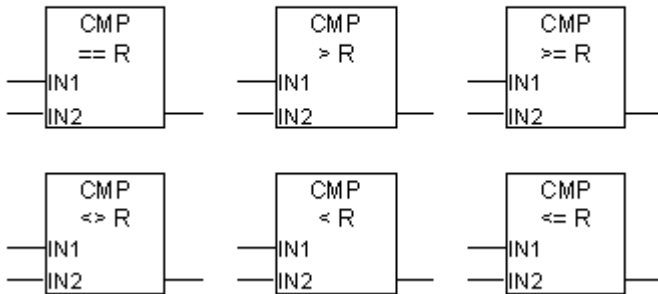
SCALE 105. Escala un valor entero a real.

UNSCALE 106. Toma un valor real y lo escala un valor comprendido.



CMP ? R. Compara numeros en coma flotante.

Símbolos



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

SR. Desactivar flip-flop de activación.

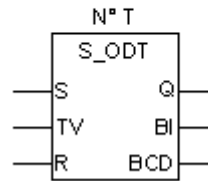
S_ODT. Parametrizar y arrancar temporizador como retardo a la conexión.

Símbolo



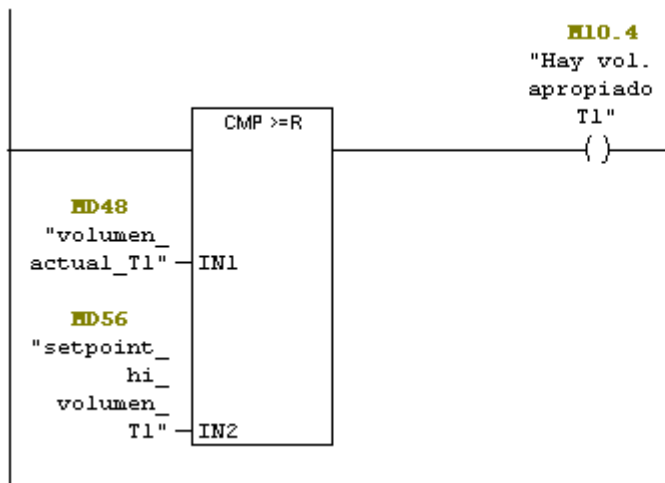
Símbolo

Inglés

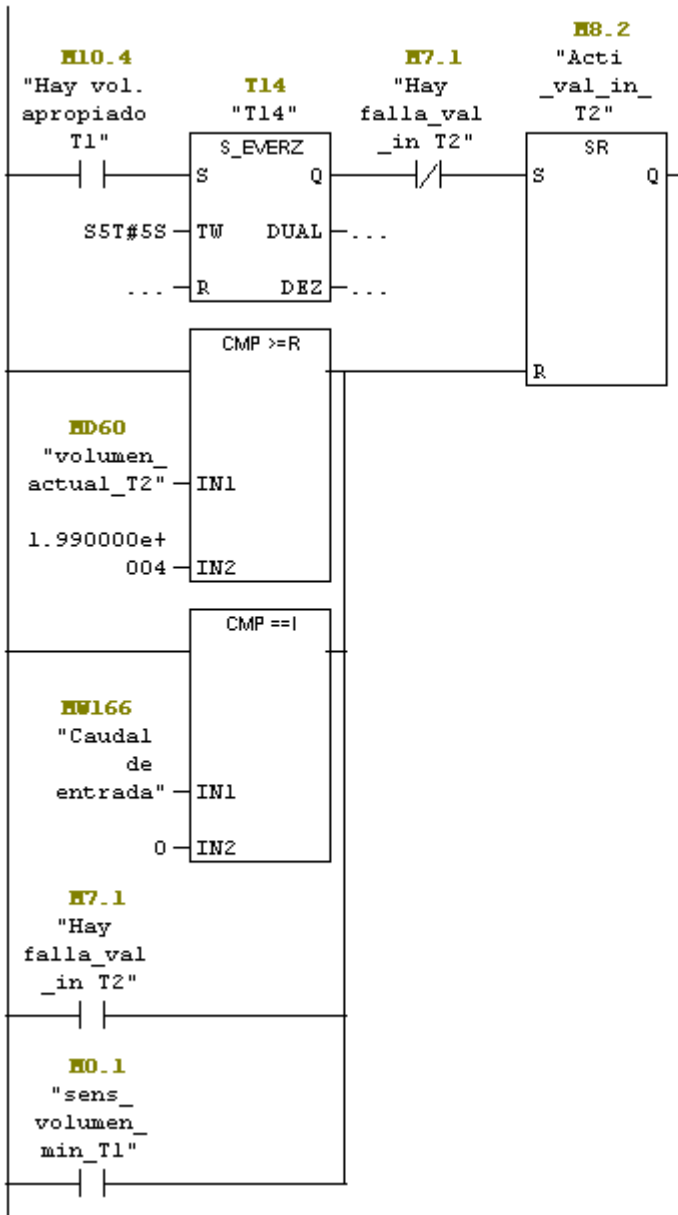


Bloque FC2 (Floculación modo automático).

Segmento 1. Señal volumen apropiado T1.



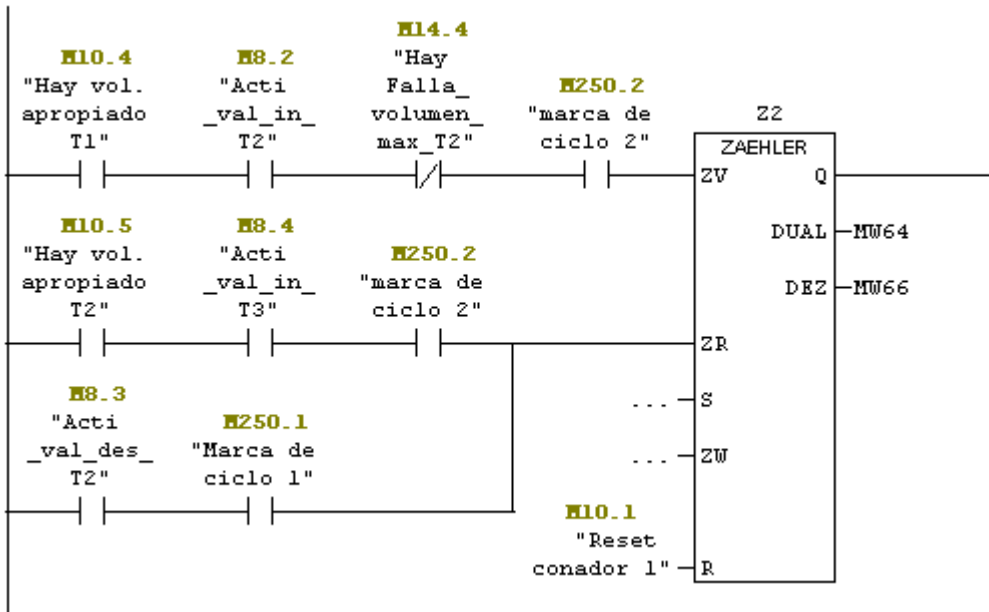
Segmento 2. Activación válvula de entrada T2.



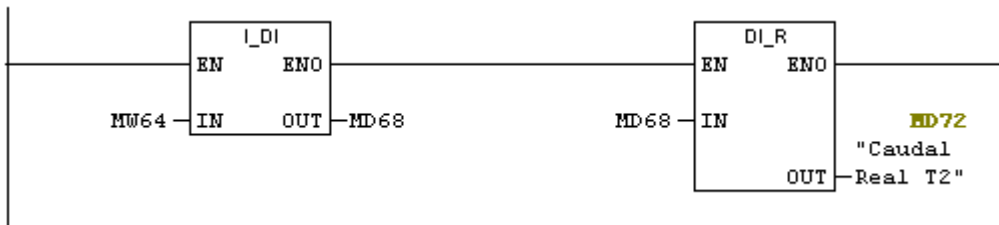
Segmento 3. Forzar falla válvula entrada T2.



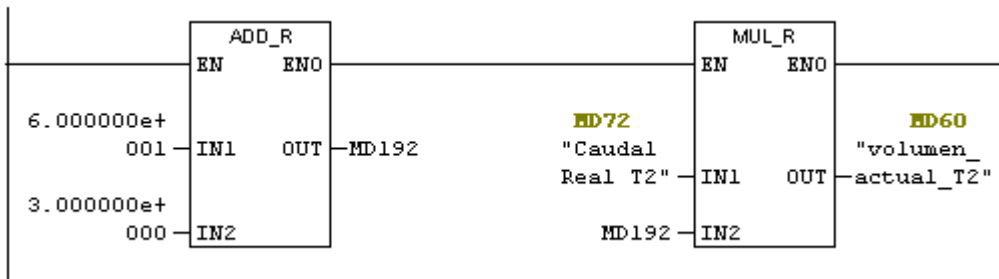
Segmento 4. Llenado de tanque T2 por medio de un contador.



