

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

AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE LAVADO CON INYECCIÓN DE AIRE PARA FILTROS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Daniel Esteban Seguro Muñoz

Esneider Salazar Ramírez

Ingeniería Mecatrónica

Director

Manuel Alejandro Ospina Alarcón

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE MECATRÓNICA Y ELECTROMECAÁNICA
Agosto de 2017

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

RESUMEN

El crecimiento desmedido de la población en los últimos años, ha creado una demanda excesiva en el consumo de recursos naturales, tal es el caso del agua. Muchas de las plantas potabilizadoras enfrentan grandes desafíos para abastecer y satisfacer la demanda de agua potable actual, esto crea la necesidad de construir sistemas que permitan un lavado más eficiente y confiable de los diferentes equipos de filtración, que pueden adaptar el agua proveniente de ríos, nacimientos y aguas lluvias para consumo humano.

Este trabajo se enfocó en el diseño de un sistema automatizado para el control y monitoreo de todas las variables presentes en el proceso de lavado de filtros, principalmente se diseñó un algoritmo de control, que permite realizar la apertura y cierre de todas las válvulas de paso utilizadas en las rutinas de lavado del filtro potabilizador de agua, a través de señales eléctricas de forma remota sin necesidad de que el usuario tenga que desplazarse hasta el filtro, se usaron los software Flexlogic para la programación en lenguaje ladder del algoritmo de control y el software Fstudio para el diseño y simulación de la interfaz gráfica, la cual, el usuario podrá usar a través de una pantalla táctil conectada al PLC y mediante esta podrá comandar las válvulas del sistema y visualizar las variables funcionales del filtro, como nivel y turbiedad del agua en tiempo real.

Este diseño se realizó teniendo presente las necesidades de los operarios del equipo y el modo de funcionamiento actual del proceso, con el fin de identificar aquellos subprocesos claves que al ser automatizados, permiten obtener una optimización precisa y correcta del lavado de los filtros potabilizadores de agua.

Palabras clave: Automatización de procesos, Turbiedad, PLC, Simulación de procesos, electroválvula, filtro de potabilización, Sensores, Sistema de lavado.

 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 apoyo brindado en el desarrollo del proyecto escrito.

Al ingeniero Sergio Mejía de globalindtech por su asesoría en temas relacionados a automatización industrial.

Al operador de la planta de tratamiento de agua la milagrosa en la Ceja Antioquia, por su asesoría sobre el proceso de lavado de filtros.

A nuestros familiares por su constante apoyo y motivación brindados durante el desarrollo de toda la carrera.

A todos los que colaboraron durante el proceso investigativo y desarrollo del trabajo de grado.

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

ACRÓNIMOS

AI: Entrada Análoga.

AO: Salida Análoga.

CFM: Pies Cúbicos por Minuto.

CSMA/CD: Acceso al Medio por Detección de la Onda Portadora y con Detección de Colisiones.

DI: Entrada Digital.

DO: Salida Digital.

HMI: Interfaz Hombre Maquina.

I/O: Entrada/Salida.

inHg: Columna de Mercurio.

IP: índice de protección.

mA: Miliamperio.

NTU: Unidad Nefelométrica de Turbidez.

PLC: Controlador Lógico Programable.

PSI: Libra por Pulgada Cuadrada.

PVC: Policloruro de vinilo.

SCADA: Supervisión Control y Adquisición de Datos.

SPDT: Polo simple doble tiro.

VDC: voltaje de corriente continua.

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

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	10
1.1	Generalidades	10
1.2	Antecedentes	11
1.3	Objetivos	13
1.4	Organización del trabajo	14
2	MARCO TEÓRICO	15
2.1	Automatización industrial	15
2.1.1	Controlador lógico programable (PLC)	15
2.1.2	Interfaz Hombre-Máquina o pantalla HMI	16
2.1.3	Ethernet industrial	17
2.1.4	Fstudio 2.0	19
2.1.5	Flexlogic	20
2.2	Sistema de filtración	21
2.2.1	Tipos de filtros	22
2.3	Componentes filtro convencional	26
2.3.1	Válvulas de paso	26
2.3.2	Sensores	29
2.3.3	Bombas centrifugas	30
2.3.4	Compresores	32
2.3.5	Tipos de tubería	33
3	METODOLOGÍA	35
3.1	Estudio de las características físicas y funcionamiento del sistema de filtración	35
3.3	Definición de instrumentación y equipos de automatización, control y monitoreo	39
3.4	Selección de elementos y equipos de automatización	41
3.5	Diseño de algoritmo de control	53
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
5	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	75
5.1	Conclusiones	75

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

5.2 Trabajo a futuro 76

REFERENCIAS 80

APÉNDICE 84

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

Lista de figuras

Figura 1. Sistema actual de válvulas planta de potabilización la Ceja Antioquia. (Propia).....	11
Figura 2. Diagrama de válvulas filtro de potabilización actual. (Propia).	12
Figura 3. Diagrama filtro con adicción de válvula de aire y soplador. (Propia)..	13
Figura 4. Esquema general de un controlador lógico programable. (Quezada, López, García, & Aquilar, 2014).	16
Figura 5. Pantallas HMI marca siemens (Siemens España, 2017).....	17
Figura 6. Conexión estándar entre PLC y pantalla HMI (propia).	18
Figura 7. Red Ethernet industrial (Electro Industria , 2009).	19
Figura 8. Interfaz principal de usuario Fstudio 2.0 (propia).....	20
Figura 9. Interfaz principal de usuario Flexlogic (propia).....	21
Figura 10. Filtro convencional de agua (Giraldo, Escobar, & Taborda, 1999)..	22
Figura 11. Tierra diatomácea (Flexicon, 2012).	23
Figura 12. Filtro de acción lenta con arena (Apuntes ingeniería civil, 2010).	24
Figura 13. Cartuchos para filtros purificadores (allbiz, 2017).	24
Figura 14. Filtro de cerámica (Reed, 2011).	25
Figura 15. Válvula de compuerta (Direct industry , 2017).	27
Figura 16. Válvula de globo (Villajulca, 2010).	27
Figura 17. Válvula de bola (Jn aceros , 2014).....	28
Figura 18. Válvula mariposa (Koomkin, 2017).	28
Figura 19. Funcionamiento sensor de turbiedad (Hanna Instruments , 2017)...	29
Figura 20. Sensor de nivel (Velasquez Ingenieros Asociados S.A.S., s,f).	30
Figura 21. Partes de una bomba centrífuga (Yuba, 2015).	31
Figura 22. Inflador de bicicleta (Widman & Linares, 2011).	32
Figura 23. Tipos de compresores (Widman & Linares, 2011).	33
Figura 24. Zona de ingreso agua planta de tratamiento la milagrosa (Propia)..	36
Figura 25. Diagrama de flujo rutina de lavado (Propia).	37
Figura 26. Diagrama de instrumentación filtro automatizado. (Propia).	38
Figura 27. PLC FLEXEM FL2N-40MRT. (FLEXEM, 2015).	43
Figura 28. Pantalla HMI FLEXEM FE4043C. (FLEXEM, 2015).	43
Figura 29. Sensor de turbiedad (HACH, 2017).	44
Figura 30. Eje adaptado a válvula mariposa sistema de lavado planta la milagrosa la ceja Antioquia (Propia).	45
Figura 31. Actuador eléctrico BRAY serie 70 (Bray comercial, 2017).....	46
Figura 32. Válvula tipo mariposa (Bray, 2017).	47
Figura 33. Actuador proporcional (Mecánica Prismo S.L, 2016).....	48
Figura 34. Sensor de nivel SWITCH (Punto flotante S.A, 2017).....	49
Figura 35. Sensor ultrasónico de nivel (QYE, 2017).	50
Figura 36. Sensor ultrasónico de nivel con indicador electrónico (Pepperl-Fuchs, 2017).....	51
Figura 37. Malla de PVC para inyección de aire (propia).	51
Figura 38. Soplador industrial (SAE, 2017).	52
Figura 39. Selección de PLC Flexlogic (Propia).	55

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

Figura 40. Ventana para declaración de entradas y salidas digitales Flexlogic (Propia).....55

Figura 41. Ventana para declaración de entradas y salida analógicas Flexlogic (Propia).....56

Figura 42. Diagrama ladder Flexlogic (Propia).....60

Figura 43. Diagrama ladder Flexlogic (Propia).....61

Figura 44. Esquema principal pantalla HMI. (Propia).....64

Figura 45. Ventana emergente solicitud contraseña. (Propia).65

Figura 46. Icono de opciones para el usuario autenticado (Propia).65

Figura 47. Accionamiento de válvulas desde la pantalla. (Propia).66

Figura 48. Ventana emergente confirmación acción usuario. (Propia).66

Figura 49. Accionamiento válvulas desde la pantalla. (Propia).....66

Figura 50. Accionamiento válvulas desde la pantalla. (Propia).....67

Figura 51. Estados de las válvulas visualizados en la pantalla HMI. (Propia) ..67

Figura 52. Estados del soplador visualizado en la pantalla HMI. (Propia).67

Figura 53. Estados válvula proporcional. (Propia).....68

Figura 54. Pantalla principal modo automático (Propia).....68

Figura 55. Ventana emergente para setpoint del sensor de turbiedad. (Propia).....69

Figura 56. Ventana fallos de las válvulas. (Propia).69

Figura 57. Visualización del sensor de turbiedad. (Propia).....70

Figura 58. Visualización del sensor de nivel (Propia).70

Figura 59. Alerta modo automático deshabilitado (Propia).71

Figura 60. Ventana auxiliar para mostrar historial de alarmas y fallas. (Propia).....71

Figura 61. Ventana auxiliar para configuración modo automático y simulación (Propia).....72

Figura 62. Grafico que visualiza las tendencias del sistema. (Propia).....73

Figura 63. Grafico que visualiza las tendencias del sistema. (Propia).....73

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

Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de tubería (Alvarez, 2017).	34
Tabla 2. Diámetros de tubería filtro (propia).	35
Tabla 3. Entradas y salida PLC (propia).	42
Tabla 4. Variables programación del PLC (Propia).....	56
Tabla 5. Variables programación ladder (Propia).....	57
Tabla 6. Variables programación ladder (Propia).....	58
Tabla 7. Perfiles para operación de la pantalla HMI. (Propia).....	65
Tabla 8. Usuarios con contraseña para autenticación en el sistema. (Propia). .	65

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

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

Con el propósito de mejorar y optimizar el proceso de lavado de filtros en plantas potabilizadoras de agua, se diseñó un sistema automatizado para la operación, cierre y apertura de las diferentes válvulas mecánicas, utilizadas en el proceso de lavado de filtros de agua potable, normalmente estos sistemas operan de forma manual por lo que se generan pérdidas considerables de tiempo y no se optimizan por completo los recursos destinados a estas operaciones.

Teniendo en cuenta que la globalización actual de la industria y sus diferentes mercados, obligan a que las empresas sean cada vez más competitivas, se genera la necesidad de automatizar los procesos productivos para así lograr estándares de competitividad y eficiencia, por esto la disminución en tiempos de procesos y su optimización es de gran importancia a la hora de generar ahorro de recursos y disminución de paros por fallas humanas, aquí radica la importancia de contar con sistemas autónomos y de fácil control, ya que a diferencia de los sistemas manuales se logra una mejor precisión en las tareas que realiza, y por consiguiente se obtiene una mejora notable en la calidad y ejecución del proceso productivo.

La función principal del sistema automático propuesto, es permitir al operador la activación remota desde una pantalla HMI de todas las válvulas del sistema, además del monitoreo constante de aquellas variables críticas en el proceso de lavado, como lo son nivel de agua del filtro y nivel de turbiedad del agua.

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

1.2 Antecedentes

Muchas de las plantas potabilizadoras de agua en el valle de aburra en Antioquia, no cuentan con sistemas automatizados que permitan asistir el proceso de lavado de los filtros utilizados en el tratamiento del agua, particularmente la planta potabilizadora la milagrosa en la Ceja Antioquia, no dispone actualmente de un sistema automático para el lavado de dichos filtros. Debido a esto, se generó la propuesta de diseño de un sistema automático que permita realizar algunas tareas de forma asistida, por ejemplo, el cierre y la apertura de las válvulas mecánicas actualmente es realizado de forma manual por parte de los operarios de la planta, esto genera una baja optimización del proceso de lavado de los filtros, ya que la velocidad con la que se accionen las válvula depende del operador que lo haga. En la Figura 1 se muestra el conjunto de válvulas de mariposa y volantes mecánicas para su apertura y cierre, actualmente estas válvulas están en la planta de agua potable la milagrosa en la Ceja (Antioquia).



Figura 1. Sistema actual de válvulas planta de potabilización la Ceja Antioquia. (Propia).

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

La solución al problema parte con el diseño del sistema automático que incluye el cambio de las válvulas mecánicas por electroválvulas, las cuales serán controladas a través de un algoritmo de control basado en la tecnología de PLC (control lógico programable) y una interfaz Hombre-máquina, además para lograr una mejor optimización del proceso y tiempo de lavado, se propone en el diseño del sistema automático, incluir una quinta válvula para inyectar aire al filtro, con esto se logra destruir mejor los lodos que quedan dentro de este y facilitar su lavado, esta válvula adicional llamada válvula de aire, tendrá como función principal permitir el paso de aire a la malla de PVC ubicada en el fondo del lecho filtrante para el lavado. En las Figuras 2 y 3 se muestran los diagramas correspondientes al filtro actual sin la válvula de aire, y el sistema de automatización propuesto para dicho filtro que incluye esta válvula adicional que es de tipo mariposa y el soplador de aire para la malla PVC. Todas las válvulas actuales del sistema son válvulas mecánicas de paso tipo mariposa.



Figura 2. Diagrama de válvulas filtro de potabilización actual. (Propia).

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

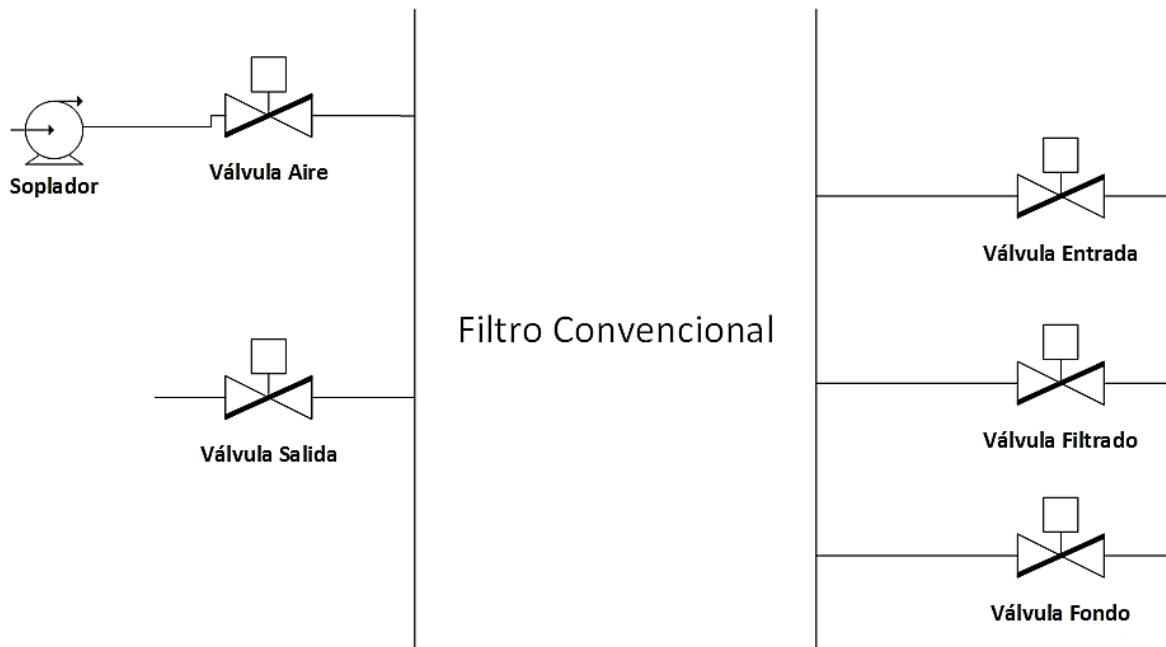


Figura 3. Diagrama filtro con adicción de válvula de aire y soplador. (Propia).

1.3 Objetivos

General

Diseñar un sistema automático para el lavado de filtros de plantas de tratamiento de agua potable con inyección de aire.

Específicos

- Diseño de diagramas tubería e instrumentos que ayuden a entender mejor el proceso de lavado.
- Caracterizar la instrumentación de la cadena de medida requerida para lograr el automatismo de la secuencia de lavado del filtro.
- Diseñar algoritmos de control para modos de operación automático y manual.
- Diseñar pantallas de monitoreo y operación para la interfaz HMI que el usuario utilizará.

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

1.4 Organización del trabajo

El trabajo se dividió en 4 secciones que permiten dar una idea general y global de los aspectos más relevantes de la implementación del sistema automatizado para el lavado de filtros de agua potable, la primera sección, el marco teórico, aborda una serie de conceptos básicos generales y no muy detallados sobre los diferentes aspectos técnicos y elementos utilizados en la propuesta del automatismo, se describen de manera corta y precisa que es un PLC, una pantalla HMI, una red Ethernet, además se hace una breve explicación sobre los software computacionales empleados en la programación del automatismo y se indican algunos parámetros y elementos propios del filtro, esto con el fin de dar al lector una idea clara de esos aspectos técnicos propios de la especialidad (ingeniería Mecatrónica) que pueden no ser de conocimiento general.

La segunda sección del trabajo presenta una metodología que parte desde el análisis de las condiciones físicas actuales de las válvulas, empleadas en el funcionamiento del sistema de lavado para filtros de agua potable y de las condiciones y parámetros actuales del sistema manual, con base a estos parámetros y a las necesidades del usuario, se plantea la selección de los equipos automatizados más aptos para la tarea y compatibles entre sí, se realiza una descripción general del funcionamiento del filtro y de los posibles modos de operación a automatizar (modo manual y automático), todas las actividades propuestas en la metodología tienen el propósito de cumplir los objetivos específicos ya planteados.

En la tercera sección se describen los resultados obtenidos desde el punto de vista de las simulaciones realizadas en el software Fstudio, en este apartado se valida la funcionalidad de la programación del PLC, los modos de operación manual y automático programados del sistema y la organización general de las diferentes ventanas de la interfaz HMI.

Finalmente en la cuarta sección se presentan las conclusiones y el trabajo a futuro, la idea como tal de la propuesta del automatismo es poder lograr su implementación, por lo que se presentan una serie de conclusiones finales acerca del funcionamiento del automatismo diseñado y algunas propuestas de como el sistema automático puede mejorarse para hacerlo mucho más autónomo y eficiente.

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

2 MARCO TEÓRICO

La idea central de esta sección es poder aclarar conceptos generales de automatización y realizar una pequeña descripción de aquellos sistemas y elementos de control empleados en la propuesta de diseño, también se presentan de manera corta los software empleados para la programación del PLC y pantalla HMI, del mismo modo se menciona información relevante sobre filtros potabilizadores, tipos de filtros, funcionamiento y componentes principales.

2.1 Automatización industrial

Automatización viene de la palabra automática, que se define como el conjunto de métodos y técnicas que se usan como herramientas para la sustitución de personas en tareas físicas y mentales (Ponsa & Granollers, 2009) , para el caso puntual automatización industrial es la aplicación de la automática al control de procesos industriales, es la rama de la ingeniera encargada de controlar máquinas y procesos de manera óptima y precisa (microautomacion, 2011), normalmente aplica para todo tipo de procesos secuenciales y de lógica que en algunos casos incluye el control de variables universales como lo son la temperatura y la presión.

La automatización de procesos industriales emplea una serie de dispositivos electrónicos programables para el control y monitoreo de las diferentes señales y variables presentes en procesos secuenciales; a continuación se hace una breve descripción de aquellos elementos más importantes y necesarios para la automatización de un proceso cualquiera.

2.1.1 Controlador lógico programable (PLC)

Un controlador lógico programable es un dispositivo electrónico digital que posee una memoria interna de almacenamiento que le permite guardar instrucciones para ejecutar funciones lógicas específicas como secuenciación, temporización, conteo y operaciones

aritméticas como suma, resta, multiplicación y división, los PLC suelen incluir módulos extras de entradas y salidas digitales /análogas que permiten manejar una gran variedad de sensores y actuadores en el campo de la automatización industrial (Prieto, 2007).

Un PLC es como un pequeño computador programable el cual se controla mediante la aplicación de un software que contiene las funciones lógicas y operaciones que este debe realizar, las señales de entrada para el PLC pueden venir de elementos digitales como sensores finales de carrera, detectores de posición, o de sensores analógicos de temperatura, presión, humedad entre otros. Las señales de salida son las que el PLC entrega una vez ha ejecutado el software de control, estas señales pueden ser digitales o analógicas y los diferentes actuadores pueden ser válvulas, luminarias, otro PLC, un motor etc. (Prieto, 2007).

En la Figura 4 se puede apreciar un controlador lógico programable el cual posee módulos adicionales en los cuales se pueden conectar sensores, pantalla HMI y actuadores, todos configurados desde un software de control hecho en un computador.

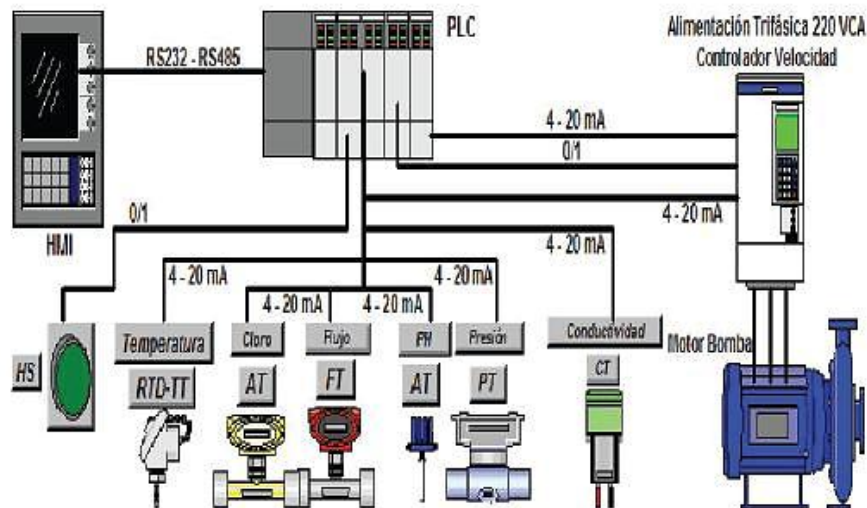


Figura 4. Esquema general de un controlador lógico programable. (Quezada, López, García, & Aquilar, 2014).

2.1.2 Interfaz Hombre-Máquina o pantalla HMI

HMI o “human machine interface” por sus siglas en inglés, es el sistema que permite poner a disposición las diferentes funcionalidades de un sistema de automatización y control al

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

usuario que lo requiera (Romero, 2011). Una pantalla HMI es una interfaz gráfica que tiene como principal función, ayudar a los operarios y personal de mantenimiento en el control y monitoreo de los diferentes procesos industriales permitiendo modificar y supervisar variables directas del sistema como velocidad de un motor, recetas y modos de operación de un equipo manual y/o automático (Electro Industria, 2013), estas pantallas normalmente son táctiles y ofrecen una visualización rápida y amigable al operario del proceso por medio de imágenes, gráficos, y una gama de cuadros de textos, alertas visibles y botones, que a su vez le permite interactuar y modificar directamente variables y parámetros del proceso de la maquina o el equipo (Electro Industria, 2013). En la Figura 5 se puede apreciar una serie de pantallas táctiles utilizadas en la industria y fabricadas por la compañía alemana siemens.



Figura 5. Pantallas HMI marca siemens (Siemens España, 2017).

2.1.3 Ethernet industrial

Se conoce como Ethernet al estándar de transmisión de datos por medio de redes de área local, en la cual se interconectan una serie de equipos como ordenadores y servidores por medio de elementos físicos como cables y conectores (Vialfa, 2017).

En la figura 6 se muestra una configuración básica PLC-HMI, realizada en el software TIAPORTAL de siemens por medio de una red Ethernet indicada por la conexión verde.

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

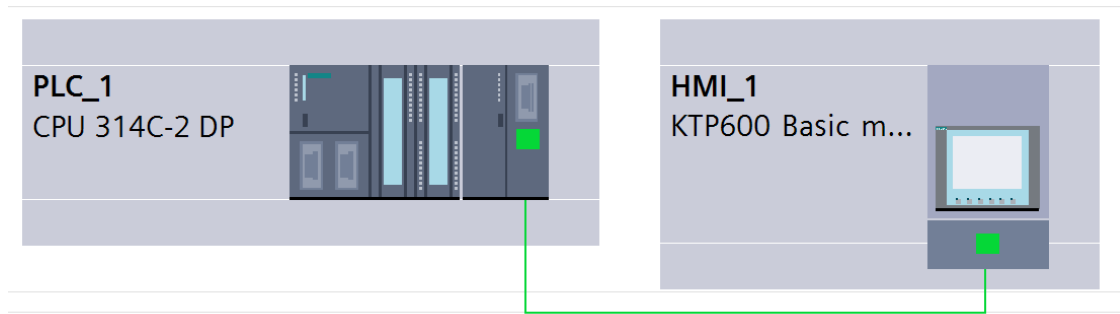


Figura 6. Conexión estándar entre PLC y pantalla HMI (propia).

Todos los dispositivos que intervienen en una red Ethernet están conectados a la misma línea de transmisión de datos y la comunicación se lleva a cabo por medio del protocolo denominado CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) por sus siglas en inglés, este protocolo permite el envío simultáneo de información generalmente de un equipo a la vez, si en algún momento dos equipos transmiten información al mismo tiempo, se generará una colisión entre la información transmitida, como Ethernet permite la transferencia de datos entre varios equipos pero solo uno puede transmitir en un determinado espacio de tiempo, lo que ocurre al detectarse una colisión es que todos los equipos presentes en la red Ethernet interrumpen su operación y dejan de transmitir información, cada equipo espera un tiempo (generalmente aleatorio) para volver a retransmitir, si al cumplirse este tiempo no hay ningún otro dispositivo en operación, se reanuda el envío de la información y no se detectará colisión. (Vialfa, 2017).

Esta tecnología se popularizó a tal punto que hoy en día Ethernet se usa en aplicaciones de control y automatización a nivel industrial, funciona bajo el mismo protocolo, pero se ha adaptado para que sea compatible con gran variedad de sistemas industriales de control como PLC, pantallas HMI, sensores, variadores de velocidad etc.

Debido a la gran expansión y el uso de redes Ethernet tanto en ambientes administrativos como industriales, este tipo de comunicación ofrece un enorme potencial que permite incrementar la producción y reducir costos en aplicaciones automáticas de la industria, las ventajas de esta red radican principalmente en su facilidad de implementación, bajo costo, velocidad de transmisión de datos y calidad de estos, haciéndola un medio confiable y compatible con la mayoría de dispositivos de comunicación modernos.

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

En la Figura 7 se puede observar una red Ethernet industrial que intercomunica dispositivos de control como PLC, pantalla HMI y un computador.

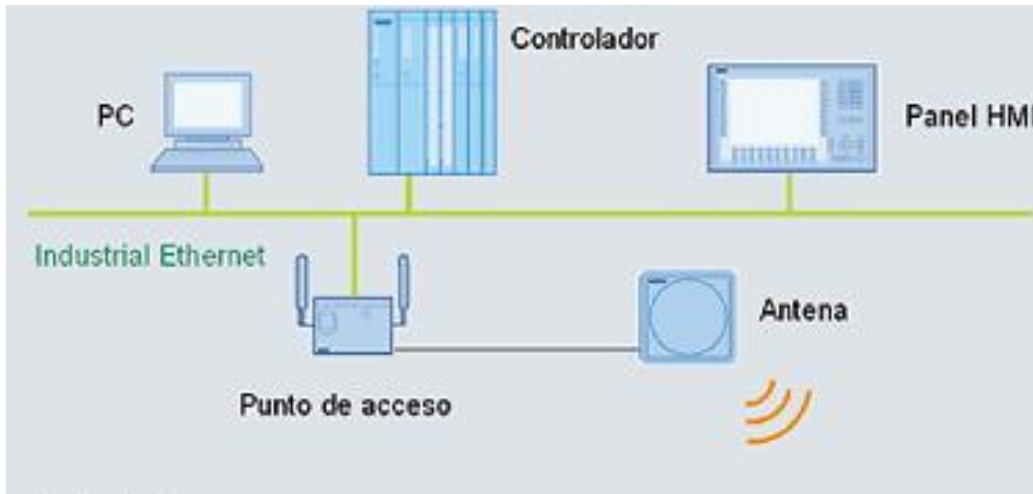


Figura 7. Red Ethernet industrial (*Electro Industria* , 2009).

2.1.4 Fstudio 2.0

Es un software de configuración para pantallas HMI desarrollado por la compañía de origen chino FLEXEM, Fstudio es una herramienta que se usa para programar, configurar y desarrollar interfaces gráficas para las pantalla táctiles resistivas y capacitivas de la marca FLEXEM, este software en particular posee una interfaz de usuario fácil de usar y un ambiente de desarrollo amigable e intuitivo que permite maximizar la creatividad, eficiencia y productividad a la hora de desarrollar e implementar proyectos a nivel industrial que utilicen una pantalla como interfaz entre usuario y proceso.

Funciona con sistemas operativos Windows 7 o superior (aunque también existe una versión para XP), su licencia de funcionamiento es gratuita y se puede descargar directamente del siguiente enlace <http://fs.flexem.com/en>, por tanto las compañías que adquieran estos productos se ahorran costos relacionados con licencias para software de desarrollo y configuración de HMI. En la Figura 8 se puede apreciar la interfaz principal de desarrollo para el usuario.

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

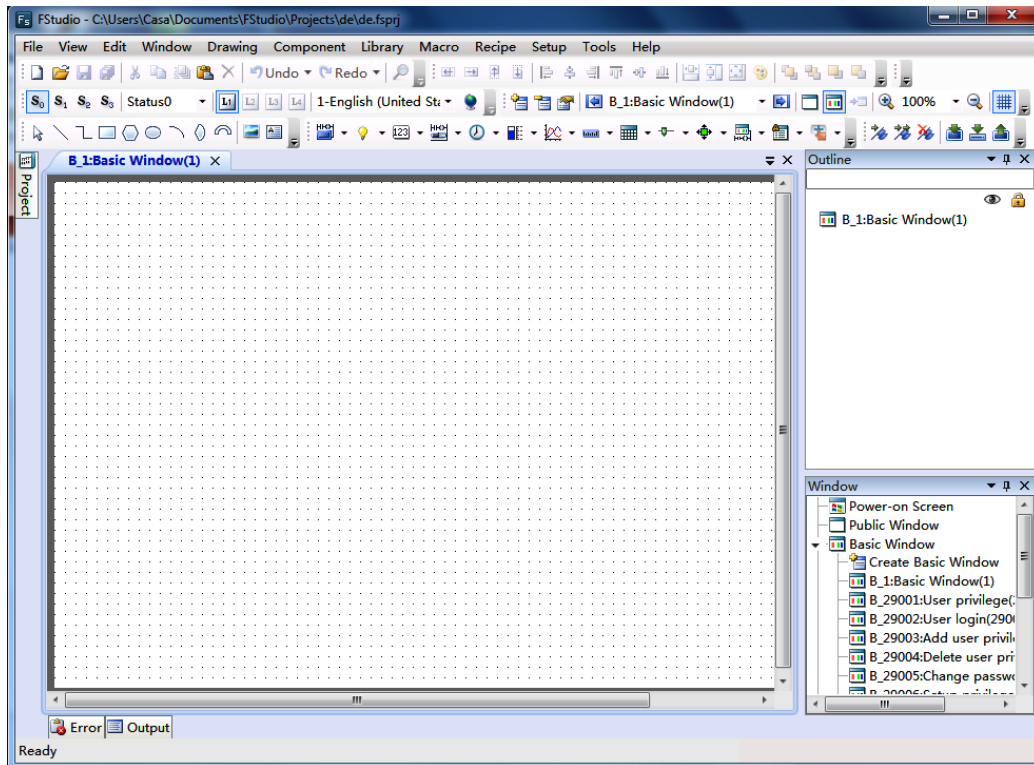


Figura 8. Interfaz principal de usuario Fstudio 2.0 (propia).

2.1.5 Flexlogic

Flexlogic es una interfaz de desarrollo diseñada por la compañía China FLEXEM, esta herramienta permite la programación de PLC marca FLEXEM usando el lenguaje de programación ladder o escalera, este software en particular posee una interfaz de usuario fácil de usar y un ambiente de desarrollo amigable e intuitivo que permite maximizar la creatividad, eficiencia y productividad a la hora de desarrollar e implementar proyectos a nivel industrial que utilicen un PLC FLEXEM como dispositivo de control, el software es gratis y de libre uso, por lo que no se requiere pagar licencias de funcionamiento. En la Figura 9 se puede visualizar la interfaz principal de desarrollo.

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

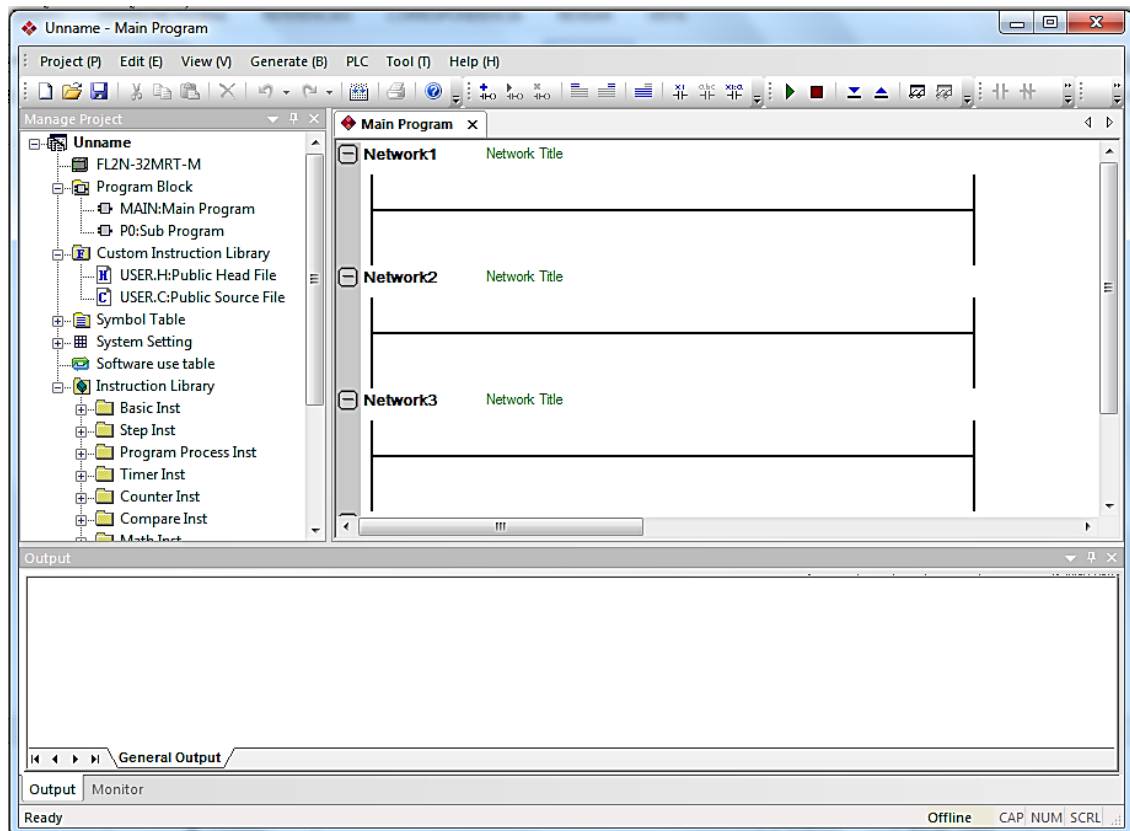


Figura 9. Interfaz principal de usuario Flexlogic (propia).

2.2 Sistema de filtración

El proceso de filtración de agua es un método de acción mecánica que normalmente emplea un elemento sólido como medio filtrante, este medio filtrante puede ser arena, tierra etc. (The National Environmental Services Center, 2009), estos filtros funcionan como un colador, impidiendo el paso de partículas sólidas que pueden contener material contaminante y microorganismos perjudiciales para la salud humana. Los sistemas de filtración normalmente funcionan haciendo pasar el agua a través de materiales y lechos granulares (arena o grava) que permiten retener todos los contaminantes presentes en esta (Koshland, 2017), dependiendo de la eficiencia y el tipo de filtro se puede lograr eliminar la mayoría de patógenos y bacterias perjudiciales. Existe una variedad de sistemas de filtración los cuales se diferencian entre sí principalmente por el tipo de lecho filtrante que

utilizan y en algunos casos el uso de sustancias químicas que permiten mejorar la retención de las partículas y material sólido en el lecho filtrante. A continuación se hace una breve descripción de los tipos de filtros más comunes y empleados actualmente para la filtración de agua tanto a nivel industrial como residencial.

2.2.1 Tipos de filtros

Filtros convencionales

Estos sistemas de filtración, utilizan medios granulares como arena para retener y retirar contaminantes presentes en el agua, normalmente son de baja eficacia ya que es común utilizarlos para corregir problemas de turbiedad y color, así como también para eliminar algunos microorganismos como giarda y criptosporidium presentes en el agua (Koshland, 2017). En este tipo de filtrado se hace un pretratamiento químico al agua que consiste en añadir sales de hierro y aluminio, lo cual permite juntar en grumos todas las partículas en suspensión que se encuentran en el agua para que estas sean mucho más fáciles de retener mediante el lecho filtrante.

La Figura 10 muestra las partes y componentes básicos de un filtro convencional.

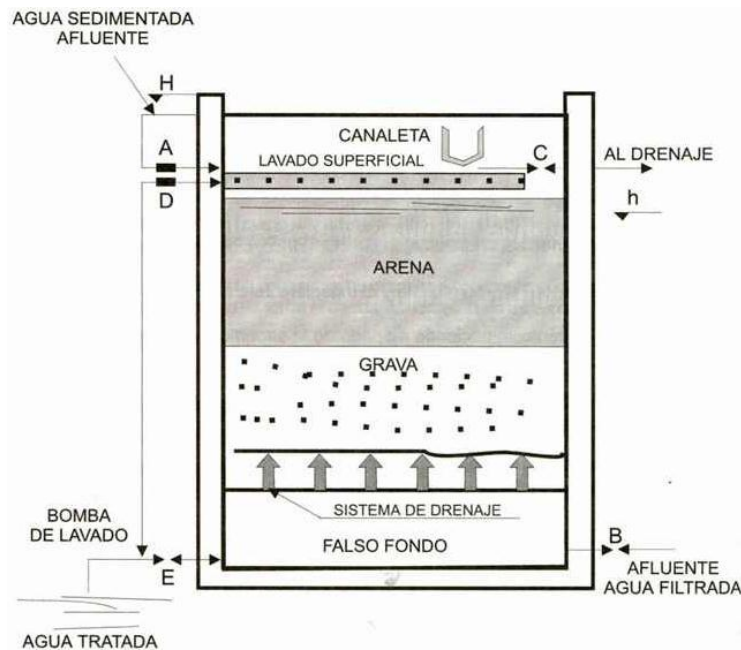


Figura 10. Filtro convencional de agua (Giraldo, Escobar, & Taborda, 1999).

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

Filtros con tierra diatomácea

Estos filtros son utilizados para eliminar físicamente todo el material particulado suspendido en el agua, utiliza tierra diatomácea que es una sustancia similar a la harina que se fabrica a partir de restos fosilizados y triturados de las diatomeas un organismo unicelular que habita en los océanos , el agua pasa a través de este material impulsada por bombas a alta presión, a diferencia de otros sistemas de filtración este en particular no utiliza pretratamientos químicos para la formación de grumos del material particulado presente en el agua, este método de filtrado se utiliza en aguas poco turbias y sin presencia de contaminantes orgánicos. En la Figura 11 se puede apreciar la tierra diatomácea empleada por estos filtros.



Figura 11. Tierra diatomácea (*Flexicon, 2012*).

Filtros de acción lenta con arena

Este tipo de filtros son muy eficaces para eliminar la mayoría de microorganismo que causan enfermedades y que están presentes en el agua no tratada, su funcionamiento consiste en dejar pasar el agua lentamente a través de un lecho de arena de unos 0,6 a 1,2 metros de profundidad, no son aptos para filtrar aguas que tengan cloro, ya que normalmente en la arena se crean colonias de bacterias benéficas que son las encargadas de limpiar el agua y que son susceptibles a este (Koshland, 2017) .

Estos filtros de arena son muy útiles para tratar aguas con bajos niveles de turbidez y algas, son filtros muy sencillos, fáciles de instalar, requieren poco mantenimiento y bajos costos de operación. En la Figura 12 se muestra un sistema de filtración de arena.

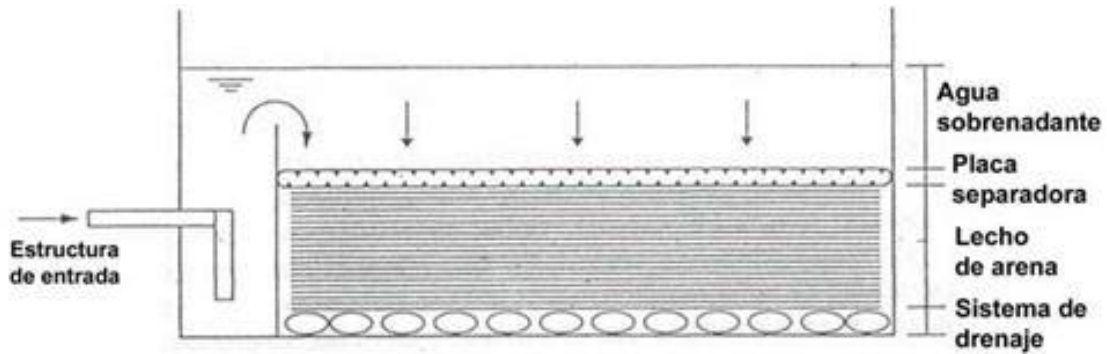


Figura 12. Filtro de acción lenta con arena (*Apuntes ingeniería civil, 2010*).

Filtros con bolsa y cartucho

Estos filtros tratan el agua pasándola por una serie de materiales porosos que eliminan y retienen los contaminantes, son sencillos y fáciles de operar pero no son muy útiles para eliminar la mayoría de microorganismos perjudiciales para la salud del hombre, son especialmente aptos para tratar aguas de buena calidad y con poca turbidez (Koshland, 2017).

Estos filtros emplean cartuchos y bolsas que contienen los materiales porosos de filtración, en la Figura 13 se muestra una serie de cartuchos estándares para filtros de este tipo.



Figura 13. Cartuchos para filtros purificadores (*allbiz, 2017*).

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

Filtros de cerámica

Estos filtros normalmente tienen forma de maceta o tazón, están impregnados con plata coloidal como medio desinfectante y para prevenir el crecimiento de algas y bacterias dentro del filtro, la plata coloidal es una solución compuesta por agua y pequeñas partículas de plata pura, que se utiliza en filtros potabilizadores por su alta eficiencia y efectividad para destruir bacterias, hongos y virus presentes en agua no purificada (Gomez, 2008), este filtro se coloca sobre un receptáculo plástico o cerámico con capacidad de 20 a 30 litros con un grifo. Algunos ensayos de laboratorio han demostrado que el uso y fabricación adecuado de estos filtros puede llegar a eliminar casi por completo todas las bacterias y parásitos protozoarios en el agua a tratar (Koshland, 2017).

La principal desventaja de este tipo de filtros es que su mantenimiento es bastante crítico y puede verse afectada la calidad del agua filtrada debido a un mal mantenimiento de este, es muy útil si se utiliza con buenas prácticas de almacenamiento, limpieza y mantenimiento rutinario. Estos filtros poseen la ventaja de ser muy baratos y tener una vida útil muy larga. La Figura 14 muestra un dibujo del filtro de cerámica y sus partes principales.

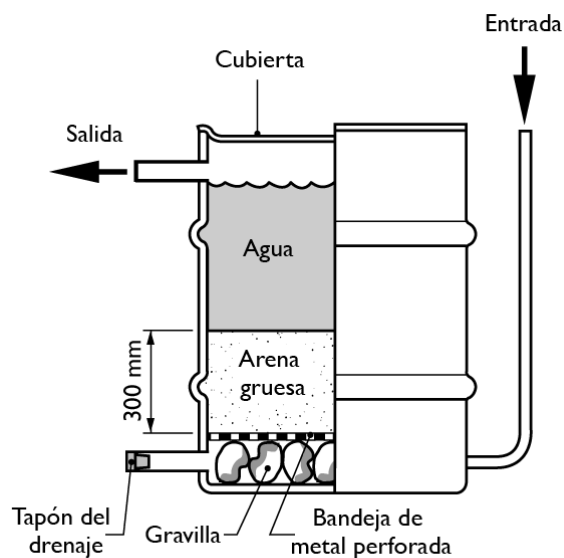


Figura 14. Filtro de cerámica (Reed, 2011).

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

2.3 Componentes filtro convencional

Los filtros convencionales mencionados en el numeral 2.2 se describirán en detalle debido a que estos son los más comunes y empleados en las plantas potabilizadoras de agua. A continuación se detallan y explican los diferentes elementos encontrados en estos filtros, los cuales permiten su correcto funcionamiento y operatividad para purificar el agua proveniente de ríos y nacimientos naturales, también se detallan algunos componentes adicionales encontrados en la automatización del sistema de lavado del filtro.

2.3.1 Válvulas de paso

Una válvula de paso es un dispositivo mecánico que se utiliza para dar paso o cortar el flujo de agua o de algún gas que fluye a través de una tubería, existen varios tipos de válvulas de paso y su uso varía dependiendo del tipo de material que va a fluir en ella y los valores de caudal y presión de este, estas válvulas se diferencian entre sí por el tipo de elemento interno utilizado para cortar o permitir el flujo de material a través de esta. A continuación se describen las principales válvulas de paso utilizadas en la industria para el transporte de agua.

Válvula tipo compuerta

Contiene un disco plano como elemento que restringe el paso del fluido a través de la tubería, es común utilizarla en aplicaciones donde el fluido transportado es agua y únicamente pueden abrirse o cerrarse por completo (ARQHYS, 2012) en la Figura 15 se muestra el interior de una válvula de compuerta tradicional, la zona verde en la parte inferior es la compuerta de la válvula.

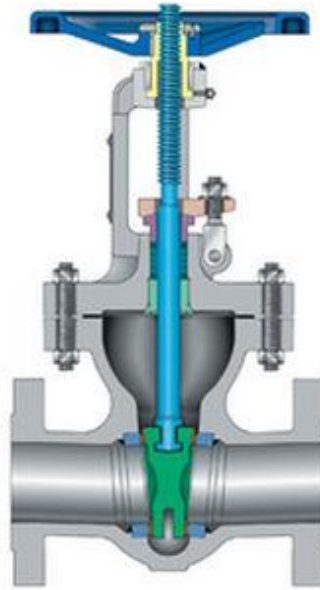


Figura 15. Válvula de compuerta (*Direct industry , 2017*).

Válvula de globo

Utiliza un tapón en forma de cono que bloquea el paso de gases o líquidos y a diferencia de la de compuerta su apertura o cierre es regulable, la Figura 16 ilustra el interior de este tipo de válvulas.

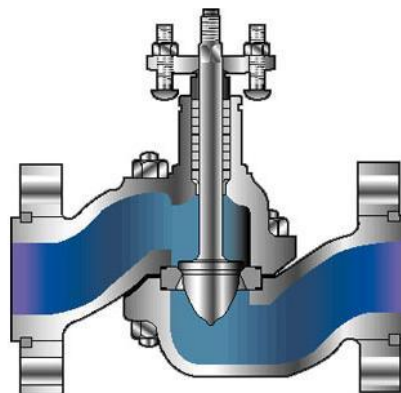


Figura 16. Válvula de globo (*Villajulca, 2010*).

Válvula de bolas

Utilizan una esfera como medio para impedir el paso de fluidos, al igual que la válvula de globo su apertura y cierre es regulable (ARQHYS, 2012), la esfera está sujeta a un vástago el

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

cual permite la apertura y cierre de esta a través de una volante. La Figura 17 muestra el interior de una válvula de bolas.



Figura 17. Válvula de bola (*Jn aceros , 2014*).

Válvula mariposa

Esta válvula está conformada por un cuerpo generalmente de hierro, acero al carbón, acero inoxidable o PVC, y un disco construido del mismo material del cuerpo que es el encargado de cortar o dar paso al fluido que pasa a través de la válvula, esta válvula a diferencia de las ya mencionadas es muy utilizada en aplicaciones de baja presión y donde se requiere una velocidad de apertura y cierre alta, generalmente estas válvulas lo hacen a un cuarto de vuelta (SC fluids, 2017), la Figura 18 muestra el cuerpo general de una válvula tipo mariposa.



Figura 18. Válvula mariposa (*Koomkin, 2017*).

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

2.3.2 Sensores

Sensor de turbiedad

La turbiedad es el parámetro que indica la claridad del agua, mide la cantidad de partículas suspendidas en esta y que tanto permiten la dispersión de la luz, a mayor dispersión de esta, mayor turbidez tiene el agua (Centre for microcomputer applications, 2015), algunos de los materiales que pueden estar suspendidos en el agua son sólidos como arcilla y arena, la turbidez se mide en unidades nefelométricas o NTU, esta unidad mide la cantidad de luz de que pasa a través del agua (Centre for microcomputer applications, 2015).

Un ejemplo de estos sensores es el bt88i (Centre for microcomputer applications, 2015) este sensor tiene un modo de funcionamiento bastante simple, consiste en un emisor de rayos de luz infrarroja el cual los dirige hacia una probeta con una muestra de agua, al interior de esta probeta hay un detector o fototransistor que permite saber qué cantidad de luz infrarroja traspasa el agua, a menor cantidad de luz recibida en el fototransistor mayor es la concentración de pequeñas partículas en el agua. En la Figura 19 se ilustra el modo de funcionamiento del sensor de turbiedad.

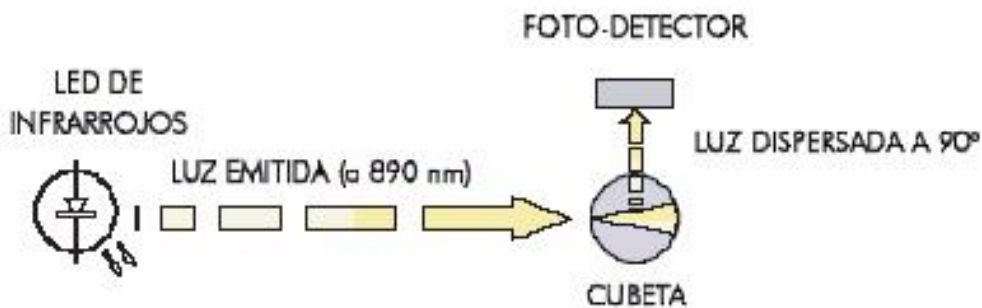


Figura 19. Funcionamiento sensor de turbiedad (Hanna Instruments , 2017).

Sensor de nivel

Un sensor de nivel es un dispositivo electrónico que permite conocer la altura de un líquido presente en un recipiente ya sea abierto o cerrado, este tipo de sensores se divide en dos clases. Los sensores de nivel de punto se emplean en aplicaciones donde solo es necesario conocer un nivel determinado del líquido en el recipiente, generalmente son usados para medir sobre llenado de un recipiente o bajo nivel, por el contrario los sensores de nivel

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

continuo son capaces de indicar en todo momento el nivel presente en el tanque en un rango específico de operación (Omega , 2013). La Figura 20 muestra una aplicación típica industrial donde es necesario medir el nivel de un líquido en un tanque para su llenado y vaciado.

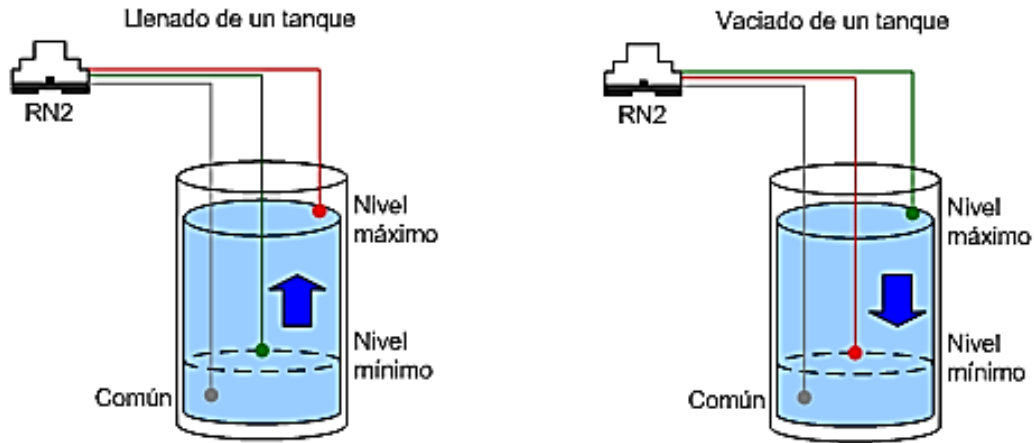


Figura 20. Sensor de nivel (Velasquez Ingenieros Asociados S.A.S., s.f).

2.3.3 Bombas centrifugas

Una bomba es un dispositivo que utiliza la energía mecánica proveniente de un motor eléctrico, a gasolina o gas y la convierte en energía hidráulica (Lorenzo, Bellon, & López, 2009) , esta energía hidráulica es aprovechada por medio de la presión del fluido que normalmente entrega una bomba a la salida, se utilizan principalmente para el desplazamiento de fluidos como el agua desde un punto de origen hasta un punto de destino (Biblioteca de ingeniería universidad de Sevilla, 2017). Las bombas centrifugas están conformadas principalmente por los siguientes elementos:

Tubería de aspiración: esta tubería se emplea como medio conductor para llevar el fluido del tanque o lugar de almacenamiento, hasta el interior de la bomba para posteriormente ser impulsado por esta a otro lugar o recipiente de destino (Biblioteca de ingeniería universidad de Sevilla, 2017).

Impulsor o rodete: está formado por una serie de alabes que giran dentro de una carcasa circular, este dispositivo va acoplado al eje del motor y es la parte móvil de la bomba

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

(Biblioteca de ingeniería universidad de Sevilla, 2017), se encarga de impulsar el fluido que ingresa por la tubería de aspiración.

Difusor: está formado por alabes fijos que permiten disminuir la velocidad del agua, convirtiendo la energía cinética del agua en energía de presión, con esto se logra un mejor rendimiento de la bomba (Biblioteca de ingeniería universidad de Sevilla, 2017).

Eje: es una pieza de sección circular que se fija al rodete y transmite la energía proveniente del motor al impulsor, esta energía mecánica aportada por el motor se transmite al agua como energía cinética que posteriormente se convierte en energía de presión y permite que el agua se impulse a través de la tubería por donde es transportada. En la Figura 21 se ilustra un diagrama con las principales partes que conforman una bomba centrífuga.

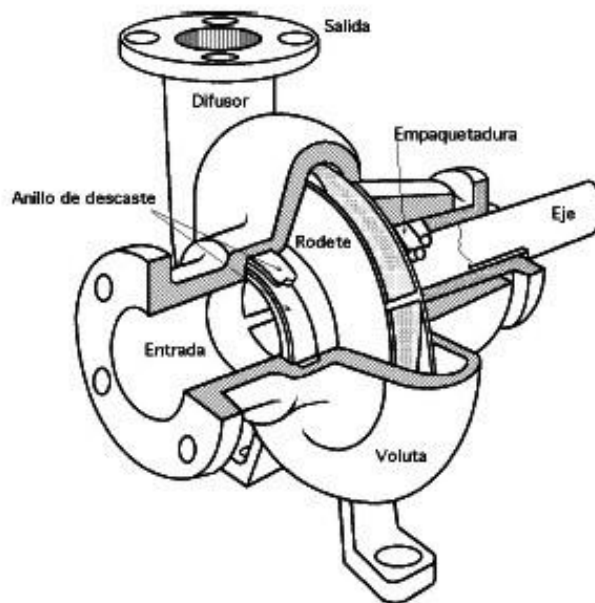


Figura 21. Partes de una bomba centrífuga (Yuba, 2015).

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

2.3.4 Compresores

Un compresor es un dispositivo mecánico diseñado especialmente para aumentar la presión o flujo de un gas (Widman & Linares, 2011), generalmente del aire atmosférico, existen algunas aplicaciones como la refrigeración domestica e industrial donde el aumento de presión se hace sobre gases como el CO₂ y el amoniaco, los cuales a altas presiones tienen la capacidad de absorber calor del medio circundante.

El uso de aire a alta presión puede ser útil en aplicaciones tan sencillas como inflar neumáticos, limpiar piezas, desempolvar equipos y maquinaria, a usos más especializados como el accionamiento de equipos neumáticos, válvulas de control y sistemas de control industrial. El ejemplo más práctico para entender cómo funciona un compresor es el típico inflador de bicicletas mostrado en la Figura 22, básicamente lo que hace un compresor es tomar el aire atmosférico y mediante el ingreso de energía mecánica ya sea con la mano en el inflador de bicicletas o mediante un motor en un compresor industrial, el aire frío que entra al compresor obtiene un incremento de presión y temperatura, lo que finalmente representa una disminución de su volumen y hace posible que el aire comprimido se pueda almacenar. Finalmente este aire comprimido permite realizar trabajo útil ya sea inflando la llanta de la bicicleta o accionando un dispositivo industrial como una válvula mecánica o un cilindro neumático (Widman & Linares, 2011).

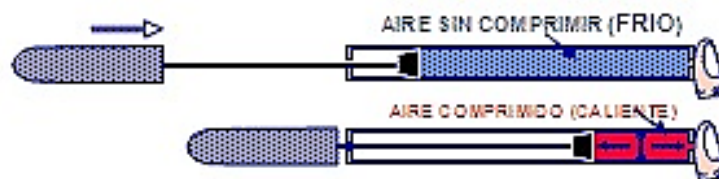


Figura 22. Inflador de bicicleta (Widman & Linares, 2011).

En la Figura 23 se pueden apreciar algunos de los tipos de compresores más comunes, todos estos compresores cumplen la misma función de comprimir aire o gases, la única diferencia entre ellos son los elementos mecánicos que emplean para aumentar la presión de este, algunos emplean pistones, otros piñones o tornillos, dependiendo del dispositivo mecánico

que el compresor utilice, variara el flujo de aire que el compresor es capaz de manejar y entregar a la salida.

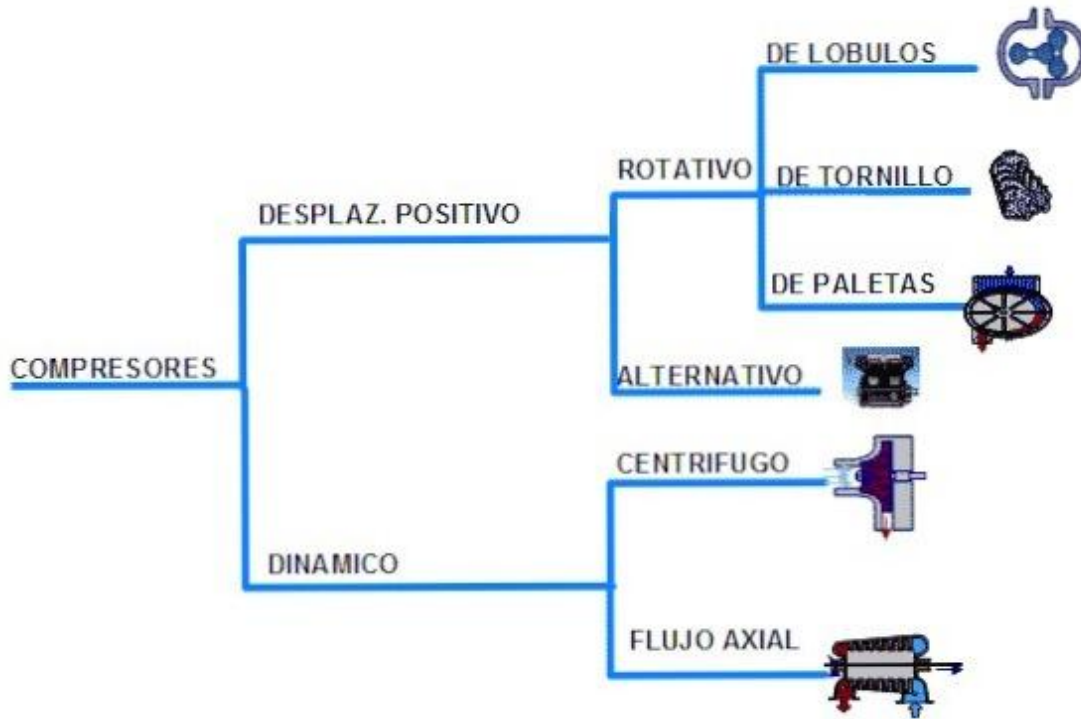


Figura 23. Tipos de compresores (Widman & Linares, 2011).