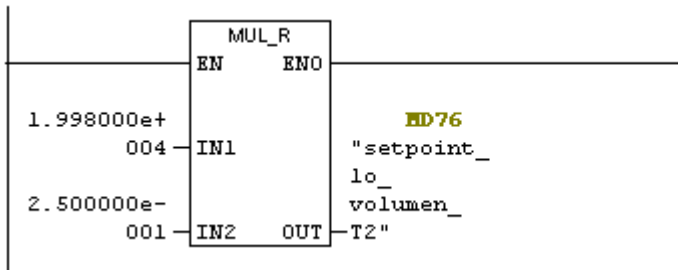
Segmento 5. Salida del contador / conversión a real.



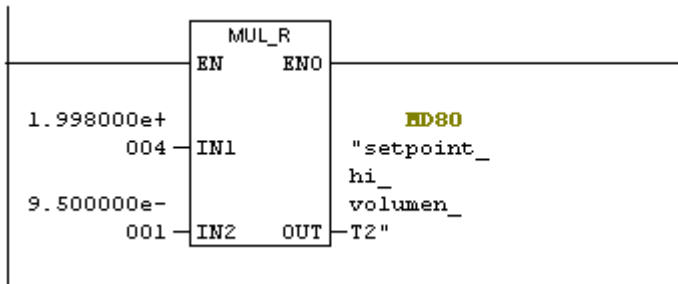
Segmento 6. Caudal real T2.



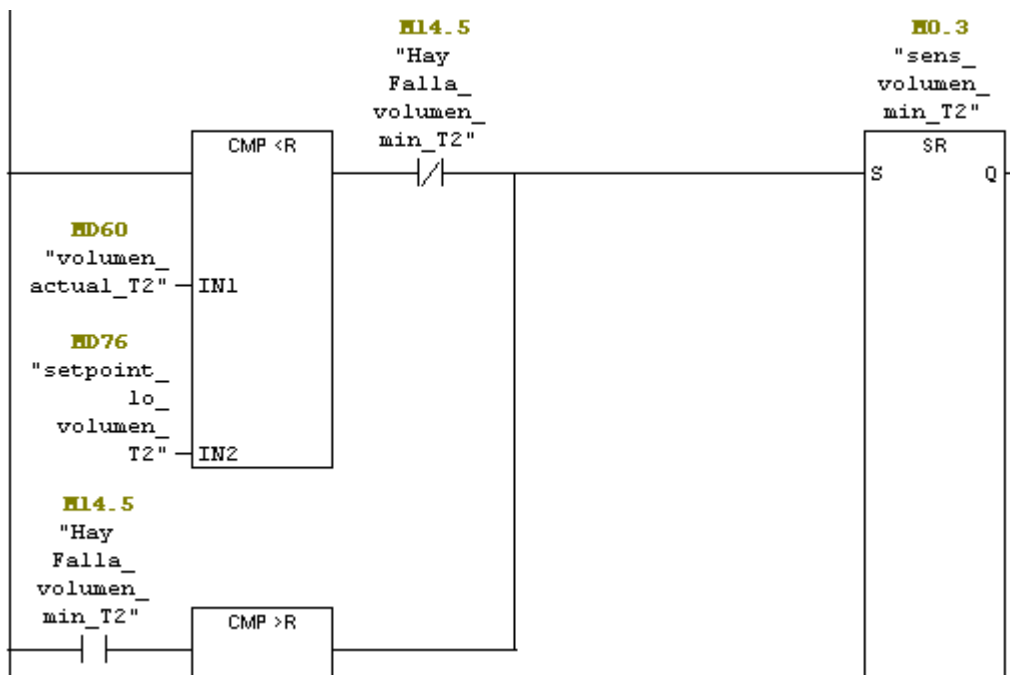
Segmento 7. Setpoint volúmen mínimo T2.

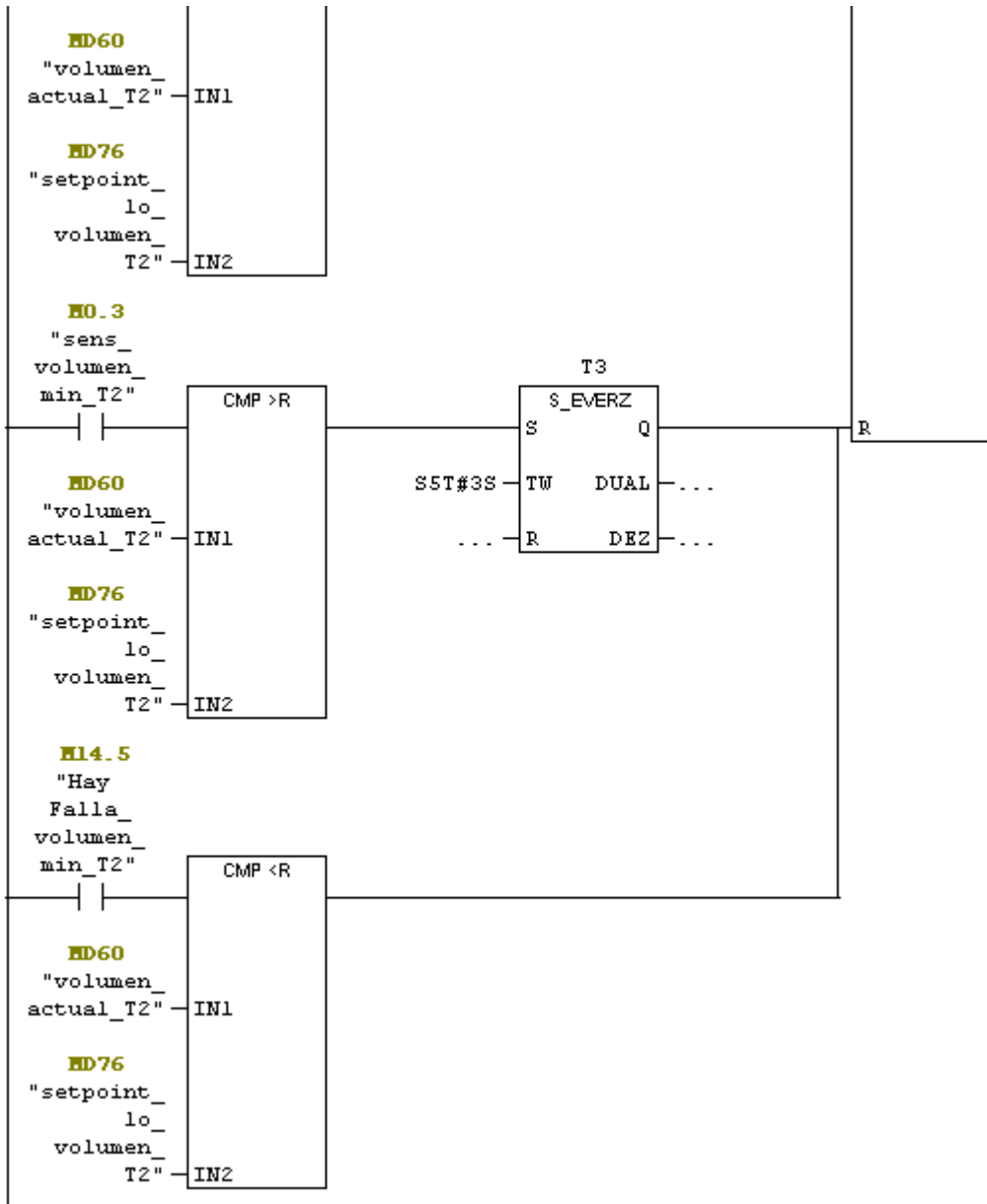


Segmento 8. Volumen máximo T2.



Segmento 9. Activación volúmen mínimo T2.