2.3.5 Tipos de tubería

Una tubería es un elemento cilíndrico hueco que normalmente se usa para transportar fluidos o gases de un lugar origen a un lugar destino, dependiendo del tipo de fluido a transportar las tuberías pueden ser de diferentes materiales, presentar rugosidades y diámetros diferentes además de poseer métodos de uniones especiales para cada tipo de material. En la Tabla 1 se listan algunos de los tipos de tuberías más comunes, con sus características principales como rugosidad, diámetro y tipo de unión.

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

Tabla 1. Tipos de tubería (Alvarez, 2017).

TIPO TUBERÍA	RUGOSIDAD EN METROS	COEFICIENTE DE MANNING	COEFICIENTE DE HAZEN WILLIAMS	DIÁMETROS COMERCIALES EN PULGADAS	TIPOS DE UNIÓN
PVC	LISO	0.009	150	1/2 - 3/4 - 1 - 1 1/4 - 1 1/2 - 2 - 2 1/2 - 3 - 4 - 6 - 8 - 10 - 12 - 14	Soldadura disolvente (unión química) - Conexiones campana y espigo a presión
Hierro galvanizado	0.00015 A 0.00020	0.015	130	1/2 - 3/4 - 1 - 1 1/4 - 1 1/2 - 2 - 3 - 4	Campana espigo - A presión con empaque de caucho - Mecánicas - Bridadas - De bola - De rosca - Victaulic - Dresser
Hierro fundido	0.00025 A 0.00050	0.013	130	1/2 - 3/4 - 1 - 1 1/4 - 1 1/2 - 2 - 3 - 4	Campana espigo - A presión con empaque de caucho - Mecánicas - Bridadas - De bola - De rosca - Victaulic - Dresser
Acero	0.0004 A 0.0006	0.012	140	1/2 - 3/4 - 1 - 1 1/2 - 2 - 2 1/2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 8 - 10 - 12 - 16 - 18 - 20 - 24 - 30	A presión - Mecánicas - Soldadura - Remachada
Cobre	LISO	0.011	140	1/4 - 3/8 - 1/2 - 3/4 - 1 - 1 1/4 - 1 1/2 - 2 - 2 1/2 - 3 - 4	Campana - De rosca - Mecánica

3 METODOLOGÍA

Para dar solución a los objetivos del proyecto propuesto, se plantean una serie de tareas a desarrollar, las cuales se agrupan en las siguientes etapas:

3.1 Estudio de las características físicas y funcionamiento del sistema de filtración

Para poder comprender el funcionamiento y las características básicas funcionales del sistema de filtración se realizó una visita a la planta potabilizadora de agua la milagrosa ubicada en la Ceja en el oriente antioqueño, allí se pudo recopilar información necesaria para el diseño del sistema automatizado para el lavado de filtros, se recopiló información relacionada al diámetro de la tubería de las válvulas del filtro y la capacidad en litros de agua que tiene el filtro para procesar, en la tabla 2 se presentan los diferentes diámetros de tubería para cada válvula del sistema, toda la tubería es de acero galvanizado.

Tabla 2. Diámetros de tubería filtro (propia).

Tubería	Diámetro (Pulgadas)
Tubería para la válvula de entrada	4
Tubería para la válvula de fondo	4
Tubería para la válvula de salida	8
Tubería para la válvula de filtrada	8
Tubería para la válvula de aire	2

La capacidad actual de la planta potabilizadora es de 30 litros por segundo, este caudal es el agua que ingresa a la planta para ser tratada. En la Figura 24 se muestra la zona para el ingreso del agua a la planta potabilizadora la milagrosa.



Figura 24. Zona de ingreso agua planta de tratamiento la milagrosa (Propia).

En la imagen de la figura 24 se logra evidenciar un medidor de color azul que va de 30 a 45 unidades, este medidor es el que indica el volumen actual de agua que está ingresando a la planta en litros por segundo para ser tratada, esta planta tiene un caudal máximo de operación de 30 litros por segundo. Igualmente se tomó información relacionada al funcionamiento manual y el método empleado para realizar el lavado de los filtros, en la Figura 25 se explica este proceso con ayuda de un diagrama de flujo que indica la secuencia que actualmente se usa para realizar las rutinas de lavado.

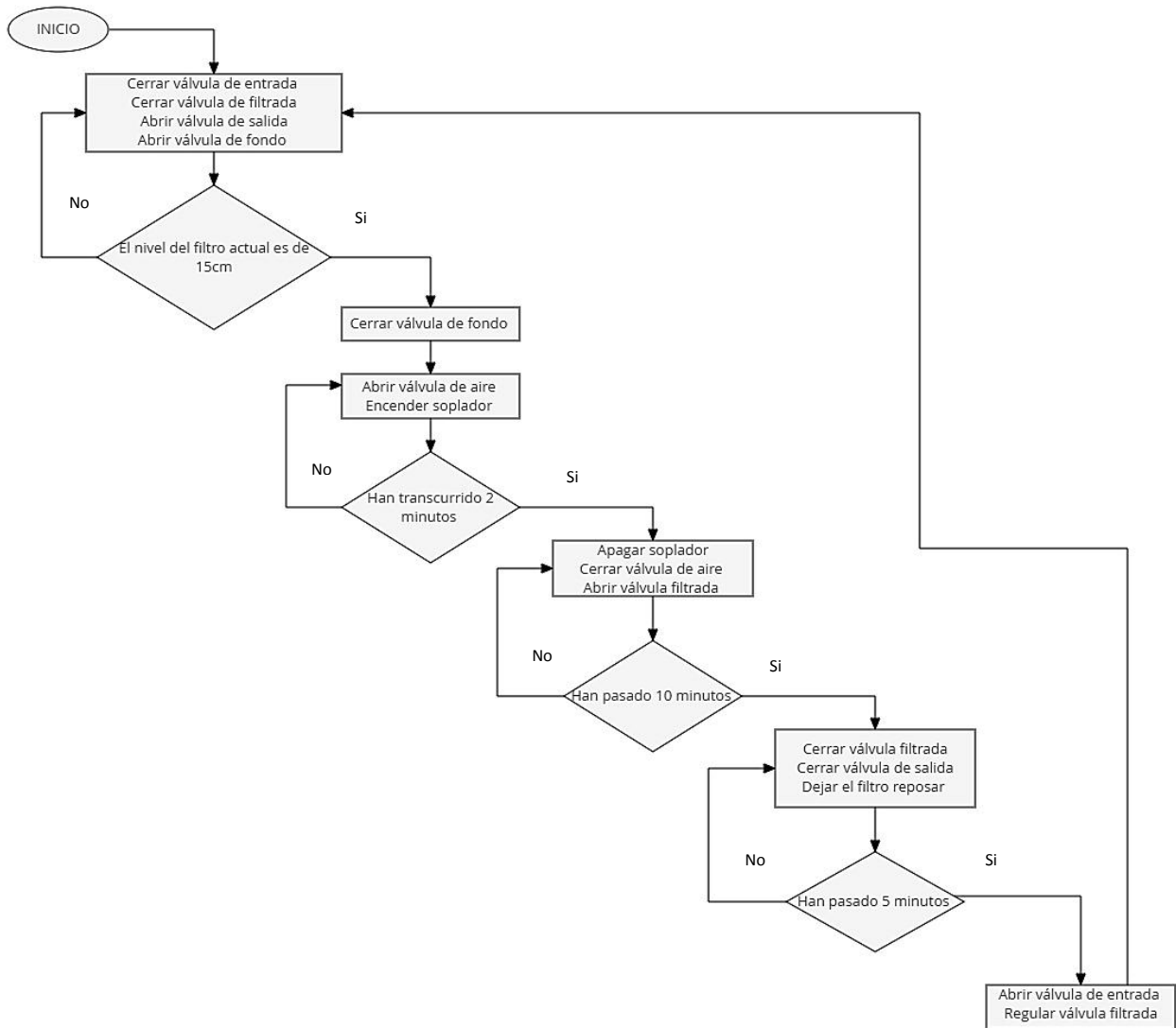


Figura 25. Diagrama de flujo rutina de lavado (Propia).

La secuencia actual de lavado básicamente consiste en abrir y cerrar las diferentes válvulas del filtro en una secuencia durante un tiempo predefinido por los operadores de la planta. Este proceso tiene como finalidad la eliminación de residuos y restos de lodos que quedan en el filtro después del proceso de potabilización del agua, es muy importante que el proceso de lavado inicie con un nivel de agua mínimo de 15 cm en el filtro, para así garantizar un correcto y óptimo lavado de este.

3.2 Diseño de diagramas de tuberías e instrumentos

Para obtener una visión más global del filtro y poder comprender bien los requerimientos y elementos necesarios para la automatización de las válvulas empleadas en el proceso de lavado, se diseña un diagrama completo de instrumentación que incluye los elementos y componentes propuestos en la automatización del filtro, en la Figura 26 se puede observar el diagrama de instrumentación que incluye los respectivos elementos de control como PLC y sensores y los diferentes actuadores (válvulas y soplador).

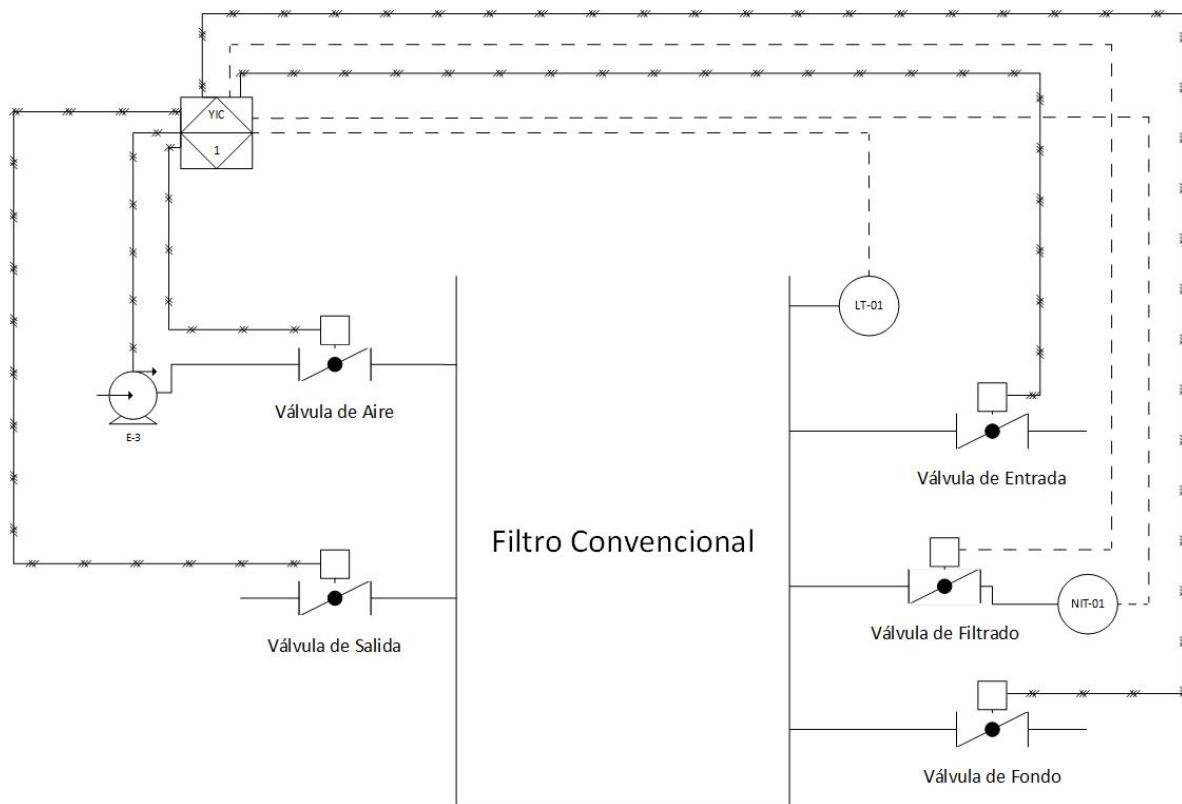


Figura 26. Diagrama de instrumentación filtro automatizado. (Propia).

Este diagrama permite verificar de manera visual todos los elementos necesarios para la automatización, incluyendo los transmisores del sensor de nivel y turbiedad, el soplador y las diferentes válvulas asistidas electrónicamente para su cierre y apertura.

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

El sistema automático propuesto cuenta con una serie de dispositivos y elementos nuevos que facilitaran su operación y optimizaran el proceso del lavado del filtro, estos elementos se describen a continuación:

Sensor de turbiedad: Es el sensor que indicará según criterios de turbiedad el momento indicado para iniciar el lavado del filtro. Este criterio está estipulado según la resolución colombiana 2115 del 22 de junio de 2007 en agua potable, página 2, capítulo 2, cuadro número 1 características físicas, con un valor máximo de turbiedad de 2 NTU en agua potable (Instituto nacional de salud, 2012). Con base a este límite máximo, se establece un rango de operación del sensor entre 0-2 NTU, el cual se implementa mediante una entrada analógica del PLC con un escalamiento de la señal de 4-20mA donde 4mA son 0 NTU y 20mA son 2 NTU.

Sensor de nivel: Es el encargado de registrar el nivel actual del filtro con el fin de determinar el momento adecuado para iniciar un lavado manual, se implementa mediante una entrada análoga del PLC como una señal escalizada entre 4-20mA donde 4 es 0% de nivel y 20 es 100% de nivel, esta señal se visualiza a través de la pantalla HMI y permite que el operador encargado de la planta decida el momento idóneo para realizar dicho lavado.

Soplador: Componente que tiene como función proporcionar el aire que se inyectará para el lavado del filtro. En la rutina del PLC el soplador funciona como una salida digital que trabaja en dos estados ON-OFF, dependiendo de si el sensor de nivel indica encendido o apagado de este.

Consola de operación: es también llamada panel de control, este panel es el encargado de contener el PLC, pantalla HMI, tablero de control y potencia donde se reciben todas las señales y se comanda la operación del sistema.

3.3 Definición de instrumentación y equipos de automatización, control y monitoreo

Una vez se determinó el funcionamiento del sistema de lavado y se identificaron todos los elementos utilizados para dicho proceso se generó una lista de todos los componentes

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

necesarios para la automatización del sistema de lavado. Los elementos necesarios para la automatización del sistema de lavado son:

- Transmisor de Nivel (sensor de nivel continuo).
- Transmisor de Turbiedad.
- Actuador eléctrico para válvula de filtrado.
- Actuador eléctrico para válvula de aire.
- Actuador eléctrico para válvula de entrada.
- Actuador eléctrico para válvula de fondo.
- Actuador eléctrico para válvula de salida.
- Bomba (Soplador).
- PLC (Controlador Lógico Programable).
- HMI (Human Machine Interface).

Transmisor de Nivel: Su principal función será informar al PLC el nivel de agua actual del filtro, con el fin de visualizarlo a través de la pantalla HMI y que el operador de la planta según criterios propios, decida el momento adecuado para realizar un lavado manual del filtro, ya que un alto nivel indica suciedad o taponamiento del lecho filtrante.

Transmisor de Turbiedad: Es el sensor que indicará al sistema cuando es el momento idóneo para empezar el procedimiento del lavado del filtro.

Actuadores: las válvulas de aire, entrada, fondo y salida, serán las encargadas de recibir la señal del PLC y se abrirán de acuerdo a la orden enviada desde el PLC por el operador.

Actuador válvula de filtrado: de acuerdo a la señal recibida del PLC la válvula se moverá gradualmente al porcentaje de apertura deseado según criterio del operador.

Soplador: Se encargará de bombear el aire al filtro. Su operación de encendido y apagado se da mediante la señal recibida del PLC.

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

PLC: Este equipo tiene principalmente las siguientes funciones:

- Leer la información de los transmisores.
- Leer los estados de las válvulas (abierta/cerrada).
- Enviar comandos a las válvulas y al soplador.
- Realizar rutinas lógicas de control para los modos de operación manual o automático.
- Identificar fallas y alarmas.
- Intercomunicar información de las diferentes variables con la pantalla HMI.

HMI: Este equipo interactúa con el operador mediante una interfaz gráfica y amigable en la cual:

- Se indican los estados de las válvulas, soplador y lectura de los transmisores.
- Se muestran las alarmas.
- Se configura modo de operación (manual o automático) para el procedimiento de lavado del filtro.
- Se registran eventos (Alarmas, Fallas etc.).

3.4 Selección de elementos y equipos de automatización

Para la selección de todos los dispositivos de control se hizo una selección previa de aquellos componentes que cumplen con las características mínimas de operación que requiere el automatismo. Como parámetros de selección se definieron las I/O de los diferentes instrumentos, contactos y elementos de control que se conectan directamente al PLC. En la Tabla 3 se pueden observar todas las entradas y salidas tanto análogas como digitales que requiere el PLC.

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

Tabla 3. Entradas y salida PLC (propia).

Tipo señal	# I/O PLC	Descripción	Tipo de señal
Entrada análoga	0	Transmisor Indicador de Nivel	Corriente
	1	Transmisor Indicador de Turbiedad	Corriente
	2	Indicador de Posición Válvula Filtrado	Corriente
Salida análoga	0	% Apertura Válvula Filtrado	Corriente
Entrada digital	0	Indicador Abierto Válvula Aire	Voltaje
	1	Indicador Cerrado Válvula Aire	Voltaje
	2	Indicador Abierto Válvula Salida	Voltaje
	3	Indicador Cerrado Válvula Salida	Voltaje
	4	Indicador Abierto Válvula Entrada	Voltaje
	5	Indicador Cerrado Válvula Entrada	Voltaje
	6	Indicador Abierto Válvula Fondo	Voltaje
	7	Indicador Cerrado Válvula Fondo	Voltaje
Salida digital	0	Comando Apertura/cierre Válvula Aire	Voltaje
	1	Comando Apertura/cierre Válvula Salida	Voltaje
	2	Comando Apertura/cierre Válvula Entrada	Voltaje
	3	Comando Apertura/cierre Válvula Fondo	Voltaje
	4	Comando Encender/Apagar Soplador	Voltaje

PLC FL2N-40MRT marca FLEXEM

Este PLC es fabricado por la compañía china FLEXEM, su software de programación es libre y no requiere pagos por licencia de operación, su costo es bajo comparado con otras marcas existentes en el mercado y además es un PLC bastante sencillo de programar y operar. En la Figura 27 se puede observar el PLC FLEXEM propuesto para la automatización. Algunas de sus características principales de operación son:

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

- CPU: ARM Córtex TM ME CPU.
- Entradas digitales: 24 entradas de alto nivel.
- Salidas digitales: 16 a transistor NPN o PNP u 8 por transistor y 8 salidas a relé.

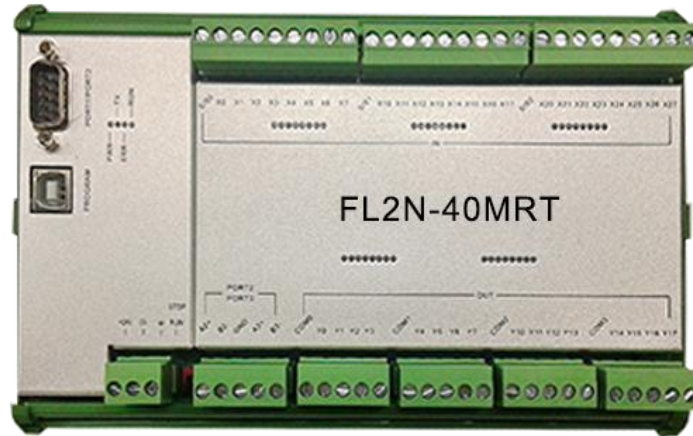


Figura 27. PLC FLEXEM FL2N-40MRT. (FLEXEM, 2015).

Pantalla HMI

La pantalla HMI se escoge con base al PLC seleccionado, por tal motivo se utiliza una pantalla HMI marca FLEXEM compatible con el PLC seleccionado. En la Figura 28 se muestra la pantalla HMI de la marca FLEXEM que se utilizará en la implementación del sistema automático.



Figura 28. Pantalla HMI FLEXEM FE4043C. (FLEXEM, 2015).

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

Sensor de turbiedad

El sensor seleccionado para la propuesta de automatización, es el que más se utiliza para la lectura de niveles de turbiedad del agua en aplicaciones industriales, es de bajo costo, fácil manejo y alta confiabilidad. Este sensor incluye transmisor para la señal medida y una pantalla que indica los valores de turbiedad medidos. En la Figura 29 se muestra el sensor a emplear.

Algunas características técnicas del sensor son:

- Rango de operación de: 0,001 a 100 NTU.
- Provee la sensibilidad, estabilidad y flexibilidad necesaria para monitorear los bajos niveles de turbidez encontrados en el agua filtrada de alta calidad.
- Es fácil de calibrar y operar. Requiere poco mantenimiento.
- Cuenta con un sistema de remoción de burbujas que le hace inmune a los cambios de flujo y presión.
- Mide la turbiedad en aguas para consumo humano, aguas residuales y aguas de procesos industriales.



Figura 29. Sensor de turbiedad (HACH, 2017).

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

Válvulas

Sustitución de válvulas mecánicas por electroválvulas

Las válvulas mecánicas que actualmente tiene el sistema de lavado de filtros en la planta la milagrosa, poseen un eje adaptado al cual se le monta una volante mecánica, este conjunto eje – volante es el que permite abrir y cerrar la mariposa interna de la válvula que se encuentra dentro del filtro. En la Figura 30 se puede apreciar la válvula de mariposa y el eje adaptado sobre esta, este eje se acopla directamente a la carcasa de la válvula.



Figura 30. Eje adaptado a válvula mariposa sistema de lavado planta la milagrosa la ceja Antioquia (Propia).

Para lograr convertir esa válvula manual en una electroválvula, lo que se hace es adaptar un actuador eléctrico y sustituir la volante mecánica por el actuador eléctrico, adaptándolo al eje de la válvula y logrando así el movimiento de la mariposa al interior de esta pero ya asistido electrónicamente.

Se tienen los datos de operación de las válvulas presentes en la planta la milagrosa (estos datos se utilizan como referencia para la selección correcta de los actuadores), los caudales de funcionamiento son un máximo de 30 litros por segundo y un mínimo de 12 litros por

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

segundo, la presión de operación es de 10 libras (el agua entra a las válvulas por gravedad cuando está viene directamente de almacenamiento) y de 210 libras cuando el agua es bombeada.

Partiendo de estos datos, el actuador mostrado en la Figura 31 se adapta y puede funcionar perfectamente en la adaptación de las válvulas.



Figura 31. Actuador eléctrico BRAY serie 70 (*Bray comercial, 2017*).

Este actuador funcionará como una señal SPDT que abrirá o cerrará la válvula mecánica correspondiente de acuerdo a la señal digital proveniente del PLC (la señal del PLC funciona en dos estados 24V/ON y 0V/OFF).

En la figura 32 se muestra el tipo de válvula de mariposa que actualmente se utiliza en la planta de agua potable la milagrosa.

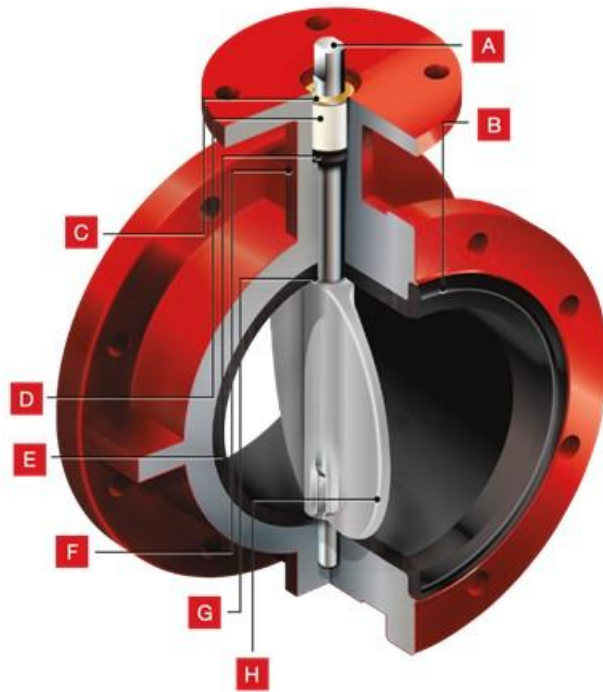


Figura 32. Válvula tipo mariposa (Bray, 2017).

En la figura 32, se logra evidenciar un pequeño eje que sobresale de la válvula marcado con la letra A, normalmente este eje viene estandarizado para acoplarse directamente al actuador eléctrico de la figura 31. Como en los filtros potabilizadores no es posible tener el actuador tan cerca de la válvula (este puede sufrir daños por humedad), lo que se hace es extender ese pequeño eje con uno más grande, como se muestra en la figura 30 hay un acople que une el pequeño eje de la válvula con el eje más largo, a este eje largo se le maquina en el extremo libre un acople similar a la cavidad del actuador eléctrico, de modo que solo es necesario acoplar el actuador en el eje extendido y la válvula quedará automatizada.

Funcionamiento de la válvula de filtrada

El actuador proporcional de la válvula de filtrada cumple la función de regular el paso de agua hacia el tanque de contacto; este tanque es el encargado de recibir el agua proveniente del filtro y es donde se agregan los diferentes químicos como el cloro que

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

permiten purificar el agua (Tejero & Romero, 2016), mediante una escalización análoga que se realiza en la programación del algoritmo de control del PLC.

Este actuador está programado en el algoritmo de control como una salida análoga con un rango de escalización de 4mA – 20mA (corriente), donde 4mA sería 0% de apertura de la válvula y 20mA 100% de apertura, en la Figura 33 se puede visualizar el actuador eléctrico proporcional que se incluiría en la válvula de filtrada.



Figura 33. Actuador proporcional (Mecánica Prismo S.L, 2016).

Este actuador se puede adaptar del mismo modo al propuesto en las otras válvulas, la única diferencia es que este posee un control análogo y se puede operar electrónicamente y de manera proporcional (el movimiento es proporcional a la señal electrónica entregada).

Sensor de nivel

Para la selección de este sensor se recopila información relevante de algunos de los diferentes sensores de nivel encontrados en el mercado y que son aptos para aplicaciones industriales, a continuación se listan algunas características técnicas de varios sensores de nivel para uso industrial.

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

Sensor SWITCH de nivel de agua en acero inoxidable

Puede ser utilizado para detectar el nivel de líquido en depósitos como tanques de agua salada y dulce, jardinería, acuarios, sistema de filtración y calefacción. Este sensor posee dos contactos normalmente cerrados, cuando el nivel del agua alcanza los valores límites dentro del tanque estos contactos se abren indicando sobre o bajo nivel. En la Figura 34 se puede observar el sensor SWITCH de nivel de agua, Algunas especificaciones técnicas del sensor son:

- Longitud del cable: 30 cm.
- Corriente de conmutación: 0.5 amperios a 110 VDC.
- Temperatura de operación: -30°C a 125°C.
- Fabricado en acero inoxidable.



Figura 34. Sensor de nivel SWITCH (*Punto flotante S.A, 2017*).

Sensor ultrasónico de nivel de agua

Apto para medir nivel de agua en recipientes abiertos o cerrados con una profundidad no mayor a los 15 metros, es pequeño, de fácil instalación y alta confiabilidad, no requiere transmisor ya que entrega una señal de 4-20mA a la salida. En la Figura 35 se puede observar el sensor ultrasónico. Algunas características técnicas del sensor son:

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

- Corriente de 4 a 20mA.
- Fuente de alimentación 12/24VDC.
- Humedad de almacenaje: <70%RH.
- Protección IP65.



Figura 35. Sensor ultrasónico de nivel (QYE, 2017).

Sensor de nivel ultrasónico con indicador electrónico

La altura del nivel del líquido se calcula por el tiempo que tardan los impulsos ultrasónicos en viajar desde el sensor hasta la superficie del medio y volver. Se utiliza en plantas de agua potable de 1500 a 5000 metros cúbicos en su entrada. En la Figura 36 se muestra el sensor ultrasónico con indicador electrónico.



Figura 36. Sensor ultrasónico de nivel con indicador electrónico (*Pepperl-Fuchs, 2017*).

El sensor que se eligió fue el mostrado en la figura 36, este sensor es de fácil instalación, confiable de bajo costo y se adapta a las características físicas y dimensiones del filtro.

Soplador

La función del soplador dentro del sistema automatizado es proveer aire a una malla de PVC ubicada al interior del filtro, en la Figura 37 se puede observar la instalación de dicha malla de PVC dentro de un filtro de agua convencional. Esta malla actualmente se encuentra instalada en los filtros de la planta la milagrosa.



Figura 37. Malla de PVC para inyección de aire (propia).

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

El soplador seleccionado en el diseño del automatismo y que se muestra en la Figura 38, cumple con una serie de características importantes que permiten proporcionar la presión de aire suficiente para inyectar aire dentro de la malla PVC.



Figura 38. Soplador industrial (SAE, 2017).

Dentro de estas características se destacan:

- Flujo de hasta 26,000 CFM
- Presión de trabajo de 28 PSI
- Vacío 16 inHg
- Vacío húmedo 24 inHg

Actualmente este soplador se encuentra en la planta potabilizadora la milagrosa en la ceja Antioquia, por este motivo se selecciona dicho soplador para utilizarlo en la implementación del sistema automatizado que inicialmente se pretende implementar en la planta de agua potable de la ceja.

Características técnicas del soplador (SAE, 2017)

- Sopladores lobulares de desplazamiento positivo.
- Silenciadores combinados de cámaras y absorción para atenuar el ruido.

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

- Base oscilante del motor eléctrico que permite mantener automáticamente una tensión correcta.
- Filtro/silenciador de aire en la succión con 98% de eficiencia.
- Silenciador de cámaras que reduce el nivel de ruido.
- Guarda poleas tipo OSHA.
- Conjunto soplador diseñado para cada proyecto específico.
- Poleas con manzana de acero extraíble y balanceo dinámico.
- Motores eléctricos totalmente cerrados enfriados por ventilador con opción de motores a prueba de explosión.

3.5 Diseño de algoritmo de control

Para el desarrollo del algoritmo, es importante conocer el funcionamiento actual del sistema a automatizar, los requerimientos del usuario sobre las variables a controlar y la identificación de los equipos, por esta razón el algoritmo de control se diseñó con base al conocimiento de los operadores que manejan este proceso diariamente y de acuerdo a la información relevante que para ellos es crucial al momento de tomar decisiones. Principalmente se definen las siguientes partes del algoritmo:

Proceso de lavado de filtro

Esta rutina es fundamental cuando se determina que el agua tiene altos niveles de turbiedad y cuando el filtro se encuentra en operación normal dado por el estado de las válvulas (Entrada=Abierta, Salida=Cerrada, Fondo=Cerrada, Aire=Cerrada, Filtrada=De acuerdo al porcentaje de apertura según criterio operador). Cuando esta condición se cumple se procede con el proceso del lavado del filtro, este lavado podrá realizarse mediante dos (2) modos:

Modo Manual: El operador de acuerdo a su criterio abrirá, cerrará las válvulas, regulará el porcentaje de apertura de la válvula de filtrado y encenderá o apagará el soplador. En este

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

modo se programarán unas pequeñas secuencias lógicas para proteger la infraestructura del sistema de lavado de aire, estas lógicas son:

1. El soplador no se puede encender si la válvula de aire está cerrada.
2. La válvula de aire no se puede cerrar si el soplador está encendido.

Modo Automático: Este modo funcionará siempre y cuando ninguna válvula se encuentre en estado de mantenimiento. La rutina de lavado en modo automático se describe a continuación:

1. Se cierra la válvula de entrada.
2. Se abre la válvula de salida.
3. Se abre la válvula de fondo.
4. Se cierra la válvula de filtrado.
5. Cuando el nivel del filtro sea bajo se cierra la válvula de fondo.
6. Se abre la válvula de aire.
7. Se enciende el soplador.
8. Se sopla durante dos (2) minutos.
9. Se apaga soplador.
10. Se cierra la válvula de aire.
11. Se abre la válvula de filtrado de acuerdo con el porcentaje enviado por el operador.
12. Después de siete (7) minutos se cierra la válvula de salida.
13. Se abre válvula de entrada.

Durante la ejecución de los comandos de apertura y cierre de las válvulas, se evaluará si efectivamente se ejecutó la orden enviada, de no ser así se generará una falla, se registrará la alarma y se indicará al operador de dicha anomalía, si esto ocurre, inmediatamente el sistema sale del modo automático y entra en modo manual.

Declaración I/O en el software Flexlogic

Se define el tipo de PLC a utilizar, se escoge el modelo de 12DI y 12DO, adicionalmente se declara un módulo de expansión de 4AI y 4AO. En la Figura 39 se muestra la ventana de selección del PLC en el software flexlogic, en la Figura 40 se visualiza la ventana para la delaracion de las entradas y salida digitales del PLC y en la Figura 41 se muestra la ventana para la programacion de las entradas y salidas analógicas del PLC.

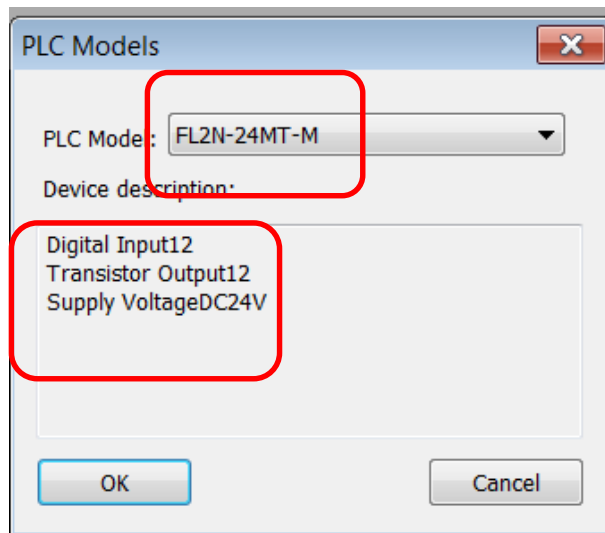


Figura 39. Selección de PLC Flexlogic (Propia).

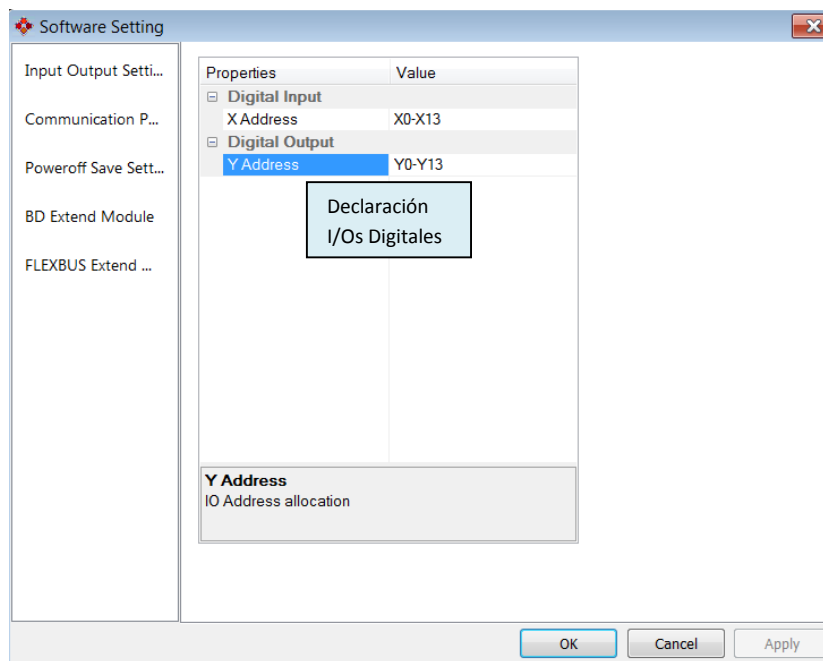


Figura 40. Ventana para declaración de entradas y salidas digitales Flexlogic (Propia).

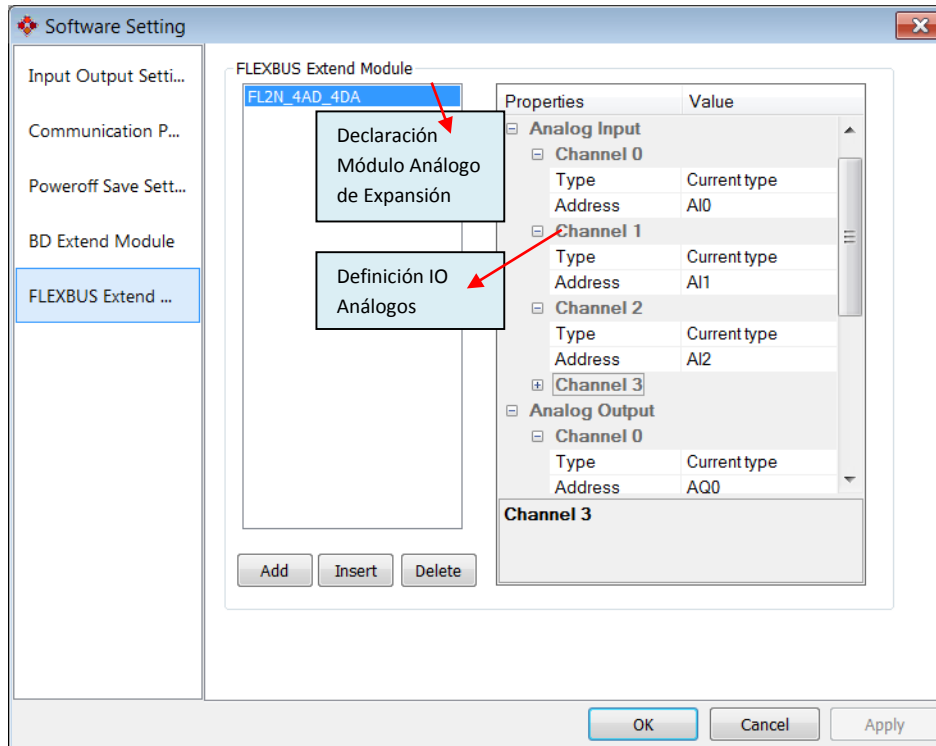


Figura 41. Ventana para declaración de entradas y salida analógicas Flexlogic (Propia).

Declaración Variables Programa PLC

Se definen las variables a utilizar para desarrollar la lógica del programa del PLC. La nomenclatura de la dirección de las variables se denota en la Tabla 4:

Tabla 4. Variables programación del PLC (Propia).

Prefijo Dirección	Descripción
X	Entrada Digital PLC
Y	Salida Digital PLC
AI	Entrada Análoga PLC
AQ	Salida Análoga PLC
M	Variable Booleana de memoria PLC
D	Variable Análoga de memoria PLC
T	Timmer PLC

En las Tabla 5, 6 y 7 se muestran todas las variables empleadas en el software Flexlogic para la programación de las rutinas en lenguaje ladder.

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

Tabla 5. Variables programación ladder (Propia).

Dirección	Símbolo
D0	Estado válvula aire
D1	Estado válvula salida
D2	Estado válvula entrada
D3	Estado válvula fondo
D4	Estado soplador
M0	Comando válvula aire
M1	Comando válvula salida
M2	Comando válvula entrada
M3	Comando válvula fondo
M4	Comando soplador
M5	Reinicio válvula aire
M6	Reinicio válvula salida
M7	Reinicio válvula entrada
M8	Reinicio válvula fondo
M9	Mantenimiento válvula aire
M10	Mantenimiento válvula salida
M11	Mantenimiento válvula entrada
M12	Mantenimiento válvula fondo
M13	Falla apertura válvula aire
M14	Falla cierre válvula aire
M15	Falla apertura válvula salida
M16	Falla cierre válvula salida
M17	Falla apertura válvula entrada
M18	Falla cierre válvula entrada
M19	Falla apertura válvula fondo
M20	Falla cierre válvula fondo
X0	Indicador abierto válvula aire
X1	Indicador cerrado válvula aire
X2	Indicador abierto válvula salida
X3	Indicador cerrado válvula salida
X4	Indicador abierto válvula entrada
X5	Indicador cerrado válvula entrada
X6	Indicador abierto válvula fondo
X7	Indicador cerrado válvula fondo

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

Tabla 6. Variables programación ladder (Propia).

Dirección	Símbolo
Y0	Salida válvula aire
Y1	Salida válvula salida
Y2	Salida válvula entrada
Y3	Salida válvula fondo
Y4	Salida soplador
T0	Tiempo apertura válvula aire
T1	Tiempo cerrado válvula aire
T2	Tiempo apertura válvula salida
T3	Tiempo cerrado válvula salida
T4	Tiempo apertura válvula entrada
T5	Tiempo cerrado válvula entrada
T6	Tiempo apertura válvula fondo
T7	Tiempo cerrado válvula fondo
M21	Falla suiches válvula aire
M22	Falla suiches válvula salida
M23	Falla suiches válvula entrada
M24	Falla suiches válvula fondo
M25	Fallas válvula aire
M26	Fallas válvula salida
M27	Fallas válvula entrada
M28	Fallas válvula fondo
M29	Mantenimiento soplador
A10	Indicador nivel
A11	Indicador turbiedad
A12	Posición actuador proporcional
AQ0	Salida actuador proporcional
D5	Nivel EU
D6	Turbiedad EU
D7	Posición EU
D8	Set point EU
D9	Set point AO PLC
D10	Set point alta turbiedad
D11	Nivel L
D12	Tiempo soplado
D13	Tiempo filtrado
D14	Porcentaje apertura filtrado
D15	SP EU old
T8	Tiempo posicionador
M30	Cambio SP Vlv filtrado
M31	Falla posicionador
D16	DB posición
D17	SP+DB

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

D18	SP-DB
M32	Mantenimiento válvula filtrado
M33	Reinicio válvula filtrado
D19	Estado válvula filtrado
M34	Alta turbiedad
M35	Modo auto manual
M36	Modo auto disable
M37	Secuencia lavado auto
T9	Temporizador soplado
T10	Tiempo apagado soplador
T11	Temporizado filtrado

Programación Lógica de lavado de filtro convencional

El lenguaje de programación del PLC se basa en lo que se conoce como programación en ladder y se programa de acuerdo a la definición de pequeñas redes, cada red se encarga de una secuencia lógica del programa, la programación se detalla a continuación:

Se definen las redes para la lectura de los puntos análogos de entrada, luego se compara la lectura del transmisor de turbiedad con el ajuste de alta turbiedad para asignar si hay o no alarma. Luego se evalúa si hay alta turbiedad y si se encuentra en modo automático y este modo no se encuentra deshabilitado se asigna el valor de verdadero a la variable que se encarga de comenzar la secuencia de lavado en modo automático.

En las Figuras 42 y 43 se puede apreciar la parte inicial del código en lenguaje ladder, para ver el programa completo ver apéndice A.

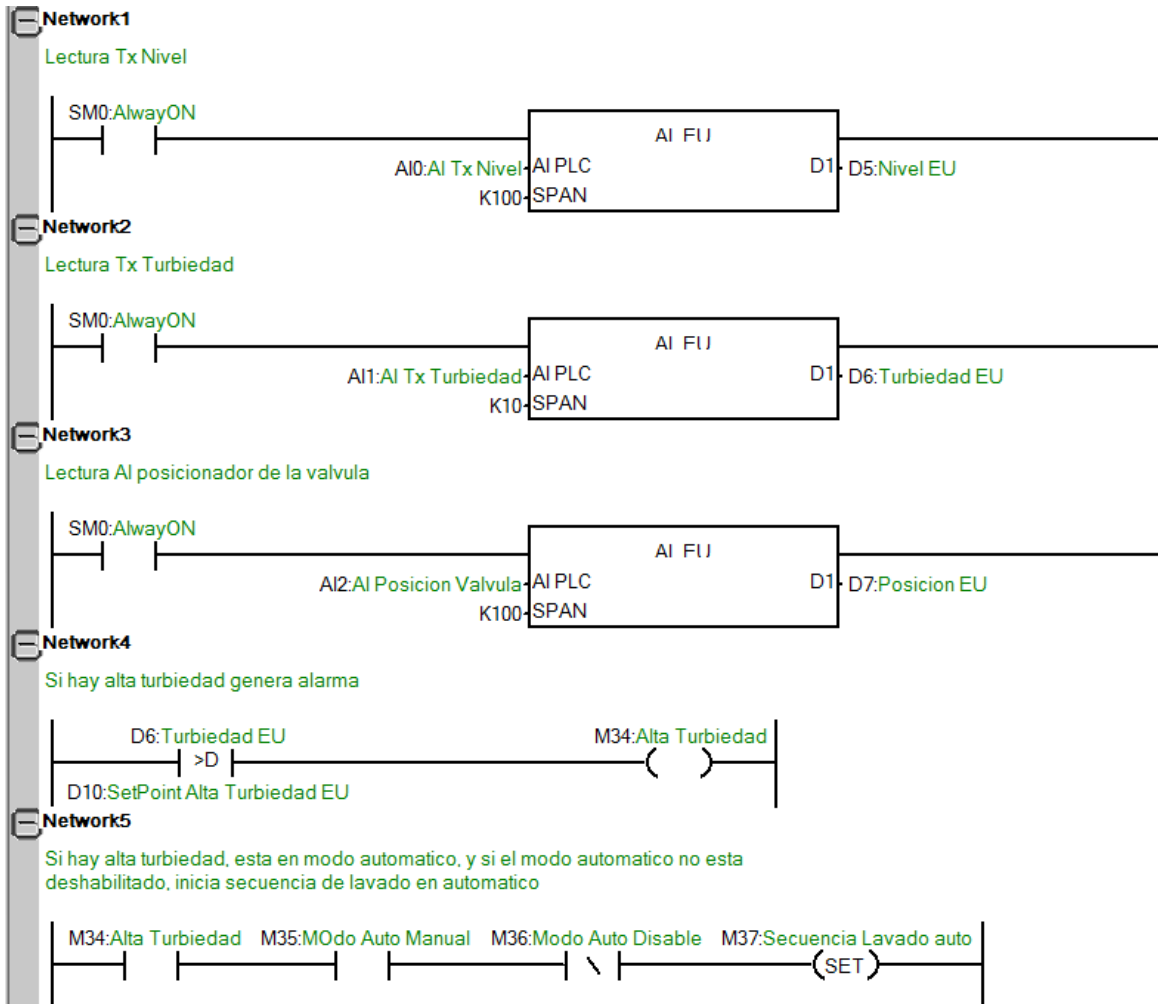


Figura 42. Diagrama ladder Flexlogic (Propia).

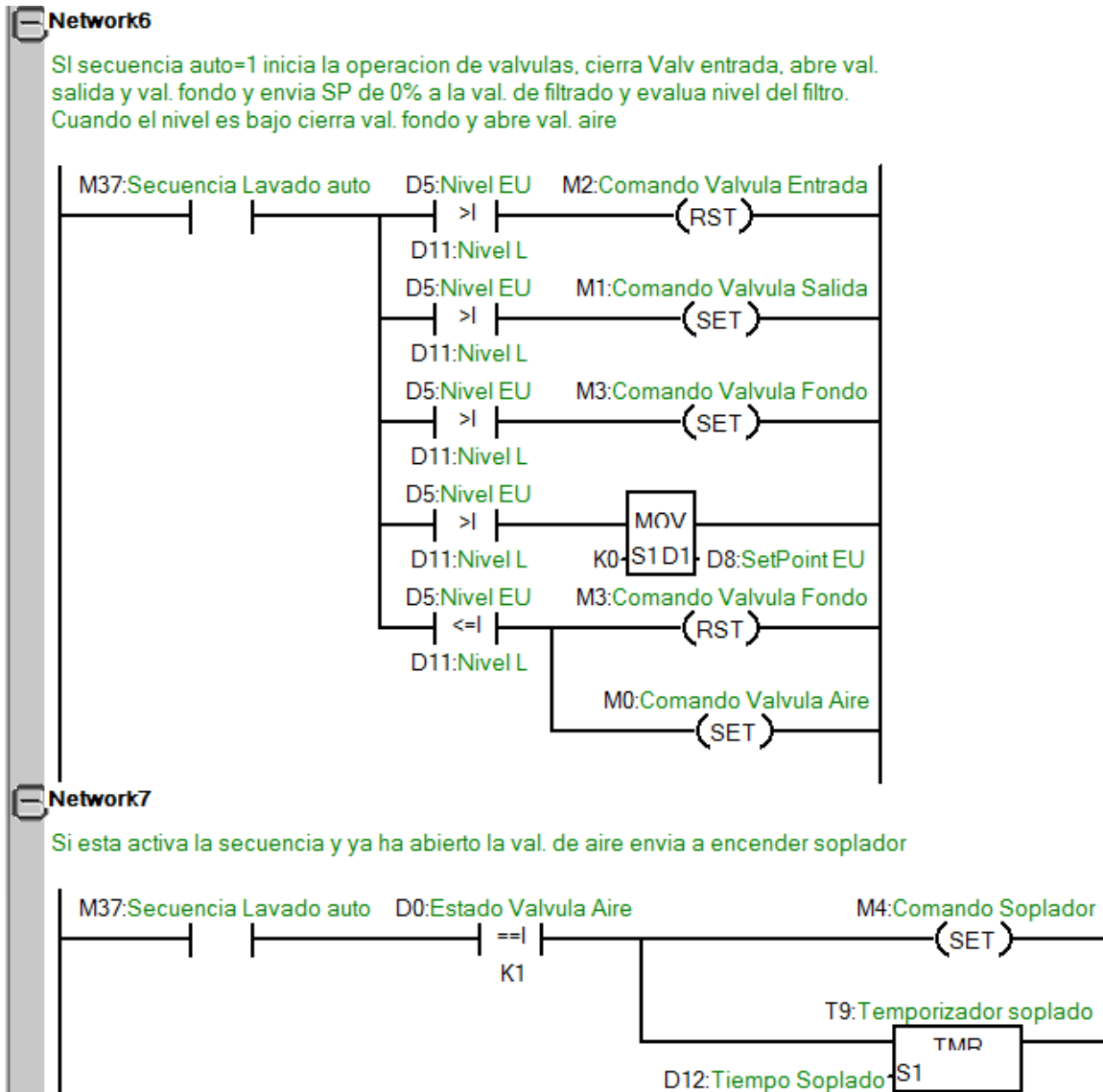


Figura 43. Diagrama ladder Flexlogic (Propia).

Diseño de la interfaz HMI:

Con ayuda del software Fstudio se creó una interfaz gráfica que permite la interacción hombre-máquina para proporcionar al usuario una visualización más clara de las variables. Esta pantalla se comunica directamente con el PLC y permite al usuario una manipulación de las válvulas más sencilla y segura, solo será necesario oprimir un botón de la pantalla para activar y desactivar una electroválvula, a su vez esta pantalla permite visualizar la

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

medición de turbiedad y nivel del agua en el filtro en tiempo real, sin necesidad de que el operador tenga que desplazarse directamente al filtro.

Diseño de ventanas y gráficos en la interfaz HMI

La interfaz gráfica de la pantalla que interactúa con el usuario tiene gráficos amigables y entendibles de tal forma que su operación es sencilla y funcional. Principalmente la pantalla HMI tiene las siguientes ventanas:

Ventana principal: Muestra un diagrama general del filtro con la ubicación y estado de la instrumentación (válvulas, soplador, transmisores). Esta ventana también tiene un ícono para que el operador se autentique en el sistema.

Ventana de alarmas en tiempo real: Muestra un cuadro con las alarmas presentes en el momento, cada registro mostrará la falla presentada, hora y fecha de ocurrencia.

Ventana de histórico de alarmas: Muestra un cuadro con el historial de las alarmas ocurridas. Cada registro tiene la falla presentada, hora, fecha de ocurrencia, hora y fecha en que se estableció.

También muestra un cuadro con los eventos de las operaciones realizadas por el operador, como envío de comando de apertura, cierre, encendido, apagado, reset de falla, asignación de válvula en mantenimiento. Cada registro tiene tipo de evento, hora, fecha de ocurrencia y nombre del operador que la realizó.

Igualmente se desarrollaron ventanas emergentes que se activan cuando se oprime un botón, un ícono o un símbolo. Las ventanas emergentes principalmente son:

Autenticación operador: Donde el operador de turno que va a manipular el HMI se autentica en el sistema.

Modo de operación: el usuario elige si quiere que el lavado se realice en modo manual o modo automático.

Operación Válvula ON/OFF: Es un menú donde el operador elige si la válvula opera en mantenimiento u operación normal y también donde escoge si abrirla o a cerrarla.

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

Operación Válvula de filtrada: Es un menú donde el operador elige si la válvula opera en mantenimiento u operación normal y también donde elige el porcentaje de apertura de dicha válvula.

Operación Soplador: Es un menú donde el operador envía el comando de encendido o apagado al soplador.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados finales corresponden a la simulación realizada por medio del software Fstudio de los algoritmos de control para el accionamiento de las válvulas y la visualización de todas las interfaces graficas diseñadas para la pantalla HMI.

Ventanas pantalla HMI

Pantalla Inicial (Home)

En la Figura 44 se visualiza la interfaz principal de usuario para la manipulación del filtro por medio de la pantalla HMI.

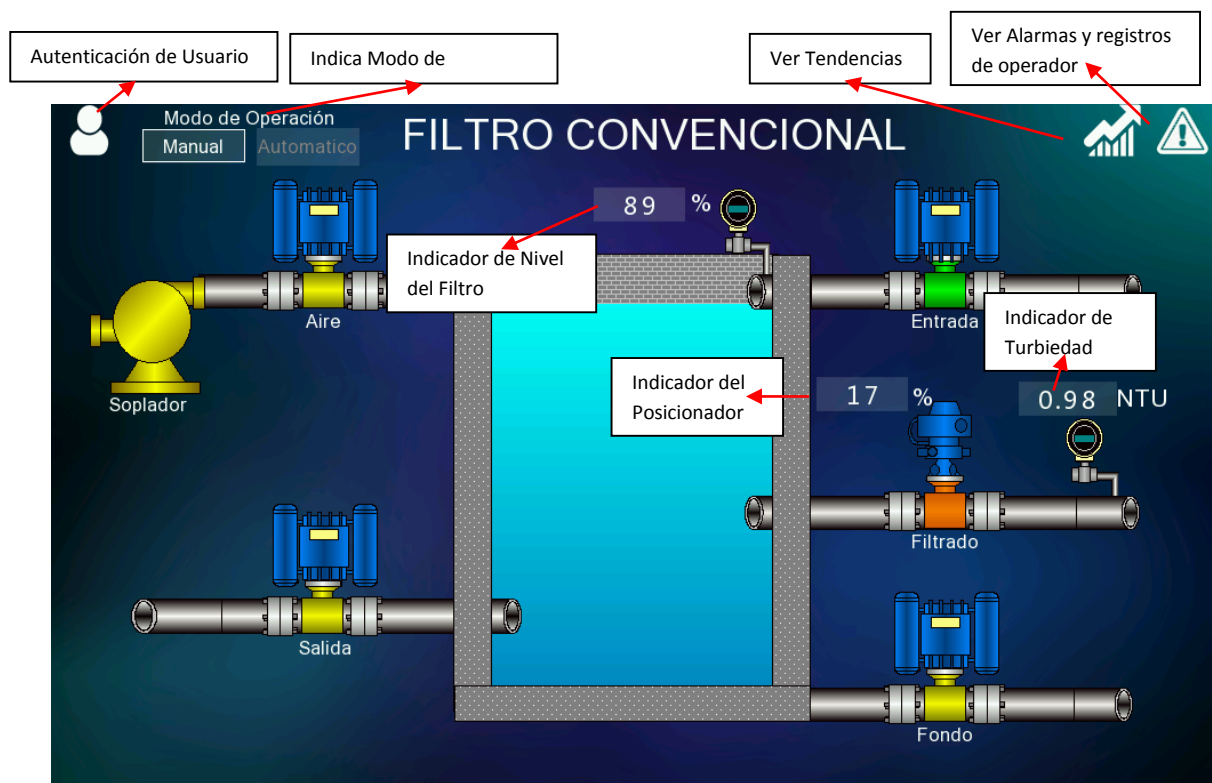


Figura 44. Esquema principal pantalla HMI. (Propia).

Cuando el usuario toca el ícono de “autenticación usuario” mostrado en la Figura 44, se despliega la siguiente ventana emergente (ver Figura 45):

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

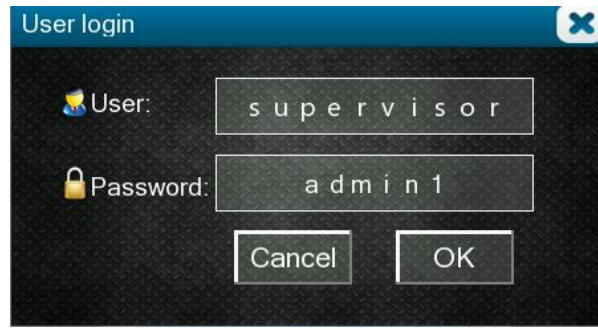


Figura 45. Ventana emergente solicitud contraseña. (Propia).

Se programan dos perfiles de usuarios y se crean dos usuarios. Los perfiles creados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Perfiles para operación de la pantalla HMI. (Propia).

Perfil	Atributos
Administrador	<ul style="list-style-type: none"> Operar válvulas, soplador Configurar sets de alarma y constantes para la operación de válvulas y soplador en modo automático
Operador	<ul style="list-style-type: none"> Operar válvulas, soplador

Los usuarios creados se muestran en la Tabla 8 con sus respectivas contraseñas de acceso al sistema:

Tabla 8. Usuarios con contraseña para autenticación en el sistema. (Propia).

Usuario	Contraseña	Perfil Asignado
supervisor	admin1	Administrador
operador1	opera1	Operador

Cuando se autentica el usuario supervisor se habilita el ícono mostrado en la Figura 46 que lo lleva a una ventana para configurar los ajustes en modo automático y para simular fallas.



Figura 46. Icono de opciones para el usuario autenticado (Propia).

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

Modo de operación manual

Cuando el usuario selecciona el modo de operación manual y desea abrir una válvula, se despliega la ventana emergente mostrada en la Figura 47.



Figura 47. Accionamiento de válvulas desde la pantalla. (Propia).

Cuando se envía algún comando, el sistema siempre mostrara una ventana con un mensaje de aprobación de dicho comando, en la Figura 48 se logra visualizar la ventana de aviso:

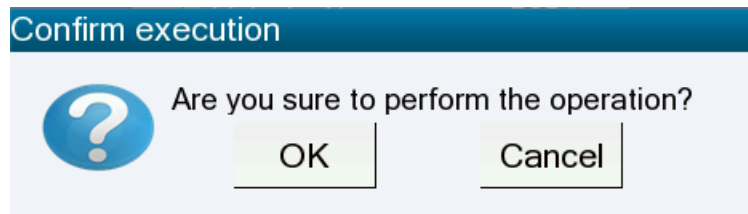


Figura 48. Ventana emergente confirmación acción usuario. (Propia).

El soplador se puede activar o desactivar en modo manual por el usuario con solo presionar la imagen de este en el menú principal, en la Figura 49 se muestra la ventana emergente que indica la acción de encender o apagar el soplador:

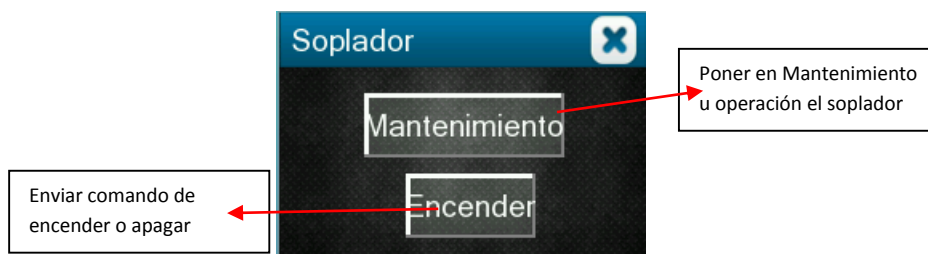


Figura 49. Accionamiento válvulas desde la pantalla. (Propia).

La válvula proporcional de filtrado está programada para que el usuario pueda fijar el porcentaje de apertura que desee desde la pantalla HMI, en la Figura 50 se muestra la ventana que permite fijar el porcentaje de apertura:



Figura 50. Accionamiento válvulas desde la pantalla. (Propia).

En la Figura 51 se visualiza gráficamente cada válvula mostrada en la pantalla de inicio:

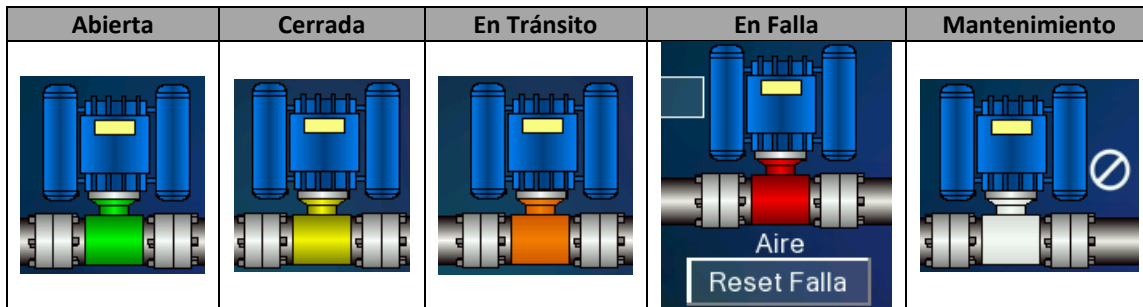


Figura 51. Estados de las válvulas visualizados en la pantalla HMI. (Propia).