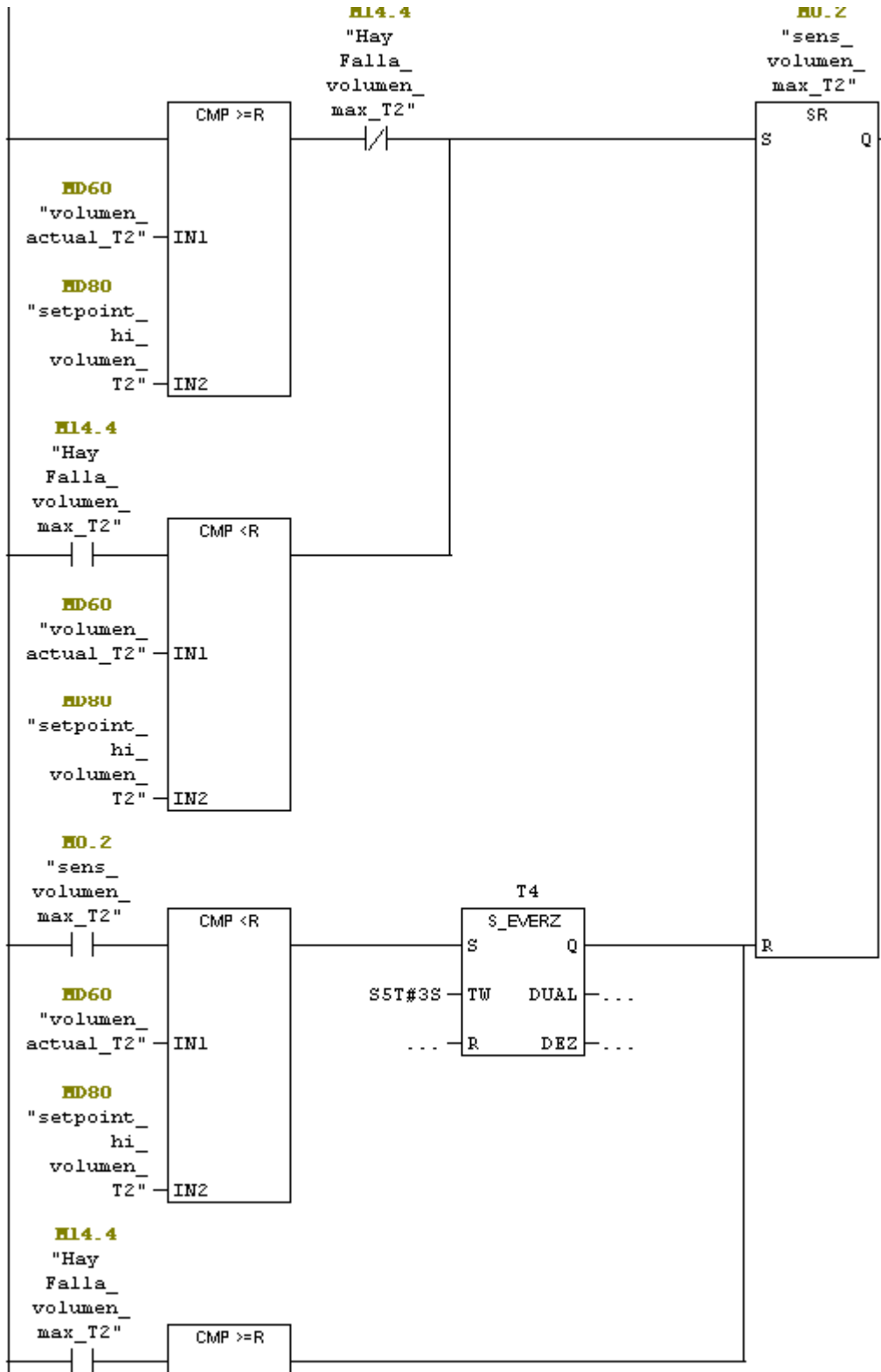




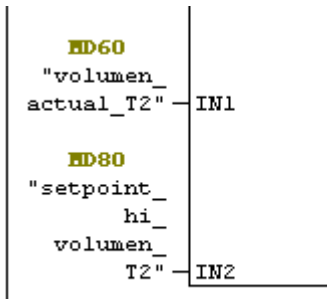
Segmento 10. Forzar falla volúmen mínimo T2.



Segmento 11. Activación volúmen mínimo T2.