El estado del soplador se representa mediante un color, la Figura 52 muestra los diferentes colores y estados posibles del soplador:



Figura 52. Estados del soplador visualizado en la pantalla HMI. (Propia).

En la Figura 53 se visualiza por colores el estado de cada una de las válvulas del sistema:

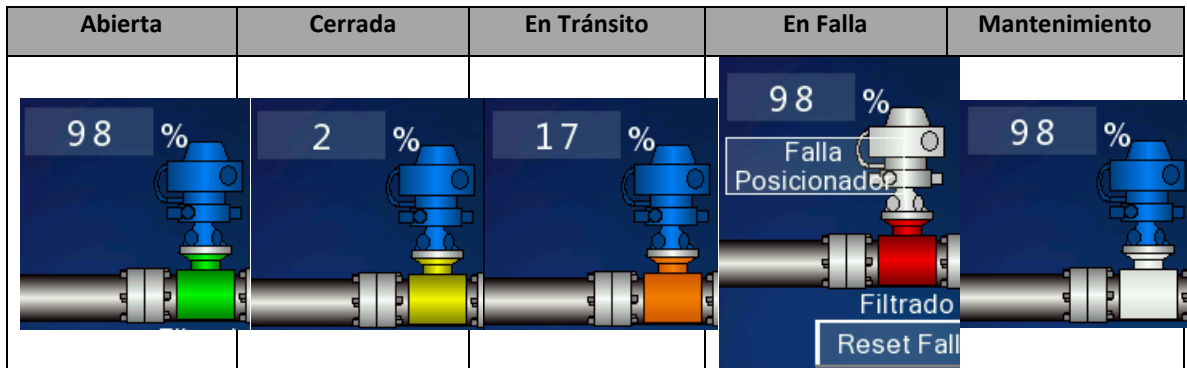


Figura 53. Estados válvula proporcional. (Propia).

Modo de operación automático

Cuando se encuentra en modo automático los actuadores de las válvulas se representan con un color diferente como se muestra en la Figura 54:

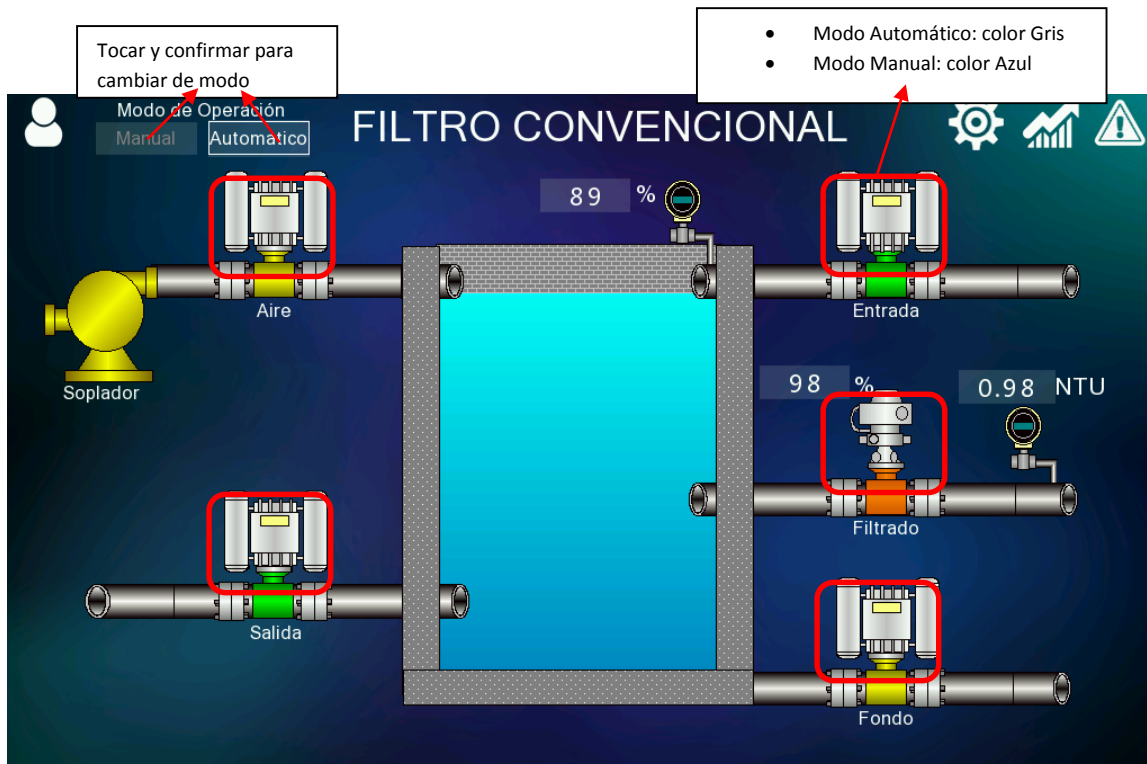


Figura 54. Pantalla principal modo automático (Propia).

Para la simulación de los valores leídos del transmisor de Nivel y Turbiedad, se puede cambiar el dato mostrado en pantalla solo al tocar el objeto que tiene el valor, en la Figura 55 se muestra el teclado que la interfaz proporciona al usuario para ingresar los valores.

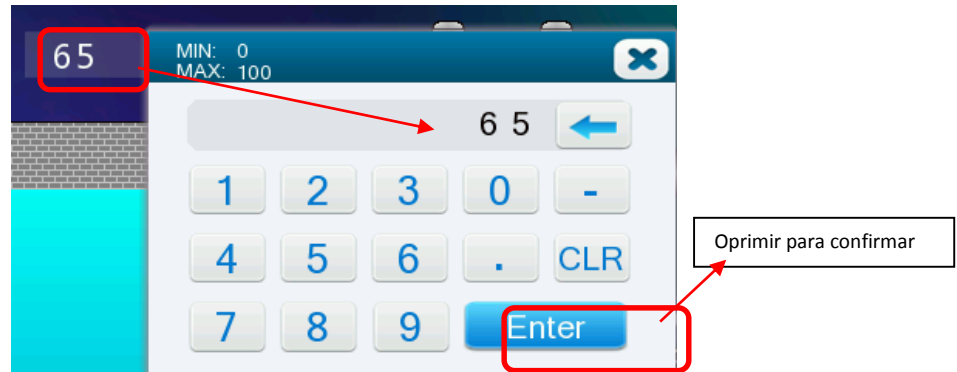


Figura 55. Ventana emergente para setpoint del sensor de turbiedad. (Propia).

Las válvulas ON/OFF tienen animadas las fallas de apertura y cierre que se activan cuando la válvula se abre o se cierra y no recibe confirmación de esta acción después de un tiempo. La válvula de filtrado tiene falla de posicionador que se activa cuando se envía un setpoint de apertura y no se recibe lectura del posicionador dentro de un rango similar al setpoint, en la Figura 56 se visualiza el estado de las válvulas en falla.

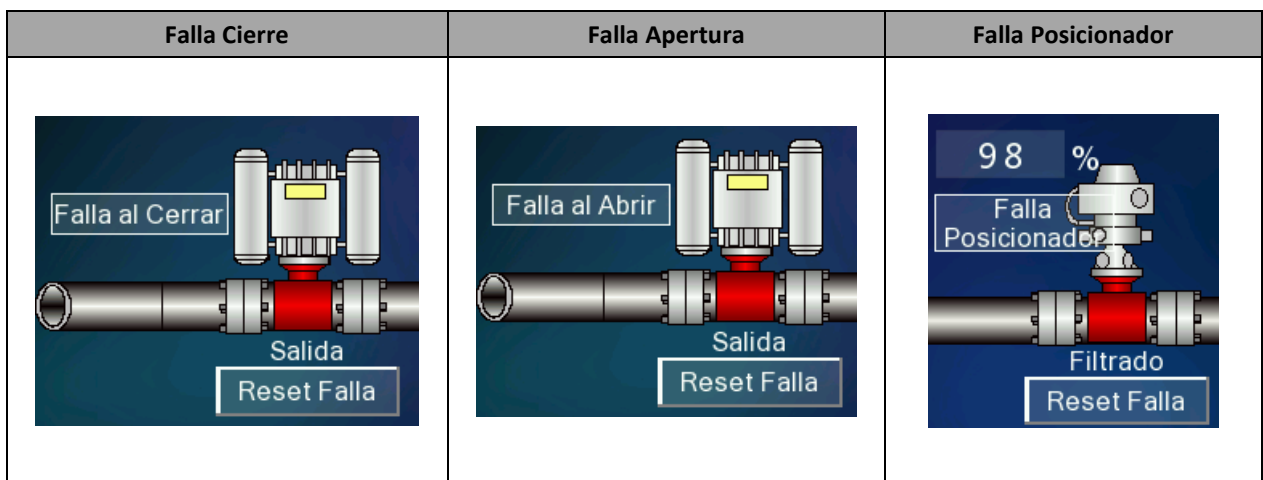


Figura 56. Ventana fallos de las válvulas. (Propia).

Cuando ocurre alguna falla sobre la válvula aparece un botón de reset que al oprimirse se reconoce la falla y desaparece este estado.

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

Cuando la lectura del transmisor de Turbiedad es superior al setpoint configurado para indicar que existe alta turbiedad, se muestra el mensaje de la Figura 57 sobre el dibujo del transmisor de turbiedad.



Figura 57. Visualización del sensor de turbiedad. (Propia).

Sensor de nivel

Cuando el sensor de nivel indique un porcentaje superior al 80%, se da inicio al sistema para que realice un lavado de filtros por suciedad o taponamiento de este. En la Figura 58 se muestra el cuadro de texto que indica en la pantalla HMI el nivel de agua en el filtro.



Figura 58. Visualización del sensor de nivel (Propia).

Cuando se encuentra en funcionamiento de operación en modo automático y se llega a presentar alguna falla en alguna válvula, el modo automático queda deshabilitado, en la Figura 59 se muestra el mensaje correspondiente a la falla.

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

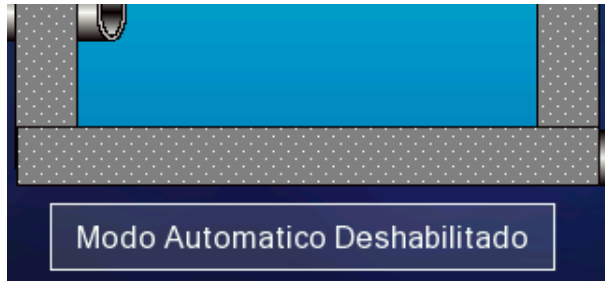


Figura 59. Alerta modo automático deshabilitado (Propia).

Ventanas de Alarmas y Registros de Operador

El usuario dispone de una serie de tablas y gráficos que muestran el historial de fallas con hora, fecha y evento, además se proporciona un historial de funcionamiento, donde se registra cada acción realizada al sistema, en la Figura 60 se visualiza la pantalla general de visualización de alarmas e historial de operación.

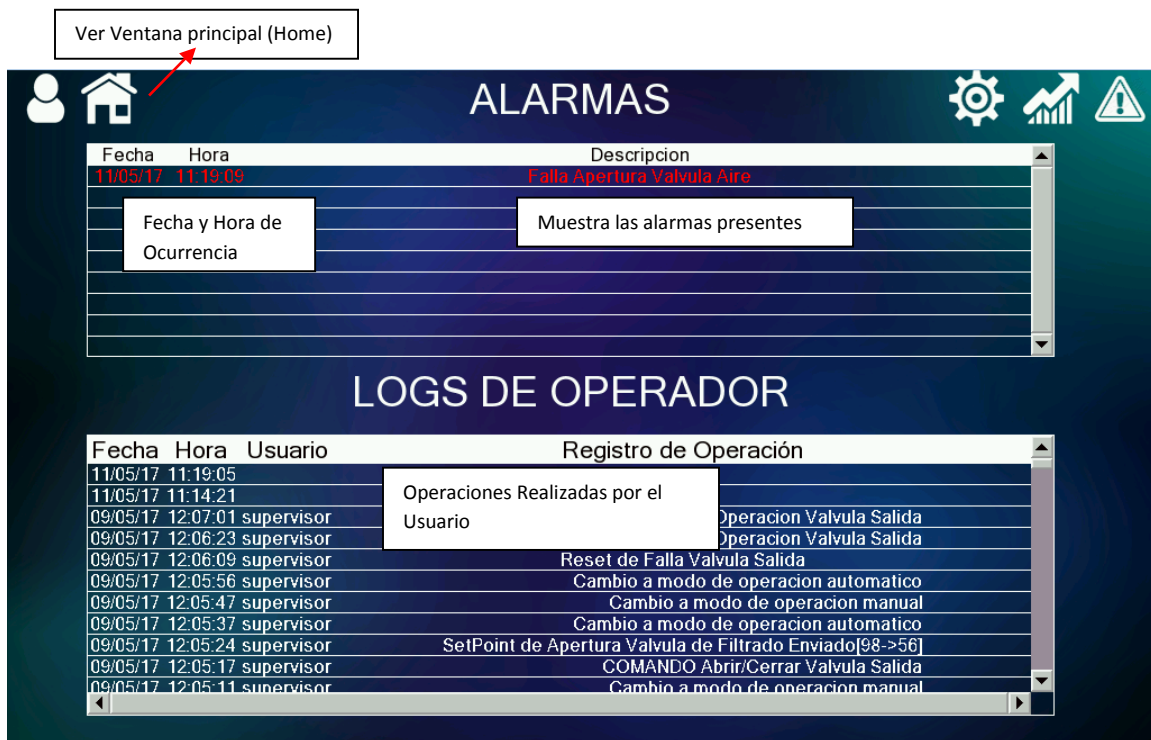


Figura 60. Ventana auxiliar para mostrar historial de alarmas y fallas. (Propia).

Pare efectos de simulación se creó una pantalla auxiliar que permite simular fallas en las válvulas del sistema, esa pantalla también incluye las configuración generales del sistema, como apertura de la válvula proporcional, setpoint del sensor de turbiedad y simulación del

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

sensor de nivel, esta ventana solo se puede acceder autenticándose con el usuario supervisor, en la Figura 61 se visualiza la ventana de la pantalla.



Figura 61. Ventana auxiliar para configuración modo automático y simulación (Propia).

La programación del sistema también cuenta con algunas graficas disponibles en la interfaz HMI y que permiten al operador del equipo conocer y visualizar las tendencias y el comportamiento del filtro durante el proceso de lavado o después de este, las gráficas accesibles son los valores medidos por el sensor de turbiedad y el sensor de nivel. Con estas graficas se busca que el operador pueda realizar diagnóstico de las condiciones del agua cuando esta ingresa al filtro para ser tratada o conocer si en algún momento el sensor de nivel fallo y ocasionó un paro del proceso automático de lavado, en las Figuras 62 y 63 se visualizan las pantallas para los gráficos de turbiedad y nivel.

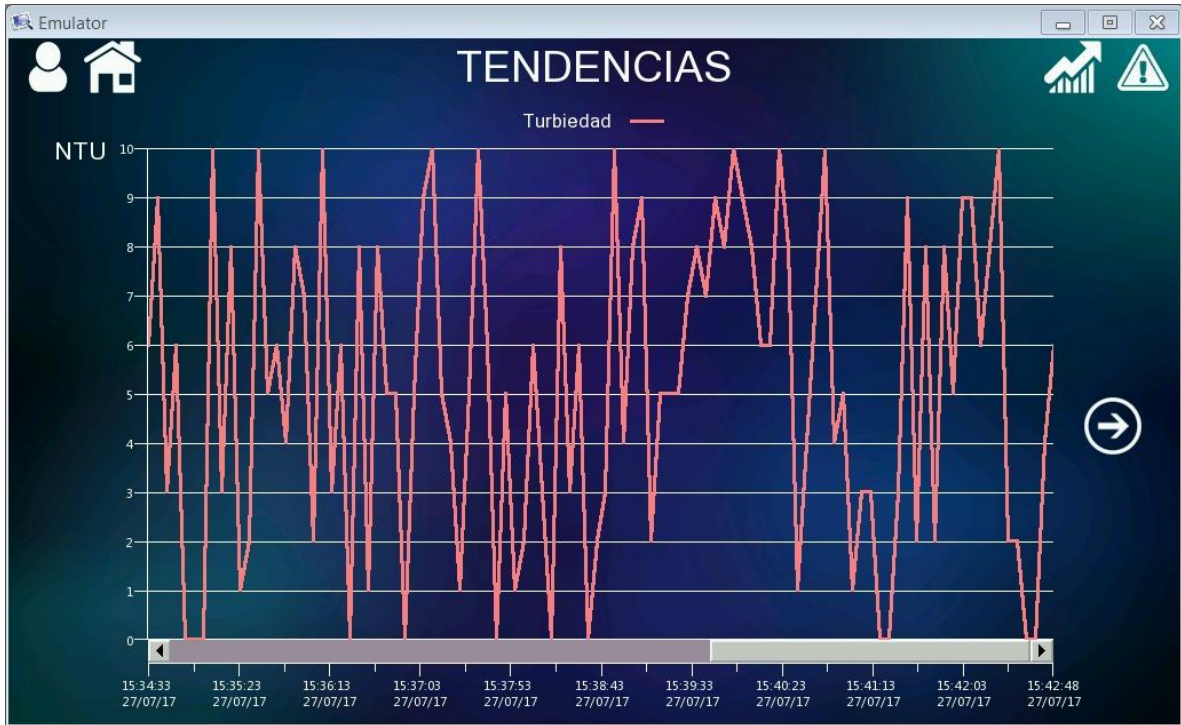


Figura 62. Grafico que visualiza las tendencias del sistema. (Propia).

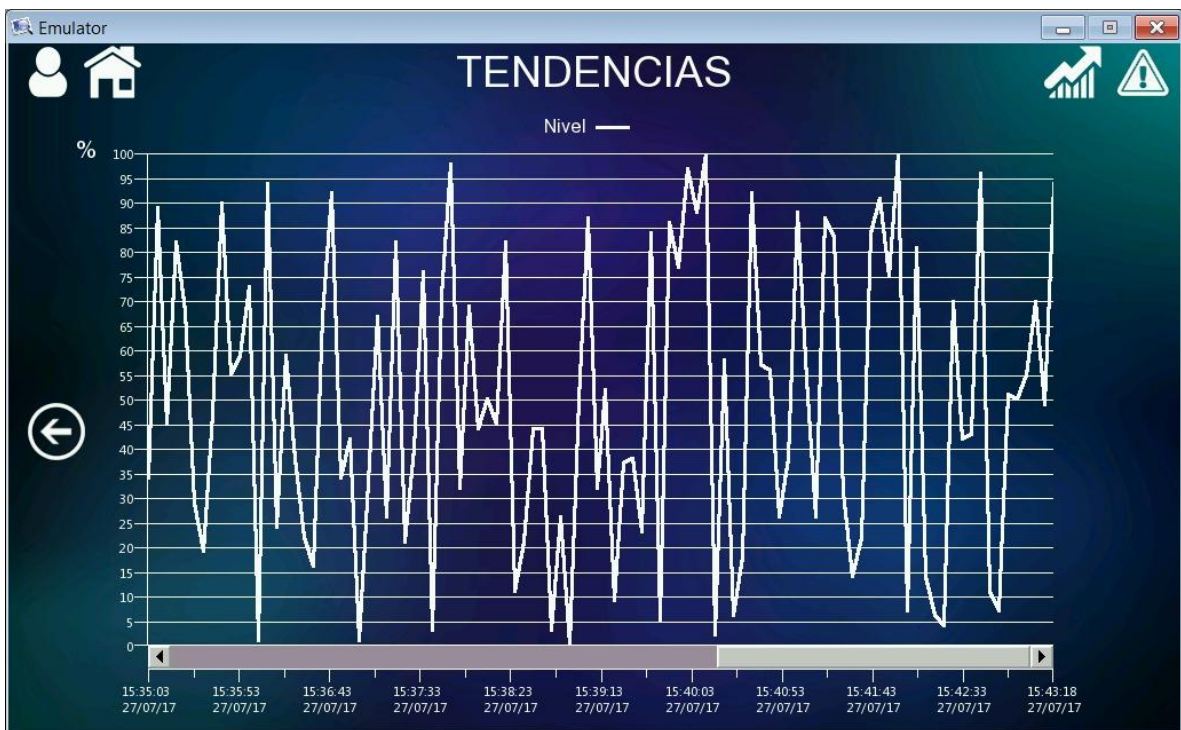


Figura 63. Grafico que visualiza las tendencias del sistema. (Propia).

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

Con el diseño de las diferentes interfaces graficas accesibles por el operador mediante la pantalla táctil, se logró comprobar el funcionamiento del sistema planteado y poder concluir que este se adapta a las necesidades encontradas y que funciona como se esperaba, además la interfaz gráfica desarrollada es amigable al usuario e intuitiva, lo que la hace una herramienta muy fácil de usar y con la cual los operadores del equipo se pueden familiarizar rápidamente.

Una posible implementación del sistema automatizado propuesto, ayudaría a la optimización del tiempo destinado al lavado de los filtros de agua, mejorando tiempos de operación de la planta y garantizando un lavado más eficiente y confiable, a la vez, disminuyendo pérdidas de tiempo en la manipulación manual de dispositivos electromecánicos como válvulas y volantes mecánicas, todo esto se logra con la integración de herramientas modernas de automatización como sensores análogos/digitales, dispositivos mecánicos asistidos electrónicamente y sistemas de bombeo de aire, el uso de estas herramientas permite que el operador tenga un acercamiento más directo con el proceso, y pueda tener un control más efectivo de todas las variables, sensores y actuadores que intervienen en este, por estas razones se esperaría obtener una mejora en las condiciones de tiempo, costos y productividad, permitiendo un ahorro significativo de agua utilizada en el lavado del filtro, tiempos de lavado y optimización del proceso.

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

5 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones

- Se diseñó una interfaz gráfica funcional y de fácil manejo que permite al usuario un control más rápido y eficiente de todos los elementos automáticos presentes en el sistema de lavado, esta interfaz permitió conocer los alcances del sistema automático propuesto y se llega a la conclusión de que el sistema planteado es funcional, de fácil instalación y operación, además es posible que permita ahorros significativos de agua y tiempo empleado en el lavado rutinario de estos filtros.
- Se logró un óptimo entendimiento del proceso a automatizar partiendo de los esquemas y diagramas realizados, estos permitieron identificar las características más relevantes del sistema de lavado actual que permitieran dar alcances al proyecto y automatizar únicamente aquellos subsistemas críticos y relevantes, que, al ser automatizados, aportan resultados óptimos y medibles (costos, gastos de mantenimiento y tiempo) al proceso de lavado de los filtros de agua potable.
- Proponer un sistema automático basado en el subsistema de válvulas del filtro, permitió una correcta selección de todos los elementos y sensores que se utilizan en la automatización, con esto se logró caracterizar la cadena de medida y proponer componentes automáticos de bajo costo y con altas prestaciones técnicas y operativas para la futura implementación del sistema de inyección de aire.
- Se logró obtener un algoritmo de control preciso y funcional gracias al correcto entendimiento de las necesidades del usuario y de aquellos subsistemas críticos a automatizar.
- La interfaz gráfica que se diseñó funciona perfectamente, es fácil de manejar y permite una correcta visualización de todo el proceso logrando así una fácil

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

interacción por parte del usuario para el control y manejo del lavado automático de los filtros.

5.2 Trabajo a futuro

Futuros trabajos de automatización en la PTAP

Se plantea la idea de monitorear las variables principales de instrumentación de toda la planta de tratamiento, centralizando la información en un sistema de control y en un sistema SCADA para su gestión operativa y administrativa.

Como exclusión se informa que no es el objetivo de este planteamiento la indicación de tecnologías para la instrumentación tanto de medición como de control, únicamente se contempla el sistema de control y el sistema SCADA.

Para este futuro trabajo se deberían realizar las siguientes actividades:

- Recolección de variables de interés a medir y monitorear.
- Recolección de información sobre procesos realizados basados en las variables medidas y/o calculadas.
- Levantamiento de información de los elementos de control como válvulas, bombas entre otros.
- Con el personal de operación de la planta, el jefe de mantenimiento y el supervisor principalmente, levantar la información de filosofías de control y operación utilizadas para el funcionamiento correcto de la PTAP y definir las condiciones normales de las variables medidas con el fin de determinar las alarmas que producirá el sistema.
- Dimensionar el sistema de control, lo cual principalmente constituye: Capacidad de memoria, cantidad de puertos de comunicación y tipo, cantidad de señales de entrada y salida tanto digitales, análogas como señales que vengan por comunicaciones provenientes de equipos auxiliares.

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

- Levantamiento de información sobre diseños de despliegues de operación, tendencias y reportes requeridos por el personal de operación y administrativo de la planta.
- Definir los equipos de cómputo para el funcionamiento del centro de control.

Para la automatización de la planta principalmente se van a monitorear las siguientes señales:

- Medidor de Caudal de agua de entrada a la planta.
- Medidor de Caudal de agua de salida de la planta.
- Medidor de Caudal en canaleta Marshall.
- Medidores de Caudal en las entradas de los Coagulantes.
- Medidor de Nivel en el tanque de almacenamiento.
- Medidor de Nivel en el tanque de distribución.
- Medidor de Nivel del tanque elevado para retro lavado de filtros.
- Medidor de Caudal de la salida de los filtros.

Como elementos de control se plantea únicamente un sistema de bombas para llevar agua al tanque elevado para el retro lavado de los filtros.

Sistema de Control

A modo general el sistema de control debe contar con las siguientes especificaciones como mínimo:

- Procesador ARM de 32 Bits a 150 MHz.
- Alimentación 12-24 Vdc.
- 2 puertos RS-232, 1 RS-485 y 1 puerto Ethernet 10/100 Mbps.
- Capacidad en E/S (Entradas y salidas): 16 AI, 16 DI, 8 DO, 4 HSC (No se tienen en cuenta las señales ya definidas en el PLC de los filtros convencionales).
- Memoria flash de 64 MB mínimo.

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

Las funciones principales del sistema de control se listan a continuación:

- Leer las señales de niveles y caudales de los diferentes sistemas de la planta.
- Enviar los comandos de encendido y apagado a las bombas.
- Realizar los cálculos de índice de agua no contabilizada basada en la información de caudales, de entrada, salida y de utilización en filtros y demás segmentos de la planta.
- Realizar cálculos de volúmenes consumidos y generados tanto diarios, como mensuales principalmente.
- Realizar algoritmos de control para la operación en automático de las bombas conociendo el nivel del tanque elevado.
- Comunicar toda la información de la planta al sistema SCADA.

Sistema SCADA

El SCADA que se ubicará en el centro de control contará principalmente con los siguientes elementos:

- Switch ethernet de 6 puertos 10/100 Mbps.
- Servidor SCADA.
- Estación de trabajo.
- Software SCADA.

Las especificaciones mínimas de la estación de trabajo son las siguientes:

- Sistema operativo: Windows 7 SP 1 64 Bits
- Procesador: Dual Core 3.1 GHz o similar.
- Memoria: 4 GB RAM.
- Disco Duro: 80 GB.
- Video: DirectX® 9 compatible.
- Ethernet: 1 NIC.

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

Las especificaciones mínimas del servidor son las siguientes:

- Sistema operativo: Microsoft 2012 R2
- Procesador: Intel Xeon 4C/8T 3.40 GHz, 8 MB Cache.
- Memoria: 16 GB RAM.
- Disco Duro: 500 GB.
- Controlador RAID: RAID 5.
- Video: SVGA y 32 MB RAM.
- Ethernet: 2 NICs (LAN + Redundancy).

Con estos datos y equipos podríamos realizar dicho trabajo y mejorar el proceso de la planta.

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

REFERENCIAS

allbiz. (2017). Obtenido de <http://buenos-aires.all.biz/filtros-y-cartuchos-para-dosificadores-de-agua-g122737#.WS9ZY-vhDIU>

Alvarez, L. (2017). *Escuela de ingeniería de antioquia* . Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoentuberias/tuberias/tuberias.htm>

Apuntes ingeniería civil. (2010). Obtenido de <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com.co/2010/10/tratamiento-de-aguas-parte-2.html>

ARQHYS. (12 de 2012). Obtenido de <http://www.arqhys.com/construcciones/valvulas-paso.html>

Biblioteca de ingeniería universidad de Sevilla. (2017 de Junio de 2017). Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5091/fichero/6+-+BOMBAS+CENTR%C3%8DFUGAS.pdf>

Bray. (2017). Obtenido de <https://www.bray.com/resilient-seated-butterfly-valves/series-3a-3ah>

Bray comercial. (2017). Obtenido de <http://braycommercialdivision.com/product/series-70-industrial-electric-actuator/>

Centre for microcomputer applications. (13 de Julio de 2015). Obtenido de http://cma-science.nl/resources/dealers/es/manuals/bt_sensors/BT88i_es.pdf

Direct industry . (2017). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/velan/product-24371-851409.html>

Electro Industria . (Marzo de 2009). Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1134&tip=7>

Electro Industria. (Marzo de 2013). Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2020>

FLEXEM. (2015). Obtenido de <http://eng.flexem.com/product-detail-21.html>

FLEXEM. (2015). Obtenido de <http://eng.flexem.com/product-detail-3.html>

Flexicon. (12 de Abril de 2012). Obtenido de <http://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Tierra-Diatomacea.html>

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

- Giraldo, L., Escobar, J., & Taborda, C. (1999). *Repositorio sena*. Obtenido de http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/operacion_potabilizacion/index.html#
- Gomez, M. (Febrero de 2008). *Terapia Clark*. Obtenido de <http://www.dietametabolica.es/platacoloidal.htm>
- HACH. (2017). Obtenido de <https://www.hach.com/1720e-low-range-process-turbidimeter-turbidity-sensor-only/product?id=7640457219&callback=qs#>
- Hanna Instruments . (2017). Obtenido de <http://www.hannainst.es/blog/turbidez/>
- Instituto nacional de salud. (9 de Junio de 2012). Obtenido de <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-de-calidad/Documents/resolucion%202115%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf>
- Jn aceros . (23 de Abril de 2014). Obtenido de <http://www.jnaceros.com.pe/blog/valvulas-acero-inoxidable/>
- Koomkin. (2017). Obtenido de <https://www.koomkin.com/producto/6754>
- Koshland. (2017). Obtenido de Academia Nacional de ciencia: <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Filtration-Systems-technologies.html#tech2>
- Lorenzo, E., Bellon, D., & López, G. (2009). *Facultad de ingeniería Universidad de la republica Uruguay*. Obtenido de https://www.fing.edu.uy/imfia/imfiaweb/sites/default/files/Teo8_09_b.pdf
- Mecánica Prismo S.L. (30 de Marzo de 2016). Obtenido de http://www.prisma.es/pdf/actuadores_electricos-esp.pdf.pdf
- microautomacion. (11 de Abril de 2011). Obtenido de http://www.microautomacion.com/catalogo/10Automatizacion_y_control.pdf
- Omega . (2013). Obtenido de <http://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>
- Pepperl-Fuchs. (2017). Obtenido de http://www.pepperl-fuchs.es/spain/es/classid_492.htm
- Ponsa, P., & Granollers, A. (21 de Julio de 2009). *Universidad politécnica de catalunya*. Obtenido de <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>
- Prieto, P. (8 de octubre de 2007). *Observatorio Tecnológico* . Obtenido de <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>

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

Punto flotante S.A. (2017). Obtenido de <http://www.puntoflotante.net/SENSOR-SWITCH-NIVEL-AGUA-ACERO-INOXIDABLE.htm>

Quezada, J., López, J., García, E., & Aquilar, V. (Marzo de 2014). *scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v15n1/v15n1a5.pdf>

QYE. (2017). Obtenido de http://es.made-in-china.com/co_qysensor/product_0-20m-Wireless-Ultrasonic-Level-Transmitter-Ultrasonic-Water-Level-Sensor-Ultrasonic-Water-Tank_eoisnrnyg.html

Reed, B. (Febrero de 2011). *Programme Solidarité Eau*. Obtenido de http://www.pseau.org/outils/ouvrages/wedc_who_technical_notes_water_sanitation_hygiene_in_emergencies.pdf

Romero, D. (Julio de 2011). *ECI*. Obtenido de <https://www.dc.uba.ar/events/eci/2011/cursos/ECI2011%20N1%20AplicIndu2.pdf>

SAE. (2017). Obtenido de <https://www.presionyvacio.com/copy-of-gd-sutorbilt-1>

SC fluids. (2017). Obtenido de <http://www.valvulasymedidores.com/>

Siemens España. (2017). Obtenido de <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/hmi/pages/pantallashmi.aspx>

Tejero, J., & Romero, J. (24 de Febrero de 2016). *Comisión de agua potable y alcantarillado*. Obtenido de <http://www.capa.gob.mx/cultura/pdfs/tratamiento.pdf>

The National Environmental Services Center. (28 de Septiembre de 2009). Obtenido de http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2009_tb/spanish/filtration_DWPSOM139.pdf

Velasquez Ingenieros Asociados S.A.S. (s,f). Obtenido de http://www.velasquez.com.co/paginas/rele_de_nivel.php

Vialfa, C. (Mayo de 2017). *CCM*. Obtenido de <http://es.ccm.net/contents/672-ethernet>

Villajulca, C. (20 de Mayo de 2010). *Instrumentacion y control . net*. Obtenido de <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-completo-instrumentacion-industrial/item/222-empezemos-con-los-elementos-finales-de-control--v%C3%A1lvulas-de-control.html>

Widman, R., & Linares, O. (2011). *Ancap*. Obtenido de http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/2%20LLAMADOS%20FINALIZADOS/2011/REF%2046_2011%20TECNICO%20AYUDANTE%20MANTENIMIENTO%20E%20INGEN

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

IERIA/08%20-

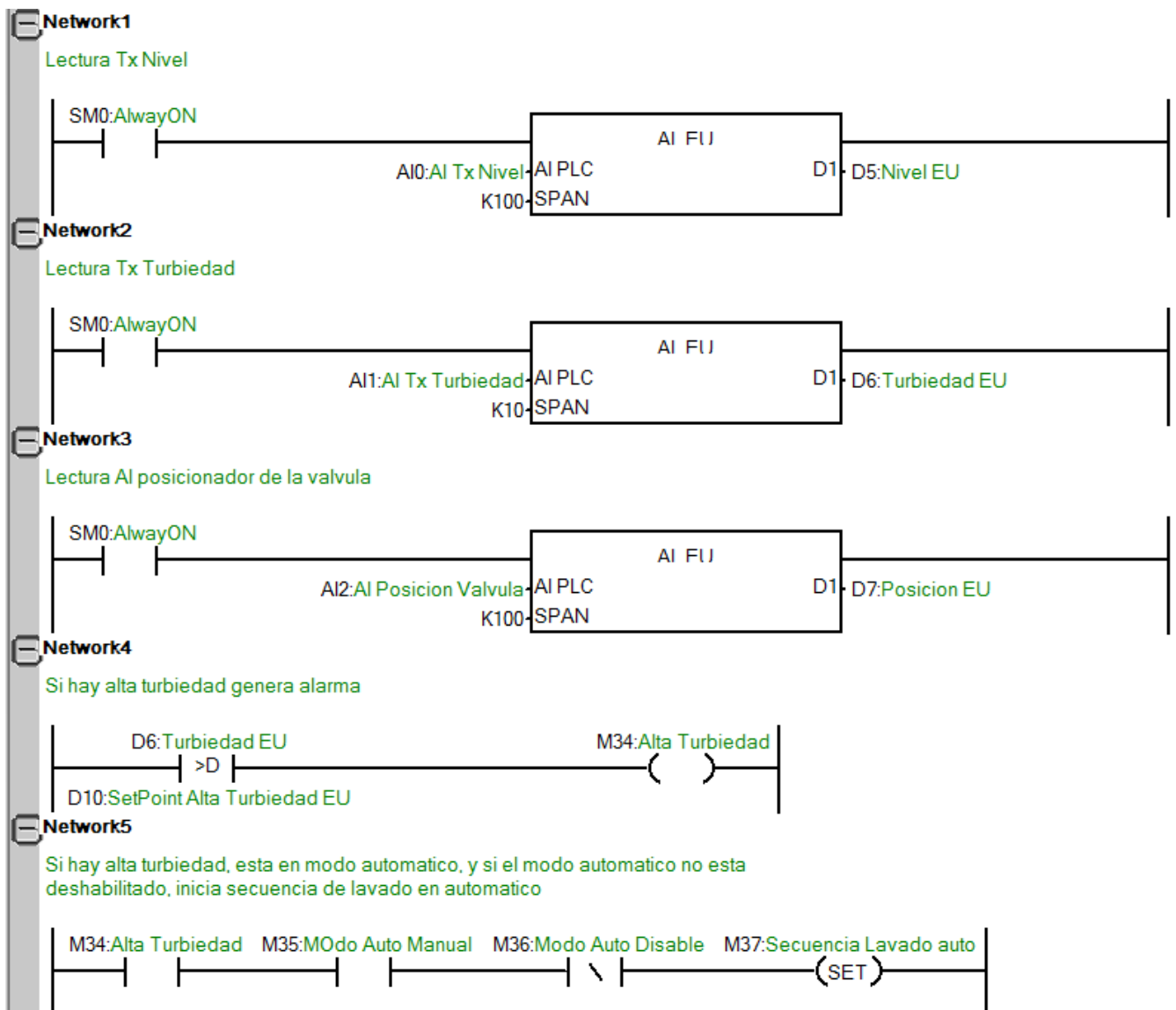
%20MATERIAL%20DE%20ESTUDIO/METAL%20MECANICO%20CIVIL/MECANICA/56.PDF

Yuba. (15 de Abril de 2015). Obtenido de <http://www.yubasolar.net/2015/04/funcionamiento-de-una-bomba-centrifuga.html>

APÉNDICE

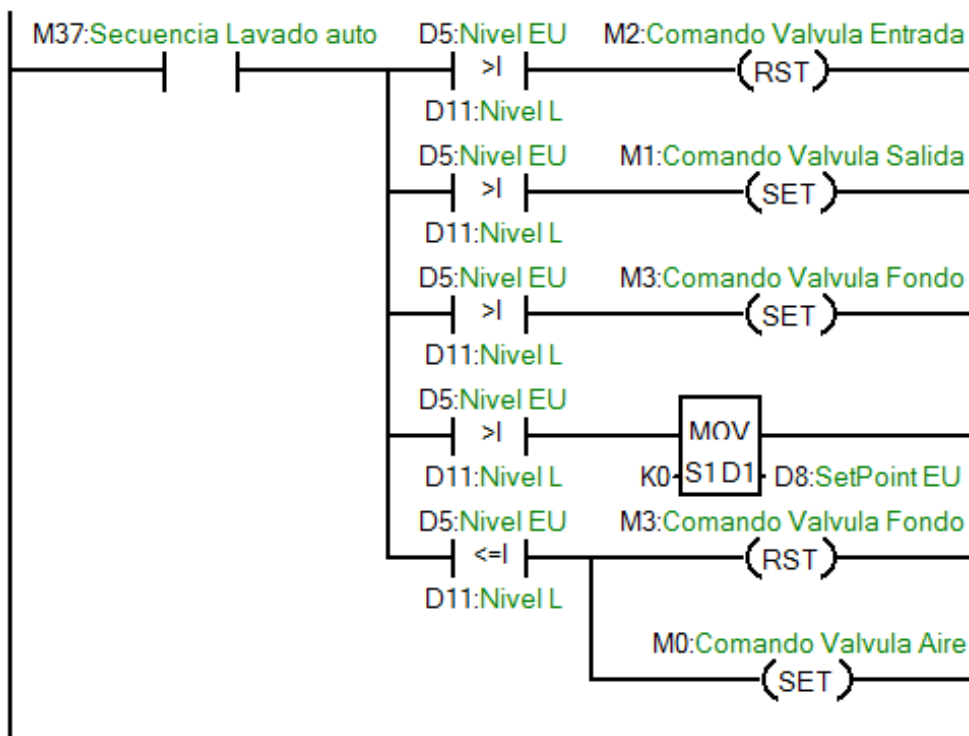
Apéndice A.

Algoritmo de programación principal rutina automática y manual sistema de lavado con inyección de aire para filtros de agua potable, el código mostrado a continuación está desarrollado en el lenguaje ladder o escalera en el software Flexlogic.



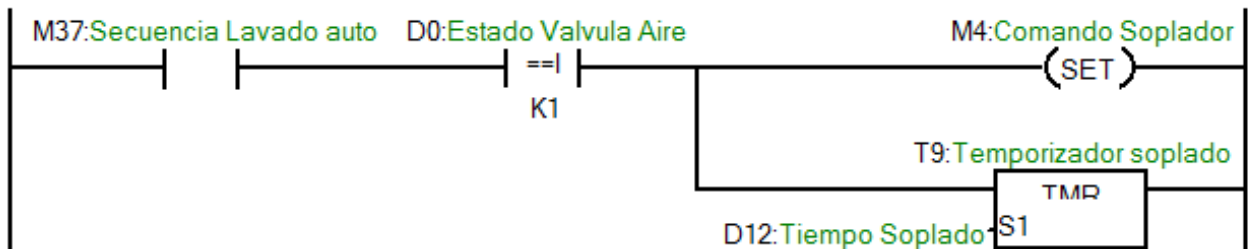
Network6

Si secuencia auto=1 inicia la operación de valvulas, cierra Valv entrada, abre val. salida y val. fondo y envia SP de 0% a la val. de filtrado y evalua nivel del filtro. Cuando el nivel es bajo cierra val. fondo y abre val. aire



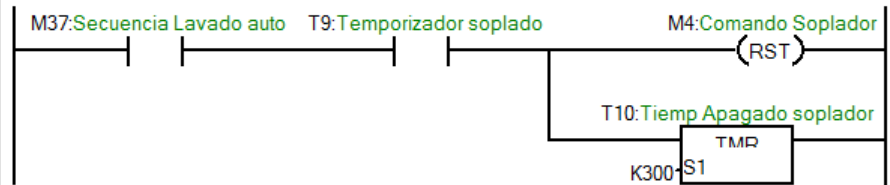
Network7

Si esta activa la secuencia y ya ha abierto la val. de aire envia a encender soplador



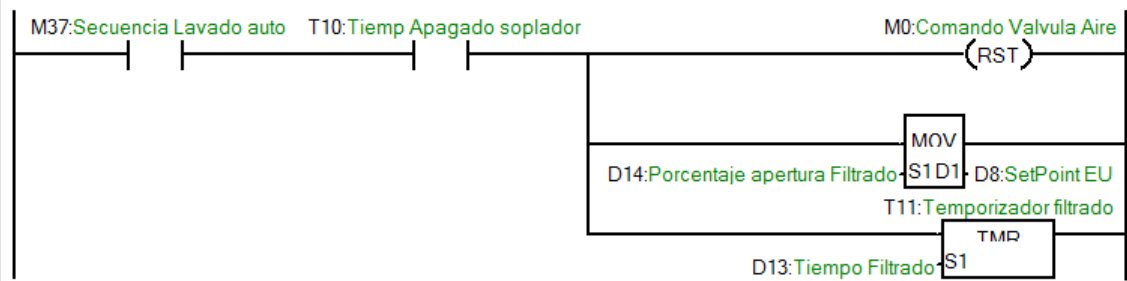
Network8

Si esta activa la secuencia de automatico y ya ha pasado el tiempo de soplado apaga el soplador



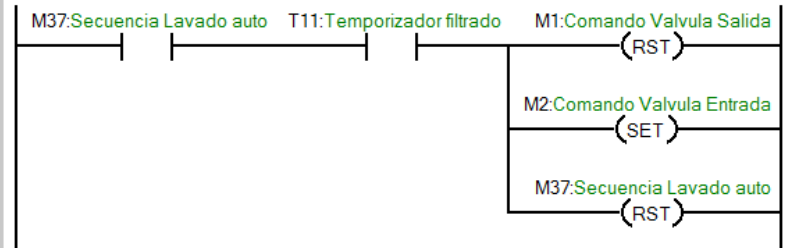
Network9

Si esta activa la secuencia en auto se da una espera para que el soplador se detenga y manda a cerrar val. de aire y envia el SP de % de apertura a la val. de filtrado



Network10

Si esta activa la secuencia en auto y ha pasado el tiempo de filtrado se envia a cerrar la val. de salida y a abrir la val. de entrada. Finalmente se dice q la secuencia en auto ha terminado



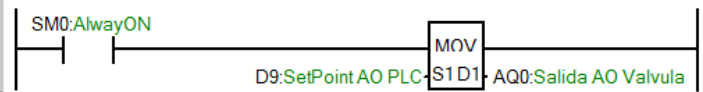
Network11

Se convierte el dato de SP en EU a valor de PLC



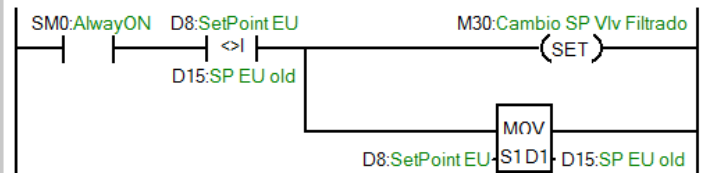
Network12

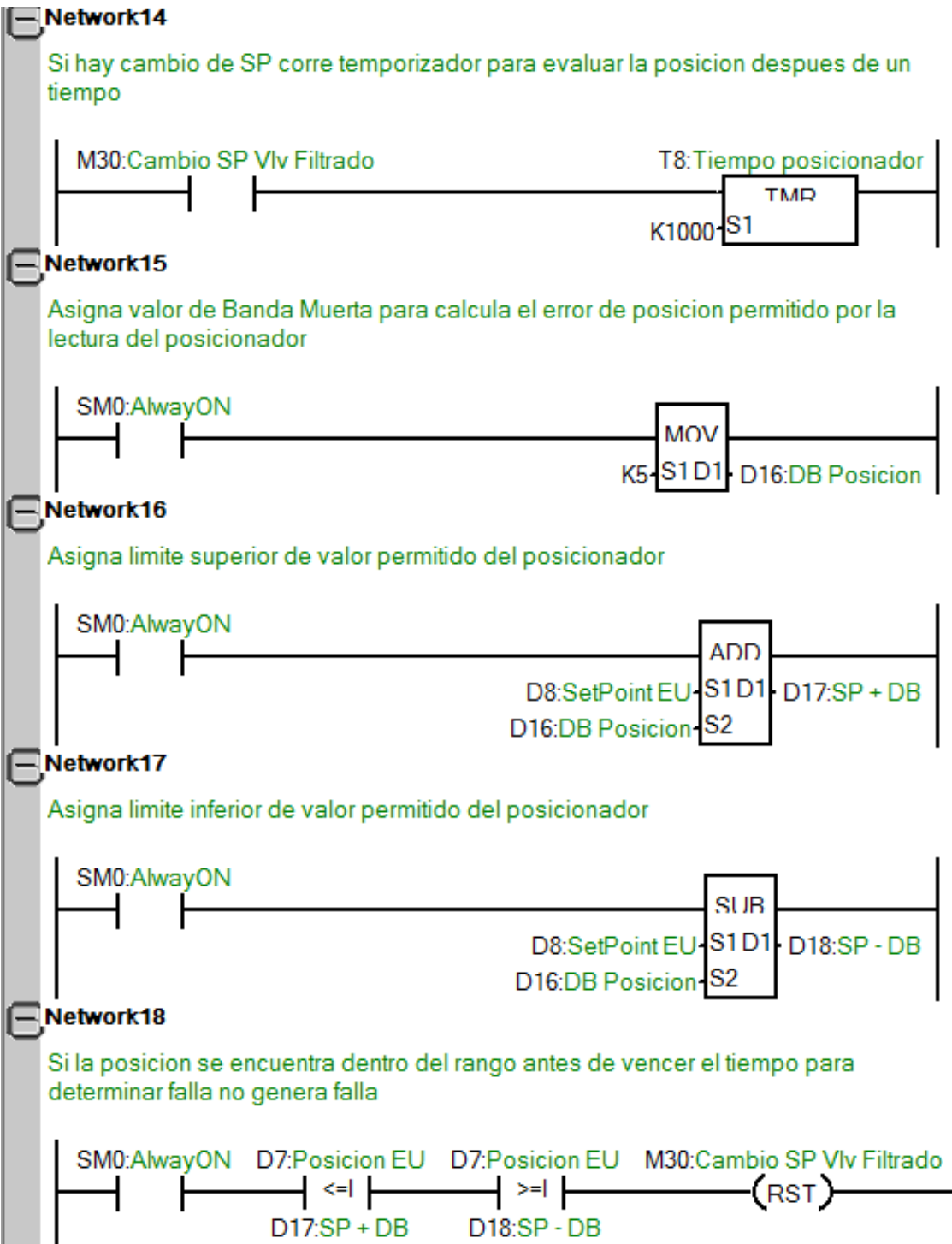
Envio de SP a la salida AQ del PLC



Network13

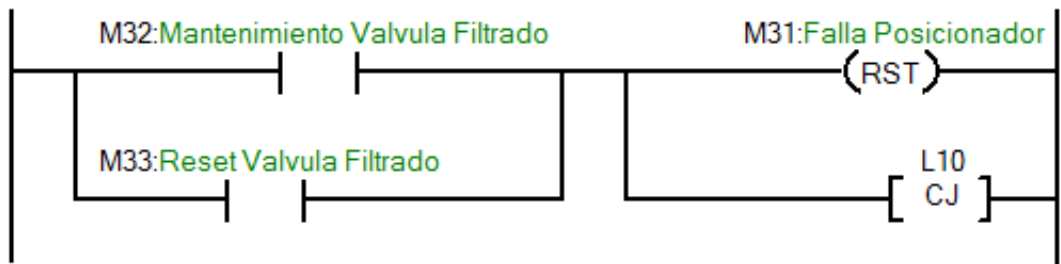
Evalua cuando haya cambio de SP





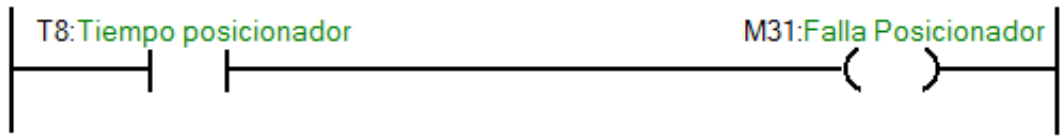
Network19

Si la val. de filtrado esta en mantenimiento o se resetea la falla, elimina alarma de falla de posicionador



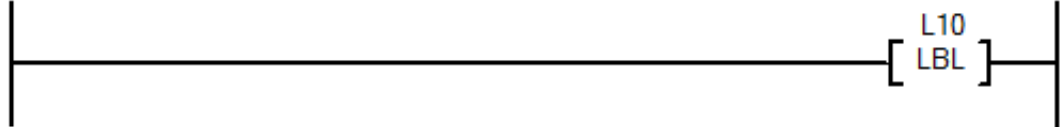
Network20

Si se resetea la falla o la val. de filtrado esta en mantenimiento no asigna falla de posicionador



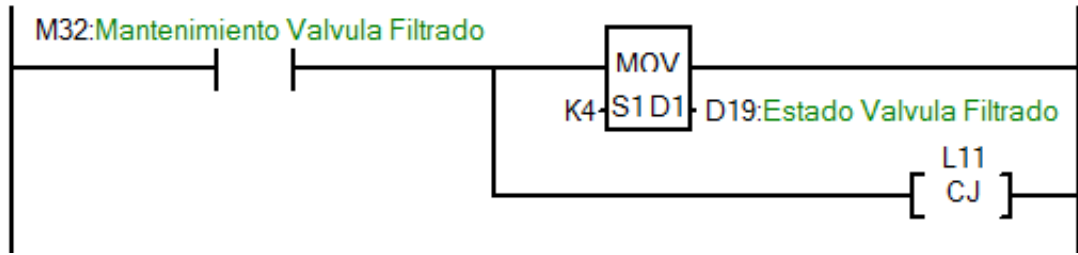
Network21

Label



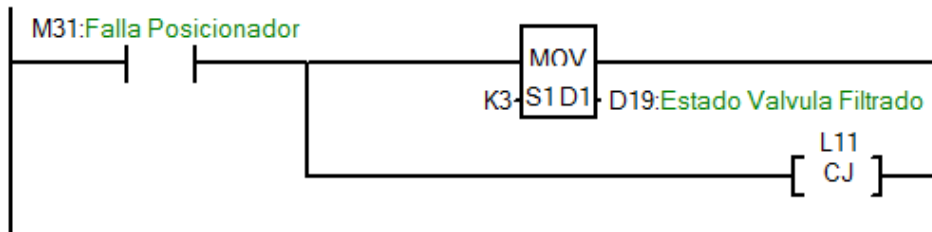
Network22

Asigna estado de mantenimiento valvula filtrado



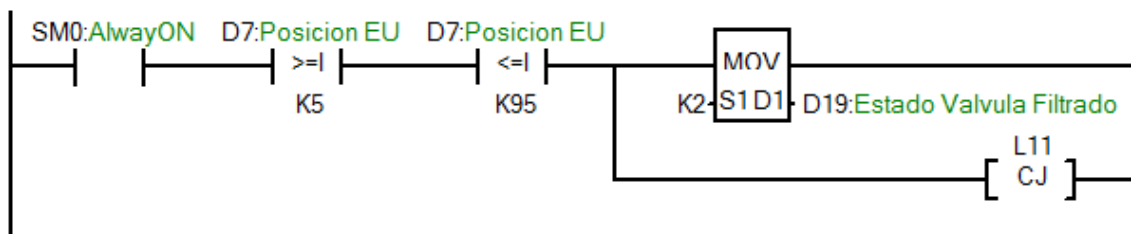
Network23

Asigna estado de mantenimiento estado de falla valvula filtrado



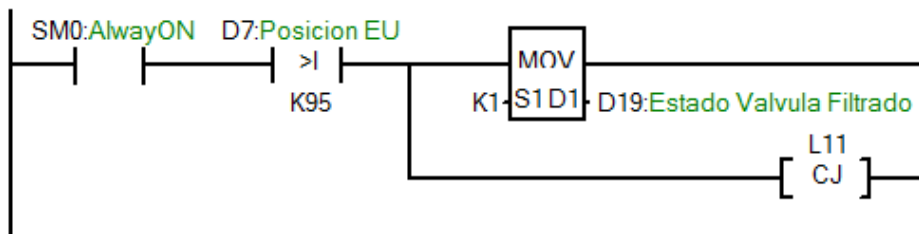
Network24

Asigna estado de en transito valvula filtrado



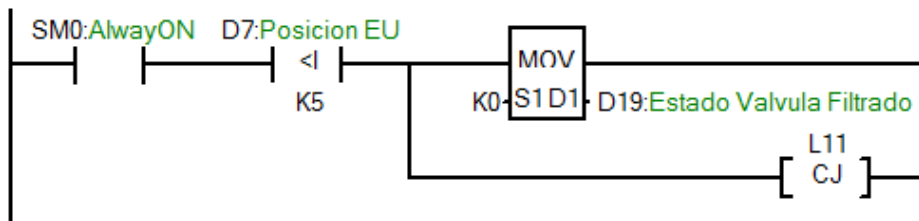
Network25

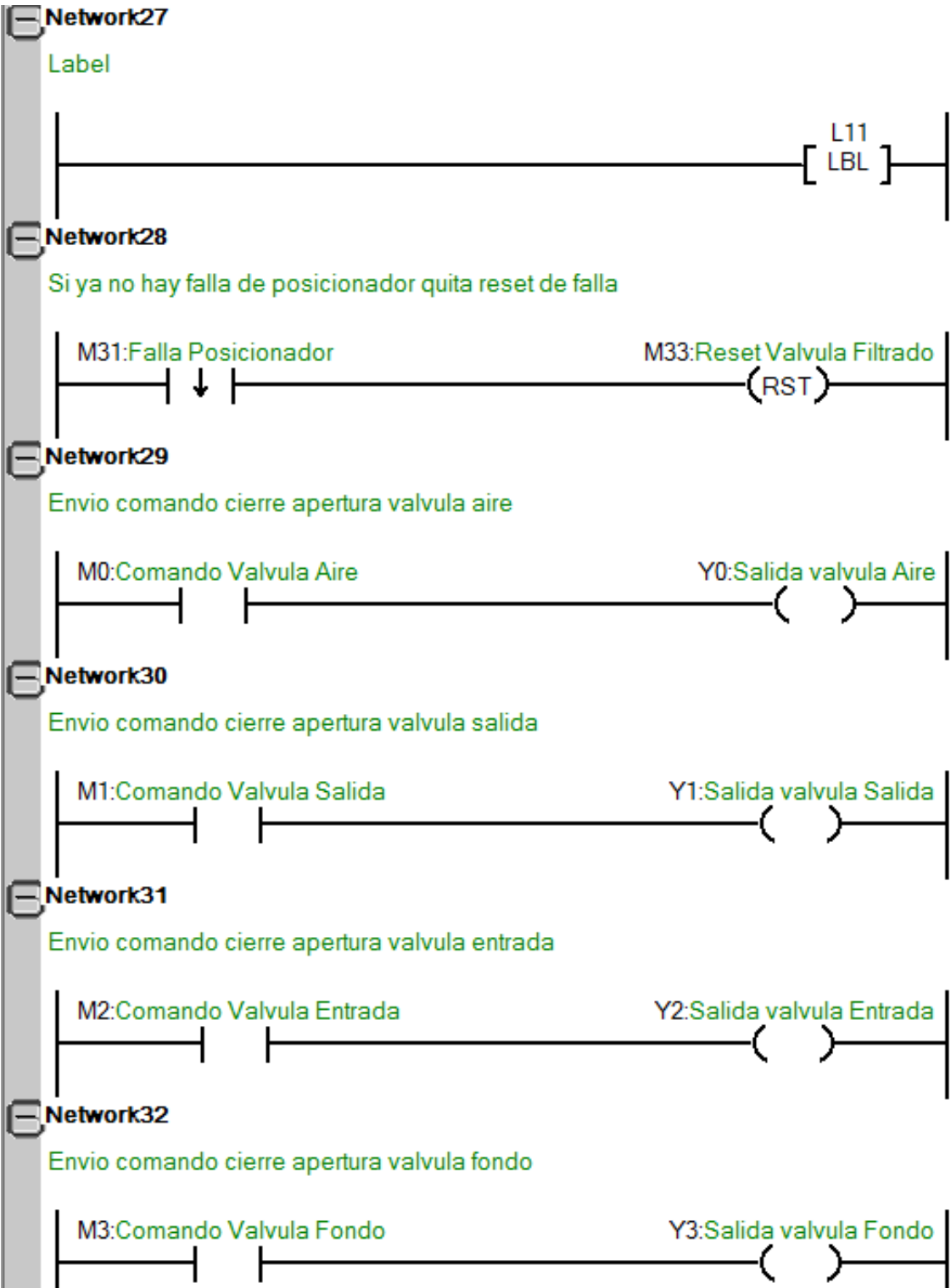
Asigna estado de abierta valvula filtrado



Network26

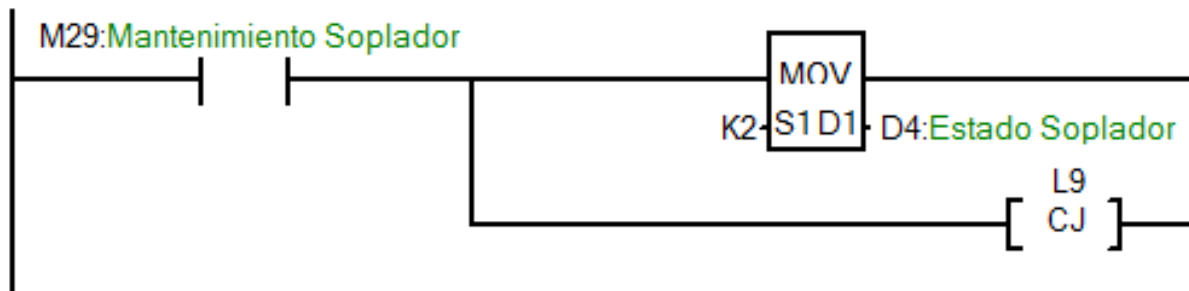
Asigna estado de cerrada valvula de filtrado