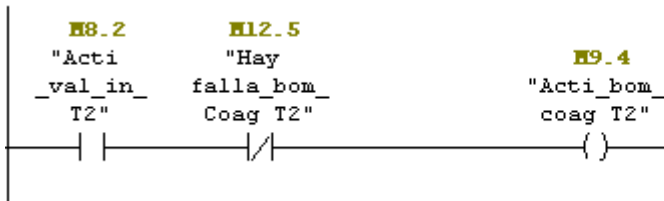
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



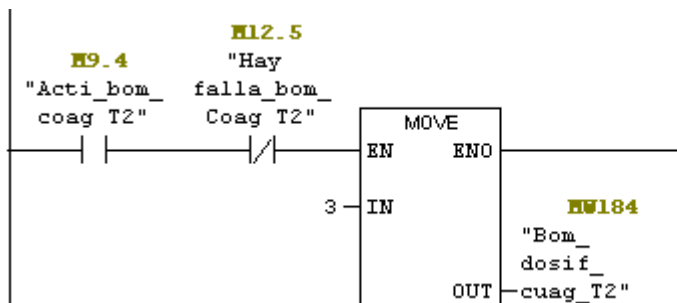
Segmento 12. Forzar falla volúmen máximo T2.



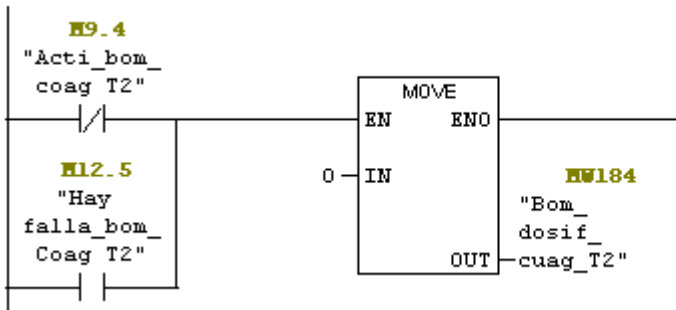
Segmento 13. Activar bomba dosificadora de coagulante.



Segmento 14. Adición de 6 litros de coagulante cada segundo.



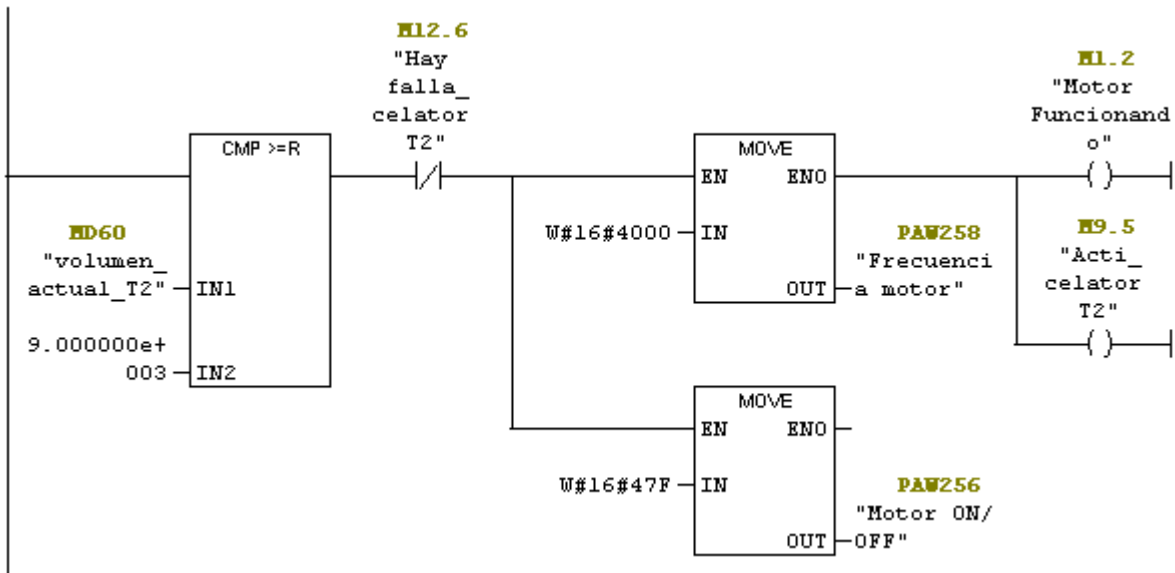
Segmento 15. Bomba de dosificación de coagulante cerrada.



Segmento 16. Forzar falla bomba coagulante T2.