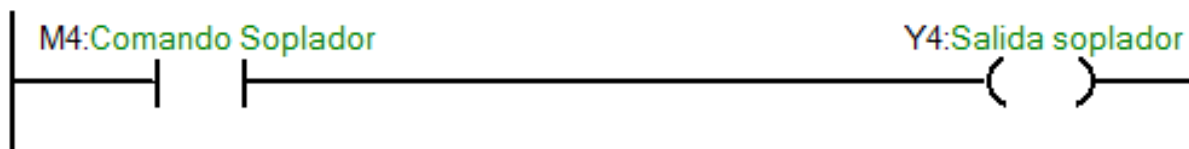
Network33

Asigna estado de mantenimiento soplador



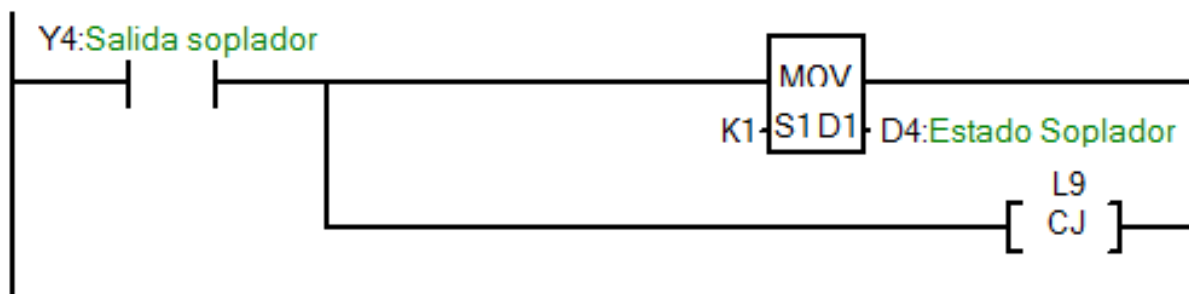
Network34

Envio comando encender apagar soplador



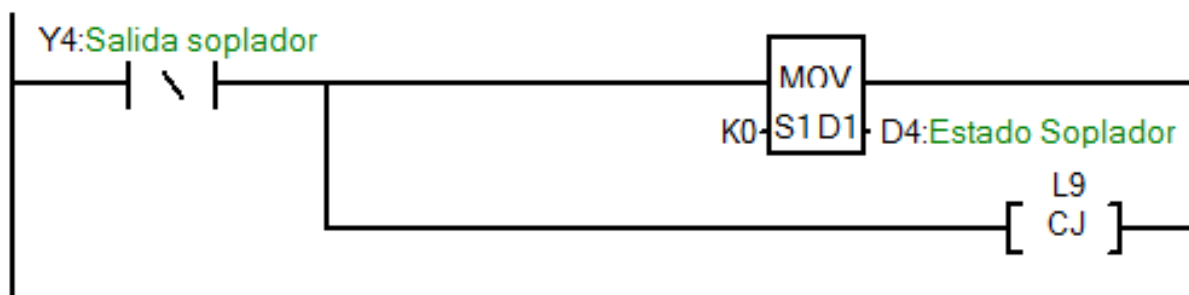
Network35

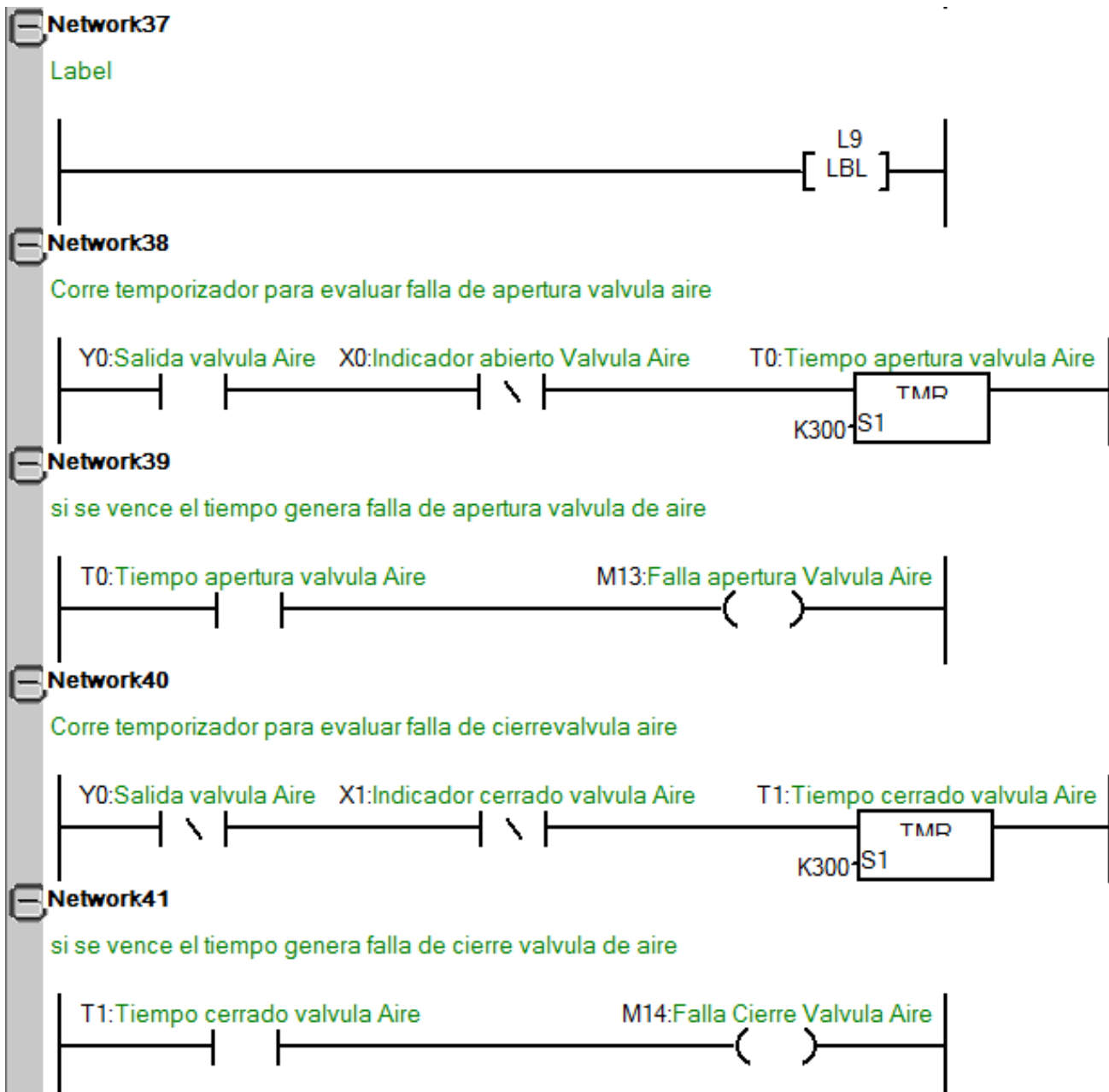
Asigna estado de encendido soplador

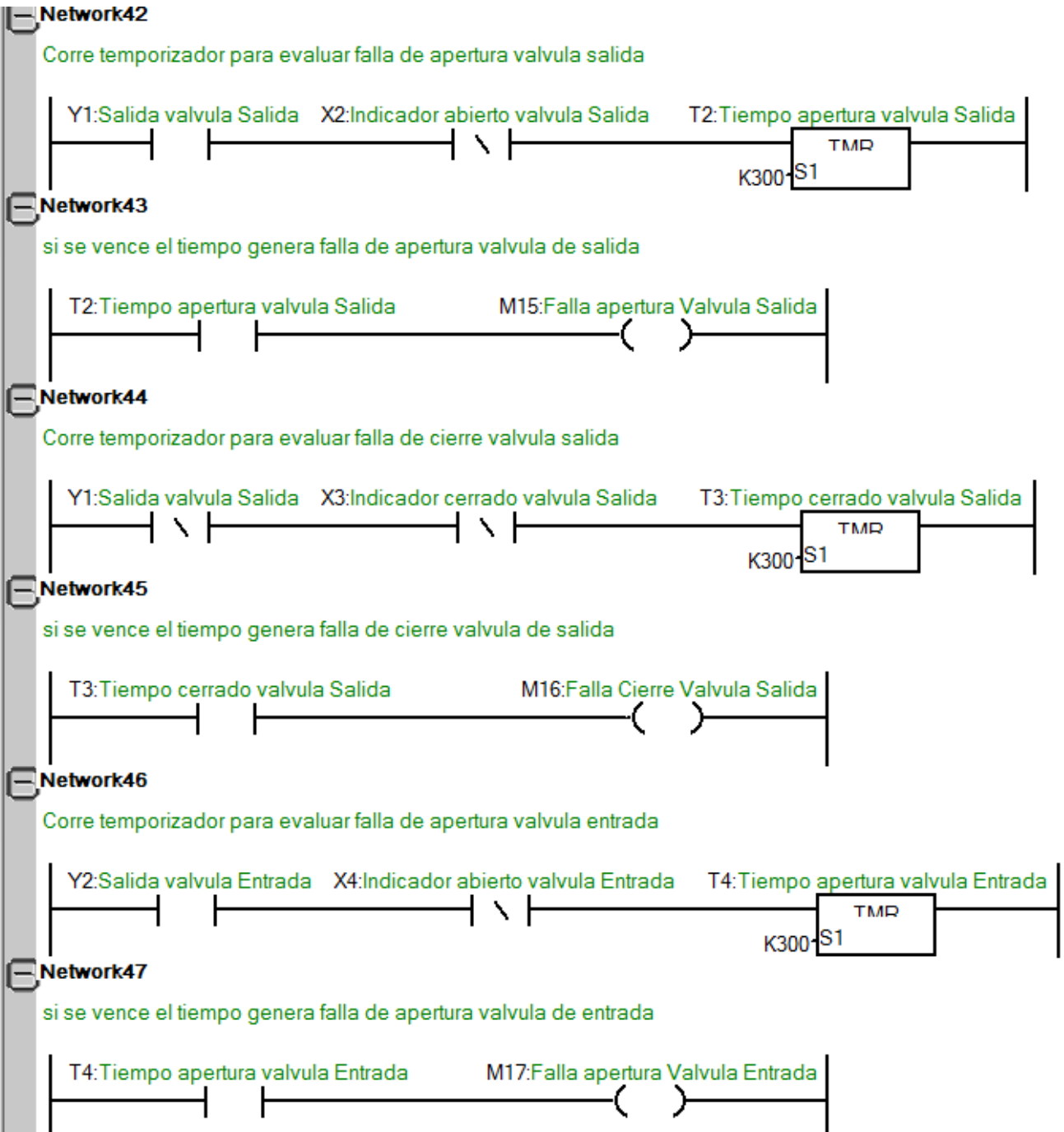


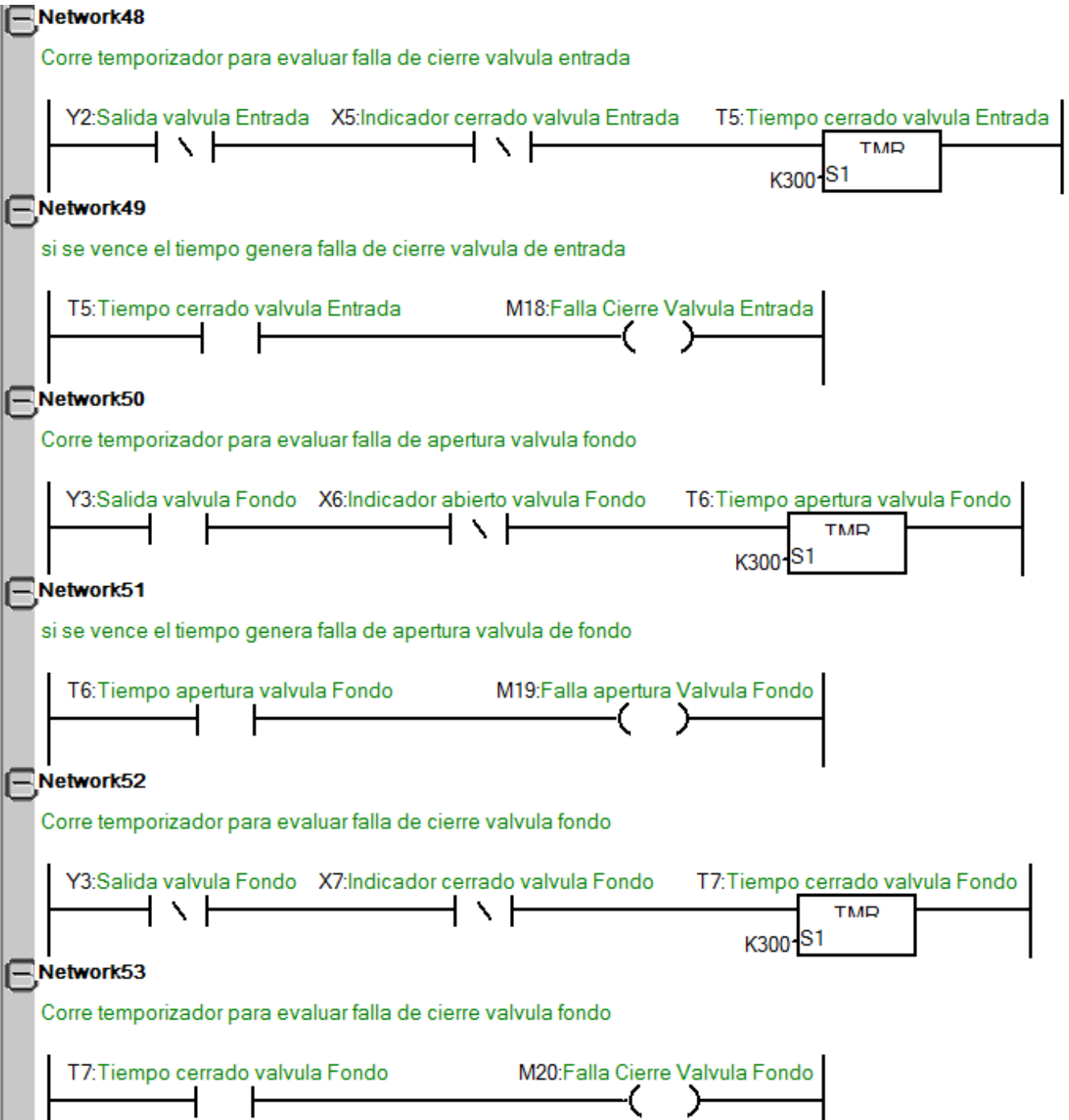
Network36

Asigna estado de apagado soplador



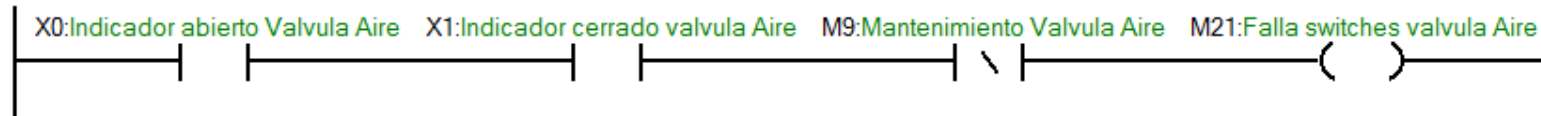






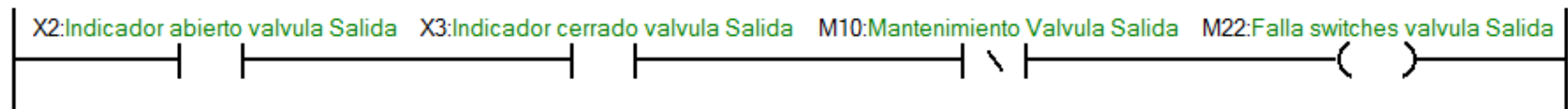
Network54

Si ambos switches estan activos genera tambien falla. Valvula Aire



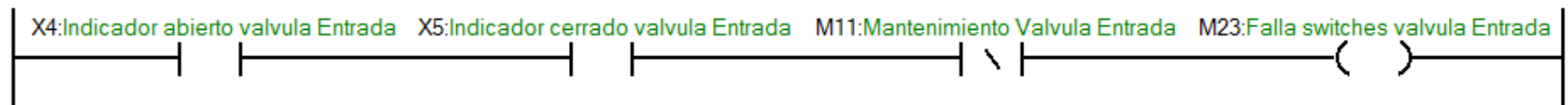
Network55

Si ambos switches estan activos genera tambien falla. Valvula Salida



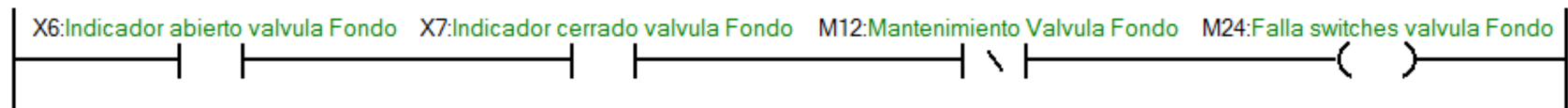
Network56

Si ambos switches estan activos genera tambien falla. Valvula Entrada



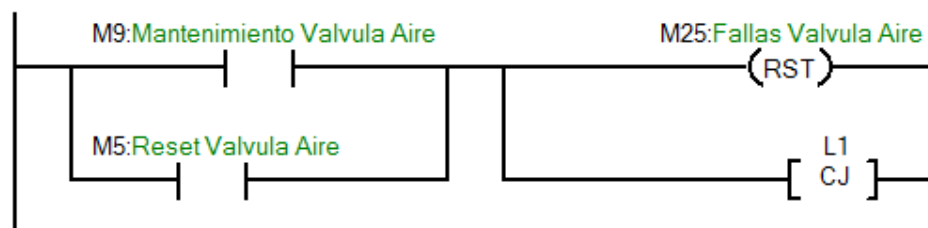
Network57

Si ambos switches estan activos genera tambien falla. Valvula Fondo



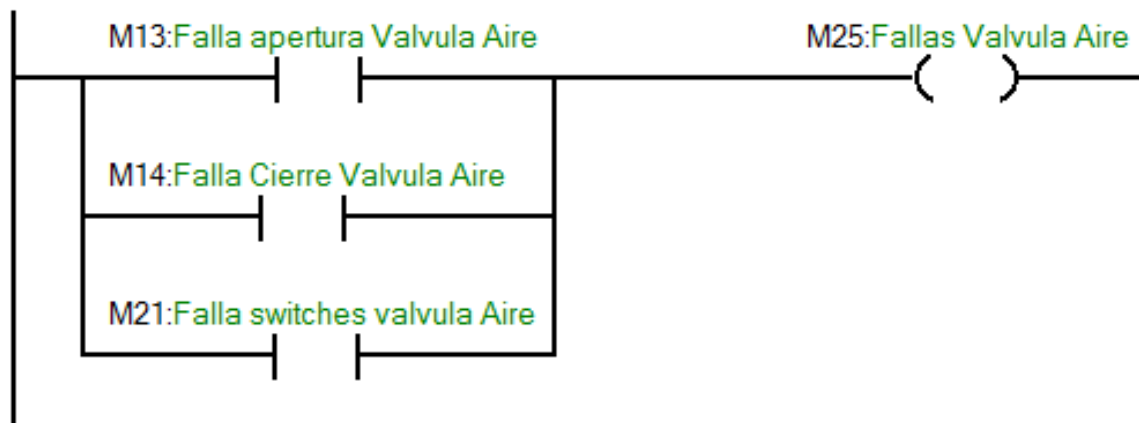
Network58

Si la valvula esta en mantenimiento o se envia comando de reset de falla, se elimina la alarma de falla. valvula de Aire y no evalua condiciones de falla



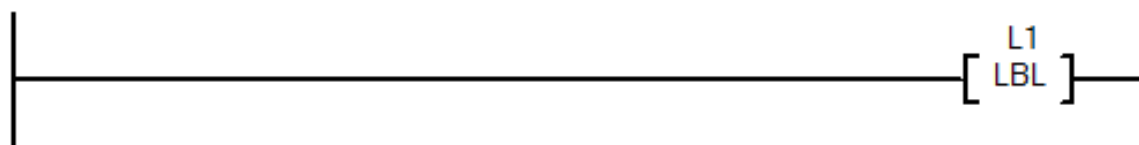
Network59

Si hay alguna falla de apertura, cierre o q ambos switches estan activos , genera alarma de falla. valvula de aire



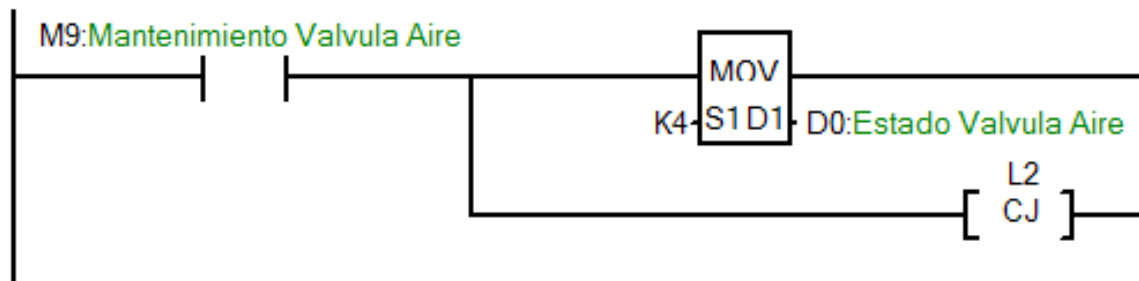
Network60

Label



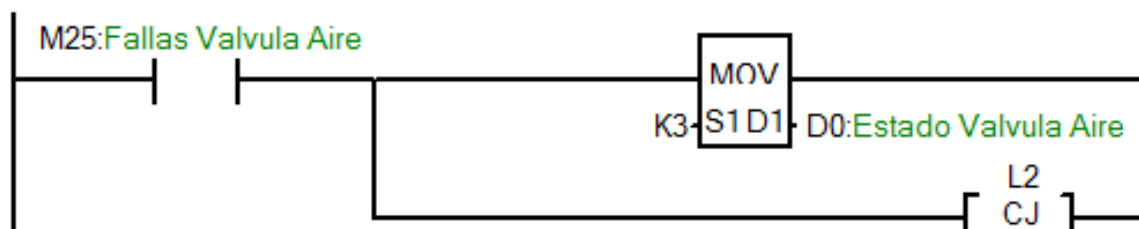
Network61

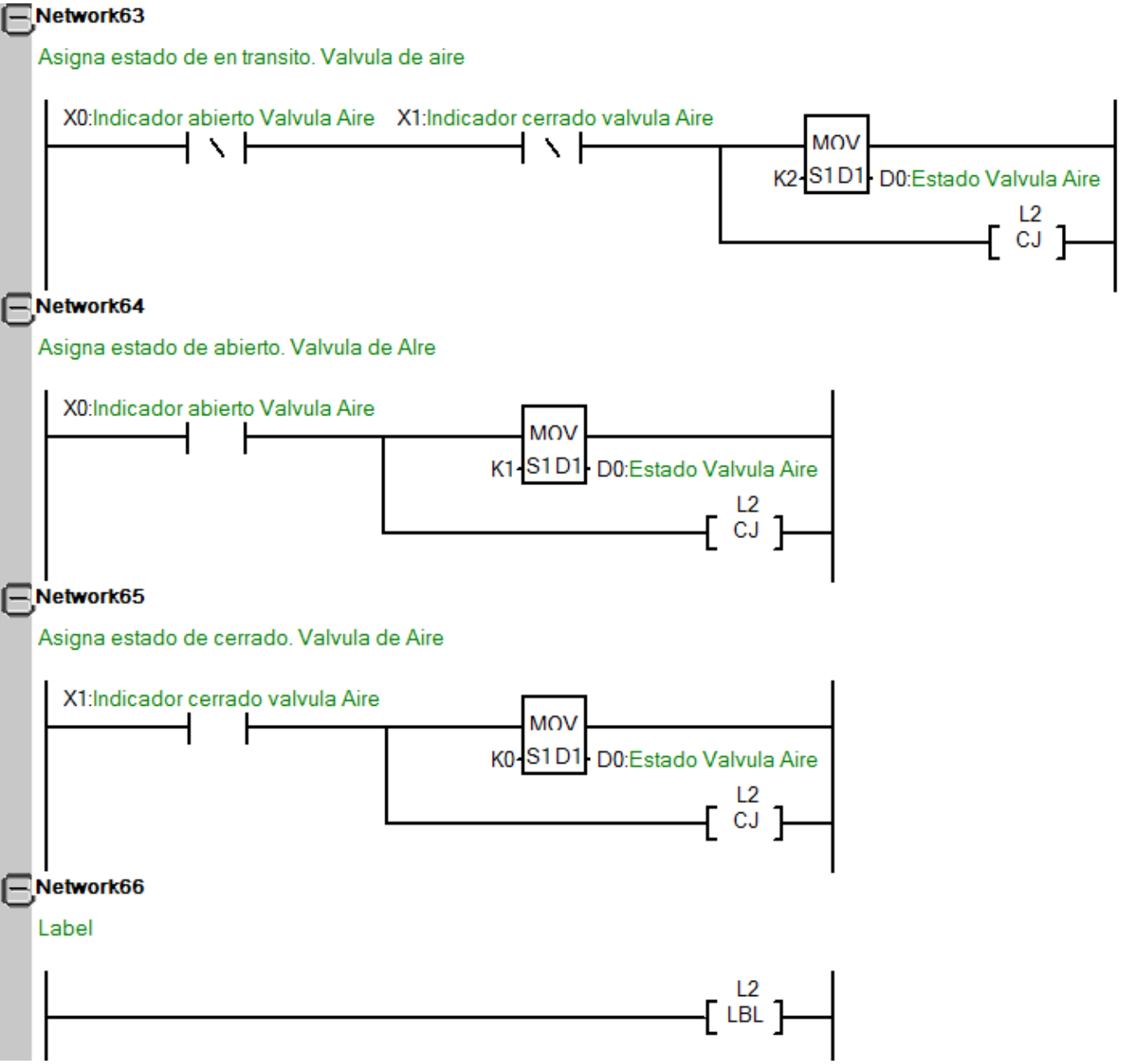
Asigna estado de mantenimiento. Valvula de aire



Network62

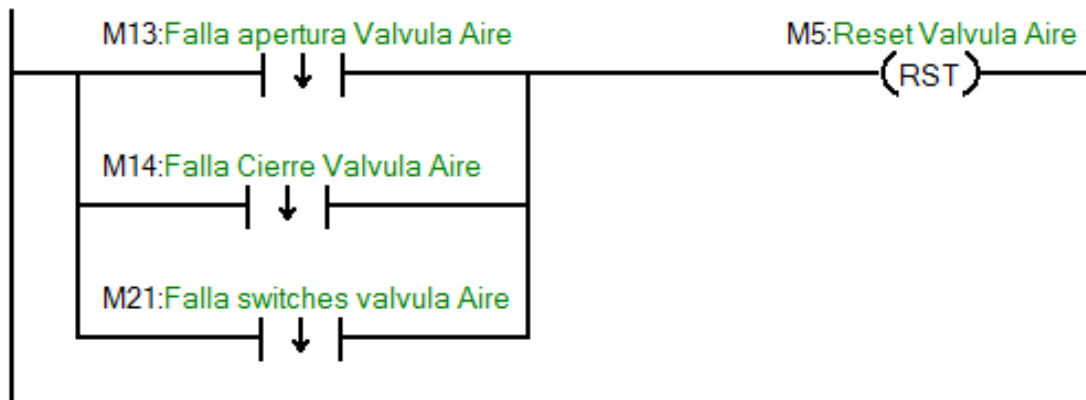
Asigna estado de falla. Valvula de Aire





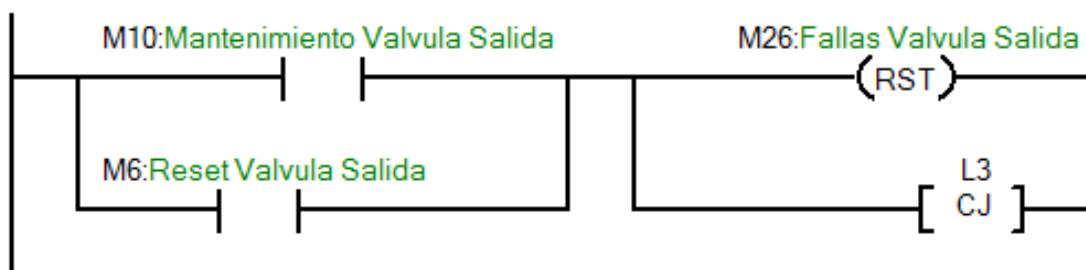
Network67

Si ya no hay fallas se resetea el comando de reset Valvula de Aire



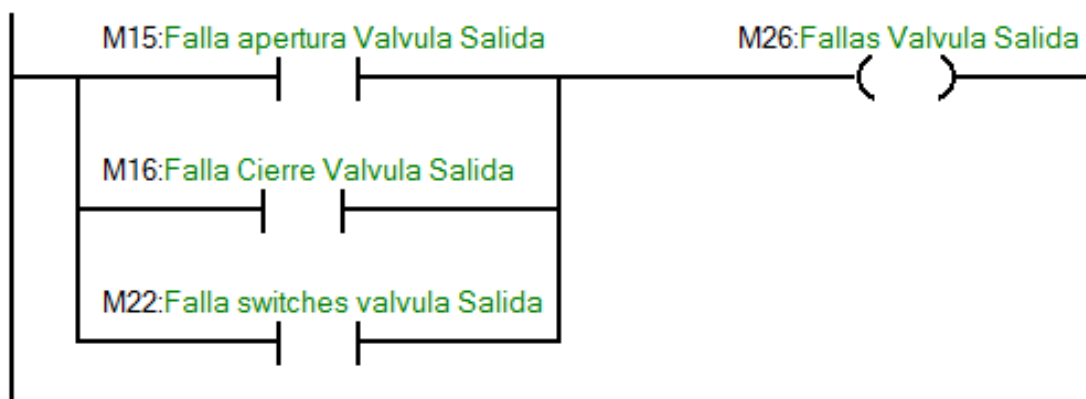
Network68

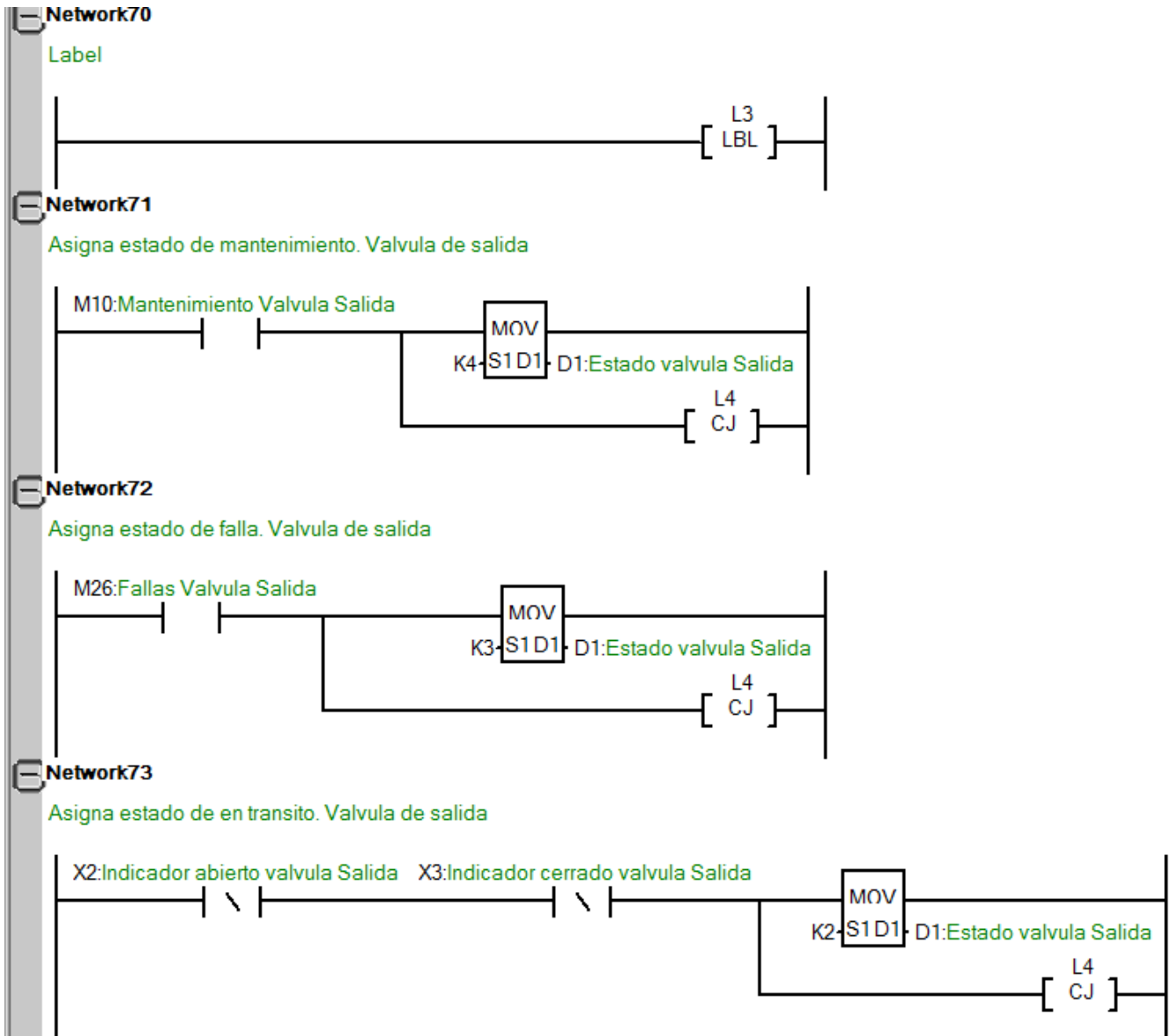
Si la valvula esta en mantenimiento o se envia comando de reset de falla, se elimina la alarma de falla. valvula de salida y no evalua condiciones de falla