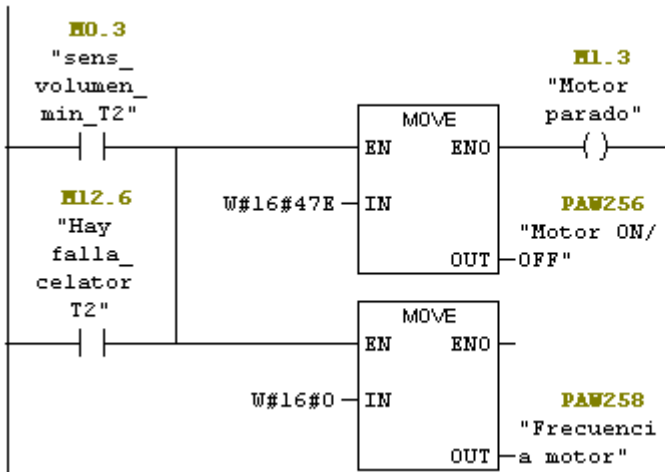


Segmento 17. Motor encendido.

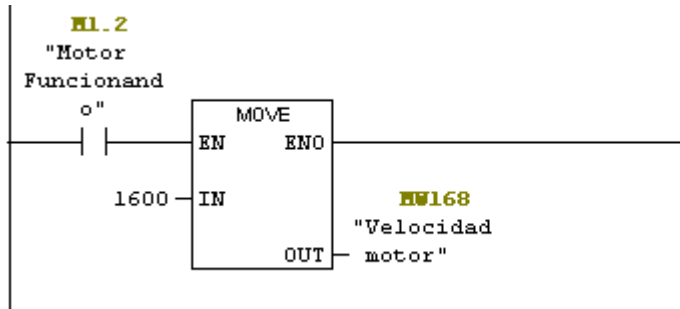


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

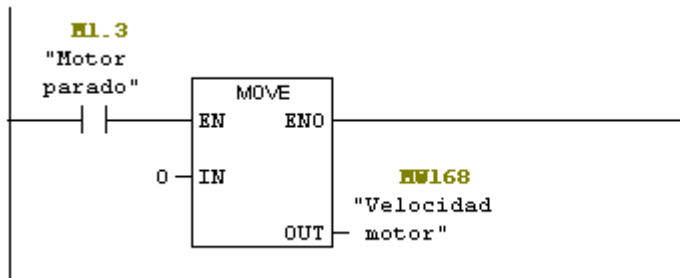
Segmento 18. Motor parado.



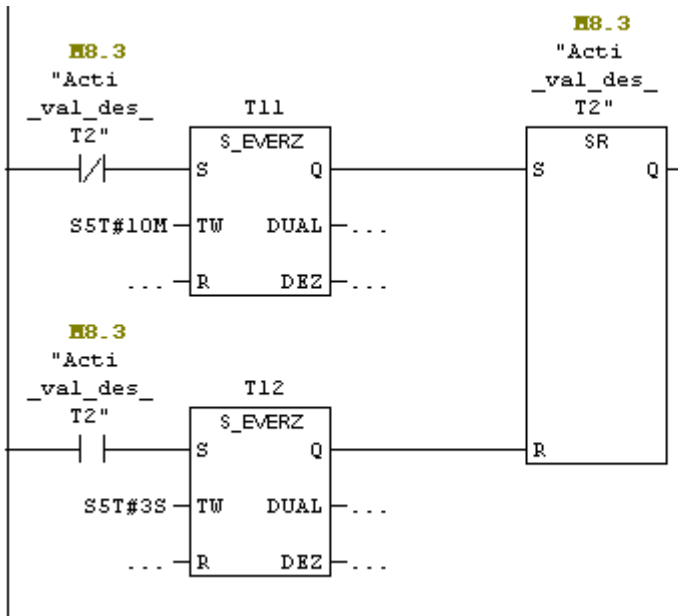
Segmento 19. Pasar la velocidad de PAW 256 a una memoria MW.



Segmento 20. Con motor parado se muestra las RPM en 0.



Segmento 21. Válvula de desagüe controlada T2.



Segmento 22. Forzar falla de coagulante T2.



Segmento 23. Forzar falla Motoreductor (Celator).



Figura 1B. Algoritmo de programación KOP PTAP.

Fuente: Propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES

fridy Diez

wilson londoño

FIRMA ASESOR Marivel A. Ospina A.

Se remite para
2do Evaluación por parte del
Jurado Agosto 30 de 2015 9:30 am

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO__ ACEPTADO____ ACEPTADO CON
MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____