Network69

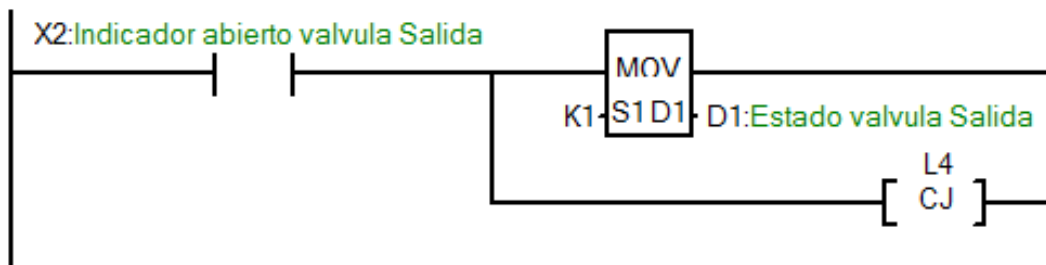
Si hay alguna falla de apertura, cierre o q ambos switches estan activos , genera alarma de falla. valvula de salida





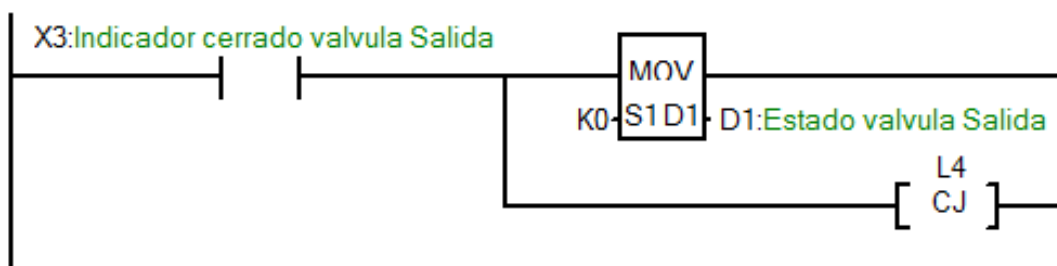
Network74

Asigna estado de abierto. Valvula de salida



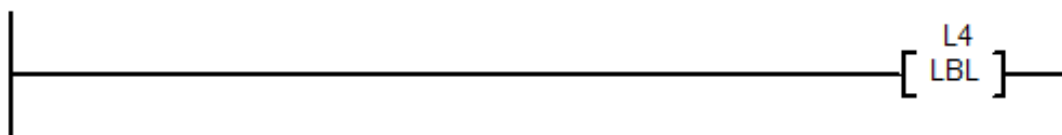
Network75

Asigna estado de cerrado. Valvula de salida



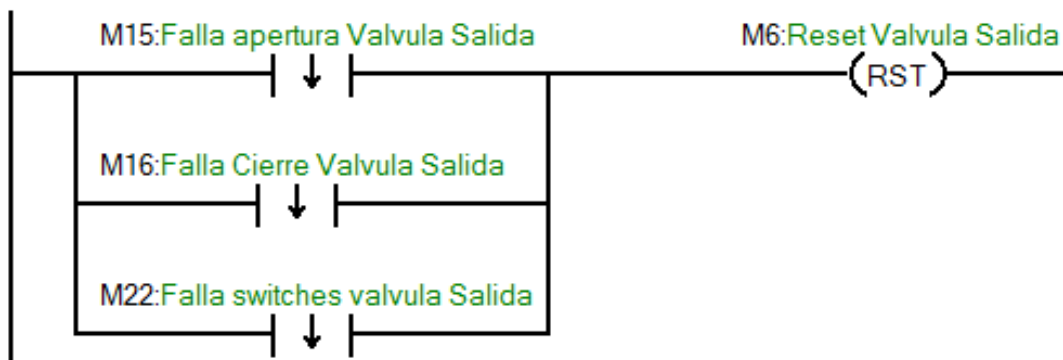
Network76

Label



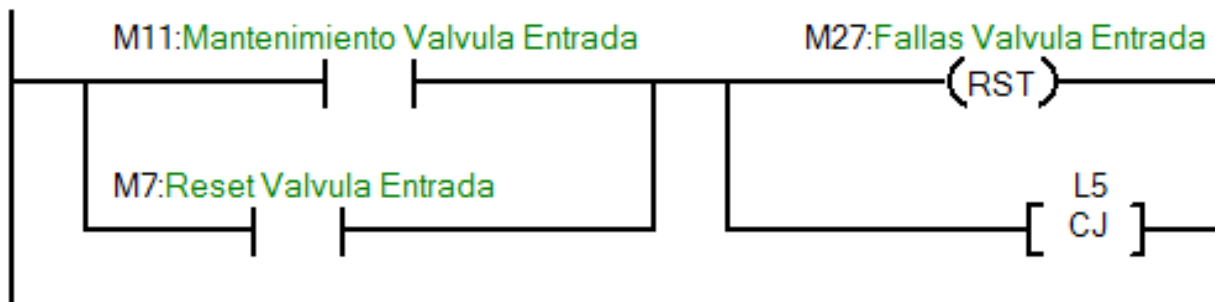
Network77

Si ya no hay fallas se resetea el comando de reset. Valvula de salida



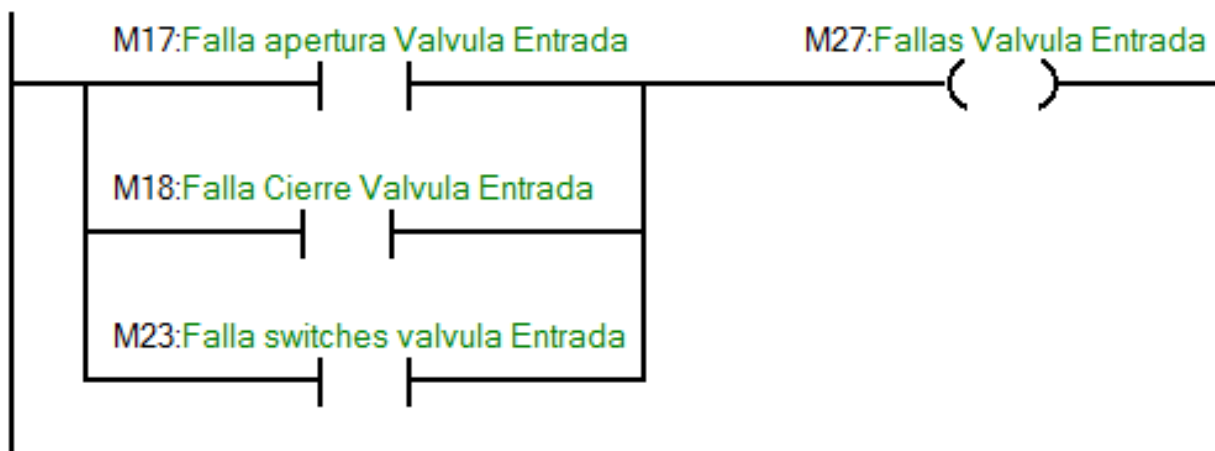
Network78

Si la valvula esta en mantenimiento o se envia comando de reset de falla, se elimina la alarma de falla. valvula de entrada y no evalua condiciones de falla



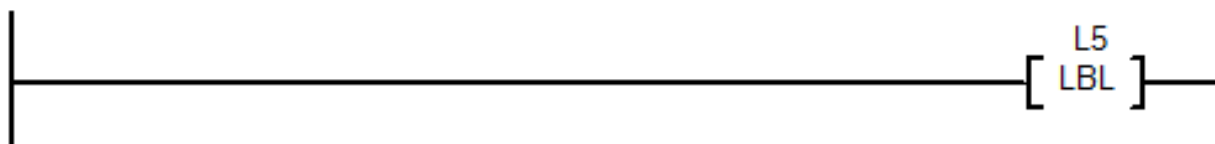
Network79

Si hay alguna falla de apertura, cierre o q ambos switches estan activos , genera alarma de falla. valvula de entrada



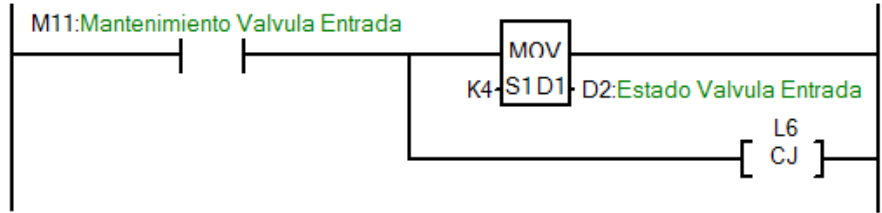
Network80

Label



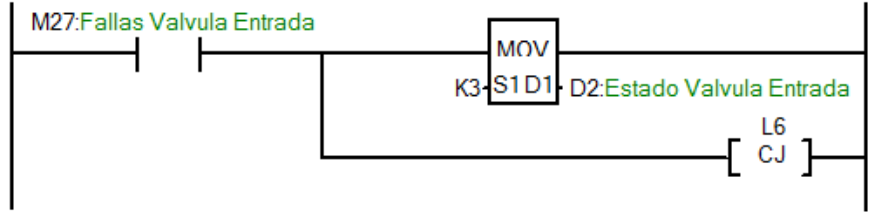
Network81

Asigna estado de mantenimiento. Valvula de entrada



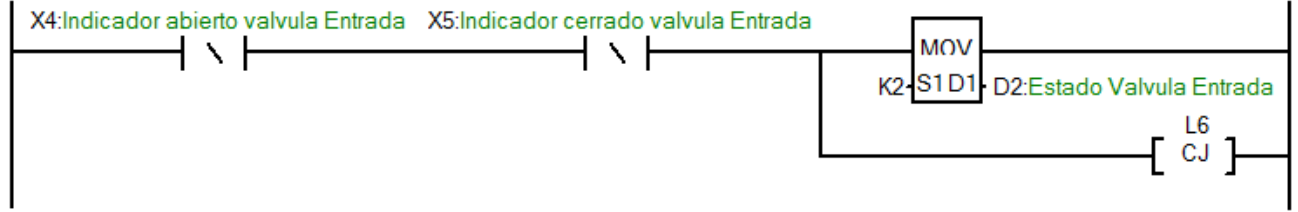
Network82

Asigna estado de falla. Valvula de entrada



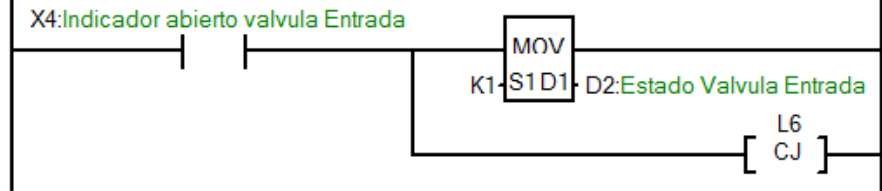
Network83

Asigna estado de en transito. Valvula de entrada



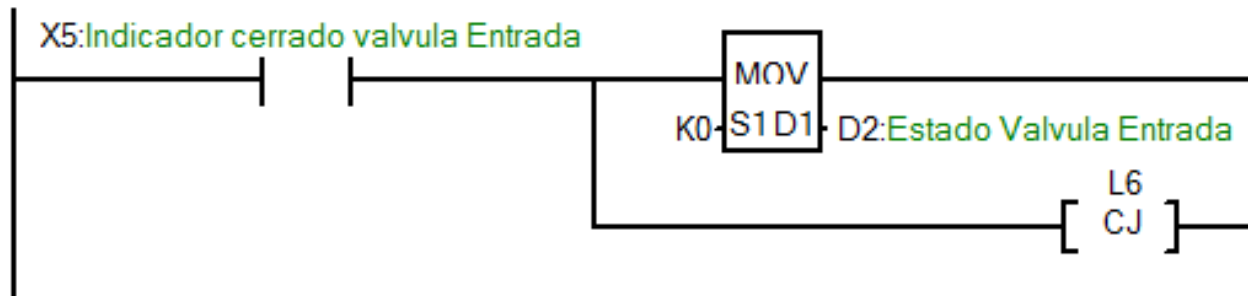
Network84

Asigna estado de abierto. Valvula de entrada



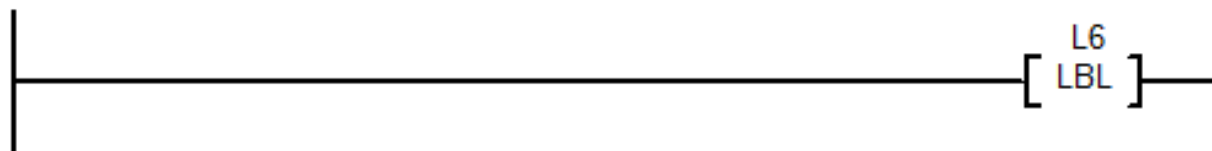
Network85

Asigna estado de cerrado. Valvula de entrada



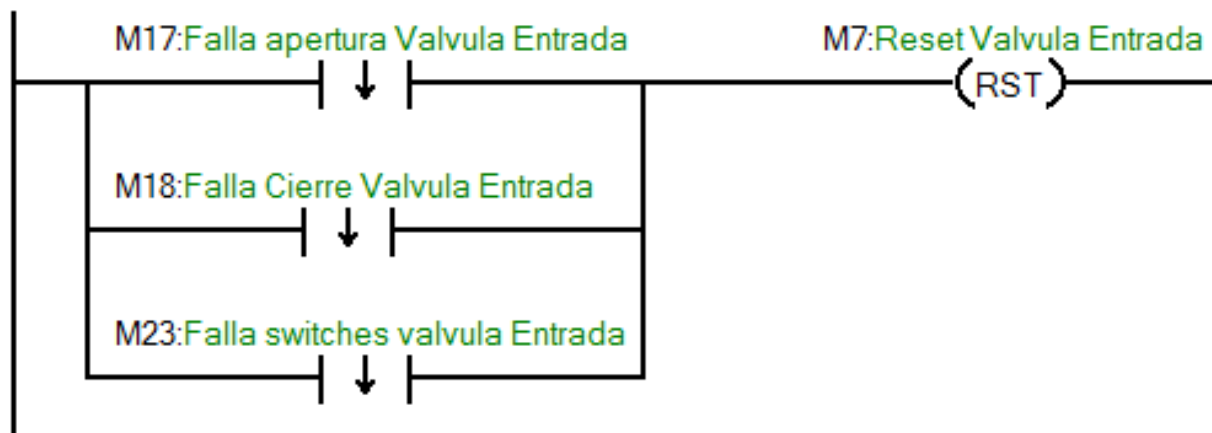
Network86

Label



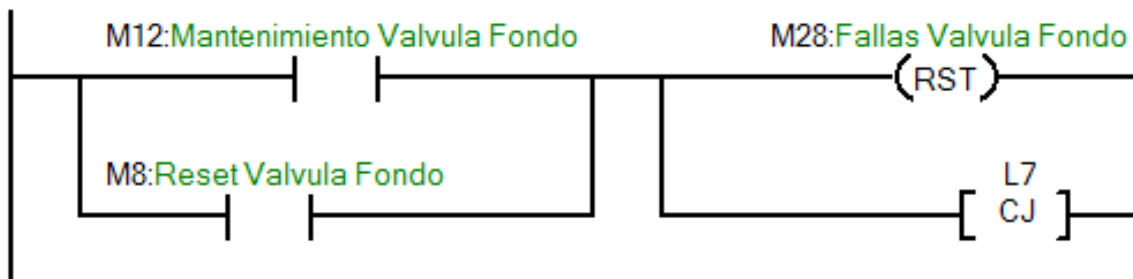
Network87

Si ya no hay fallas se resetea el comando de reset. Valvula de entrada



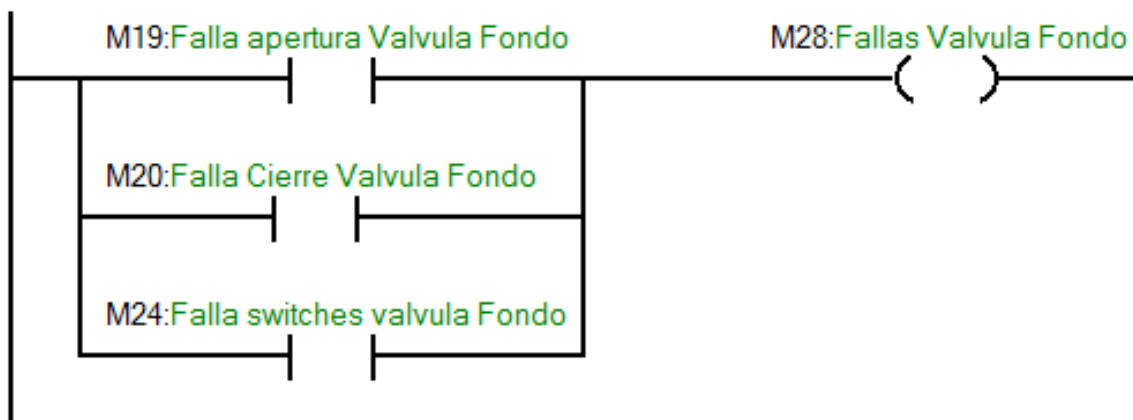
Network88

Si la valvula esta en mantenimiento o se envia comando de reset de falla, se elimina la alarma de falla. valvula de fondo y no evalua condiciones de falla



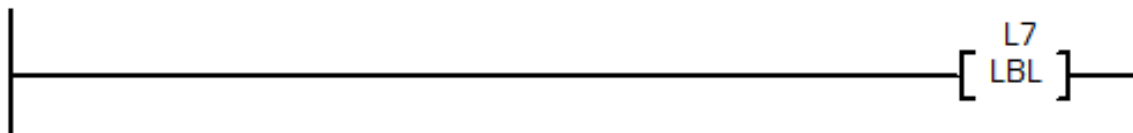
Network89

Si hay alguna falla de apertura, cierre o q ambos switches estan activos , genera alarma de falla. valvula de fondo



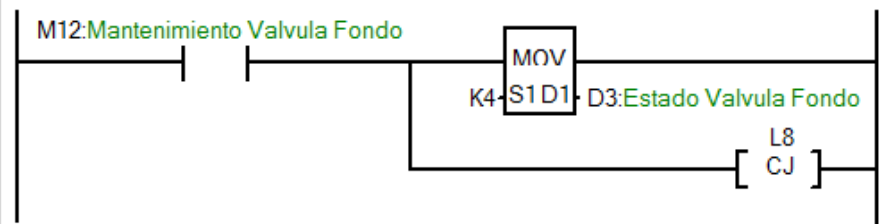
Network90

Label



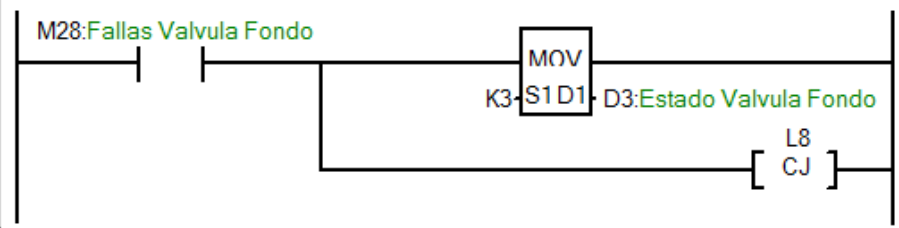
Network91

Asigna estado de mantenimiento. Valvula de fondo



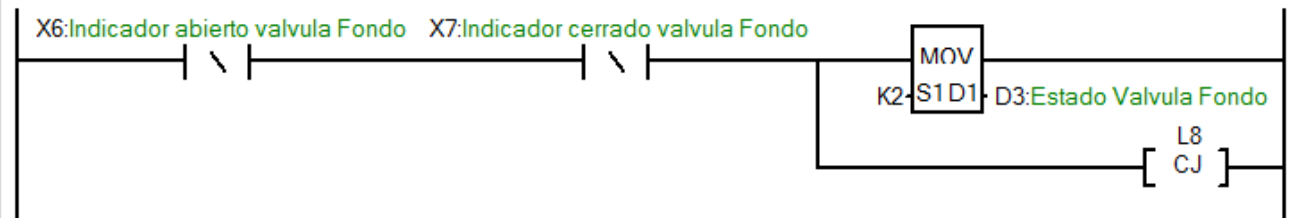
Network92

Asigna estado de falla. Valvula de fondo



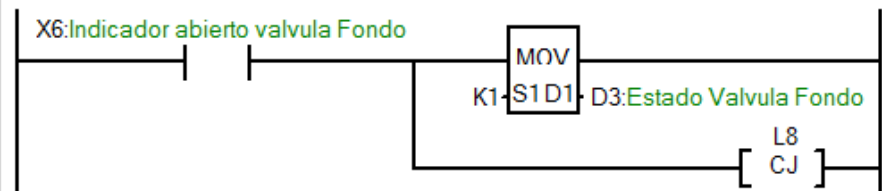
Network93

Asigna estado de en transito. Valvula de fondo



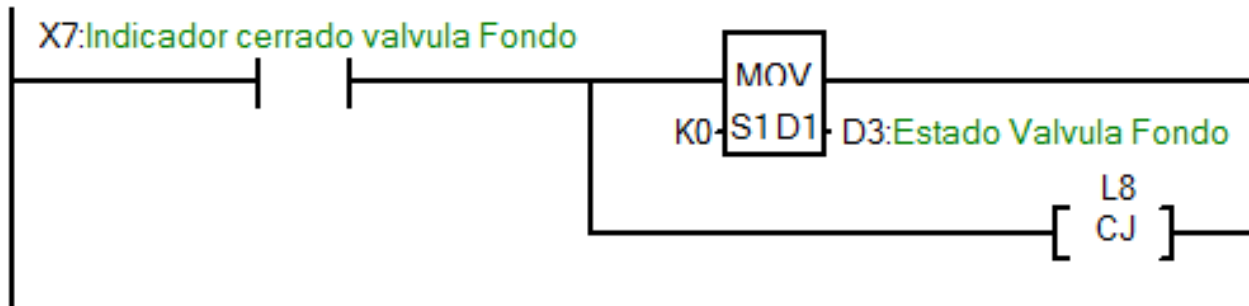
Network94

Asigna estado de abierto. Valvula de fondo



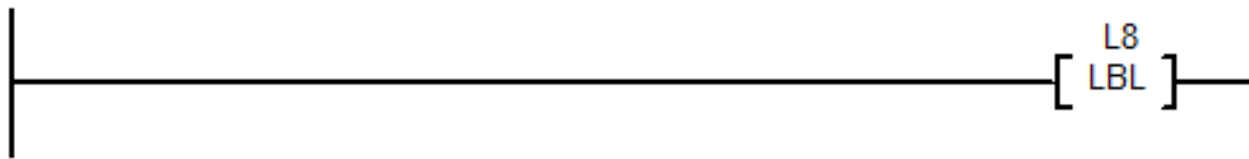
Network95

Asigna estado de cerrado. Valvula de fondo



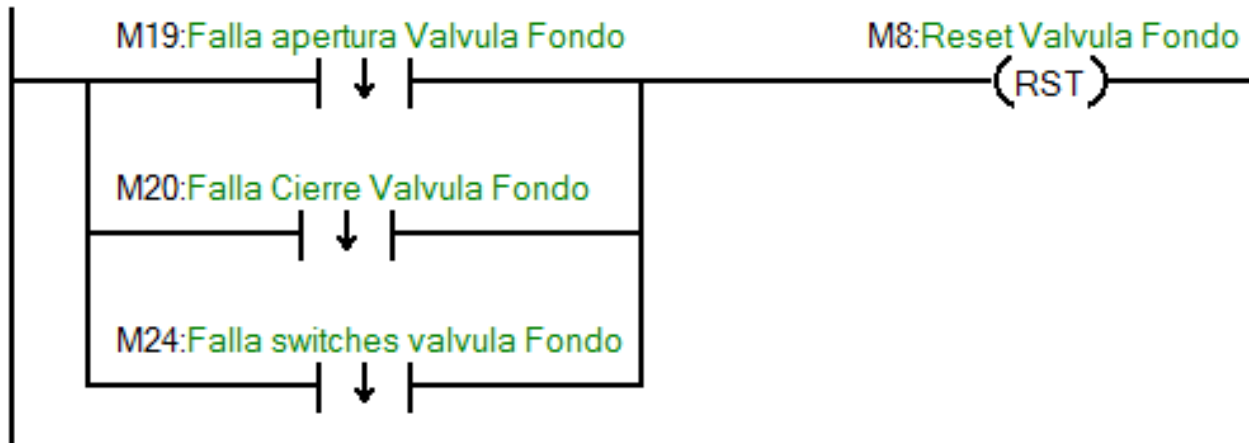
Network96

Label



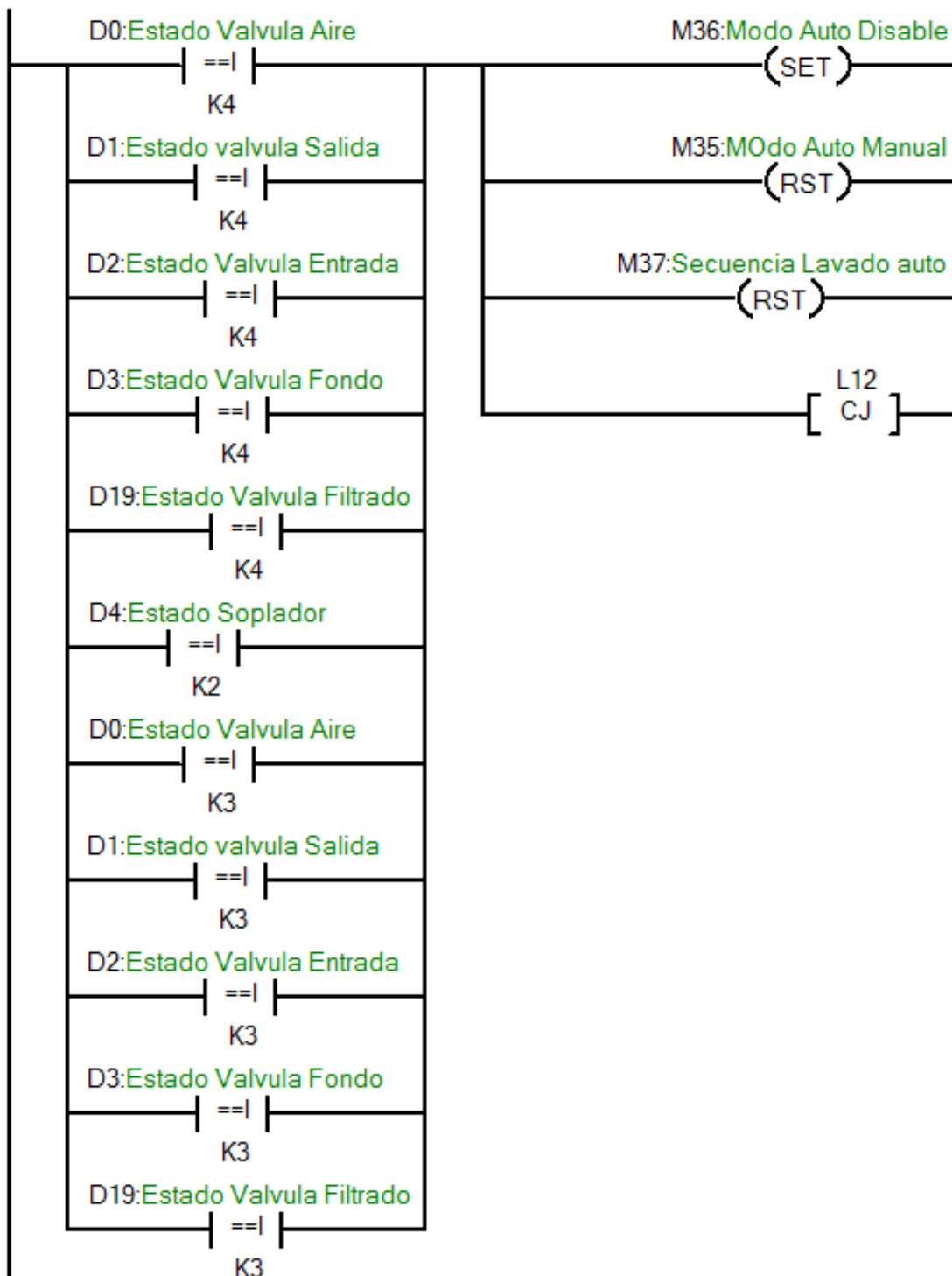
Network97

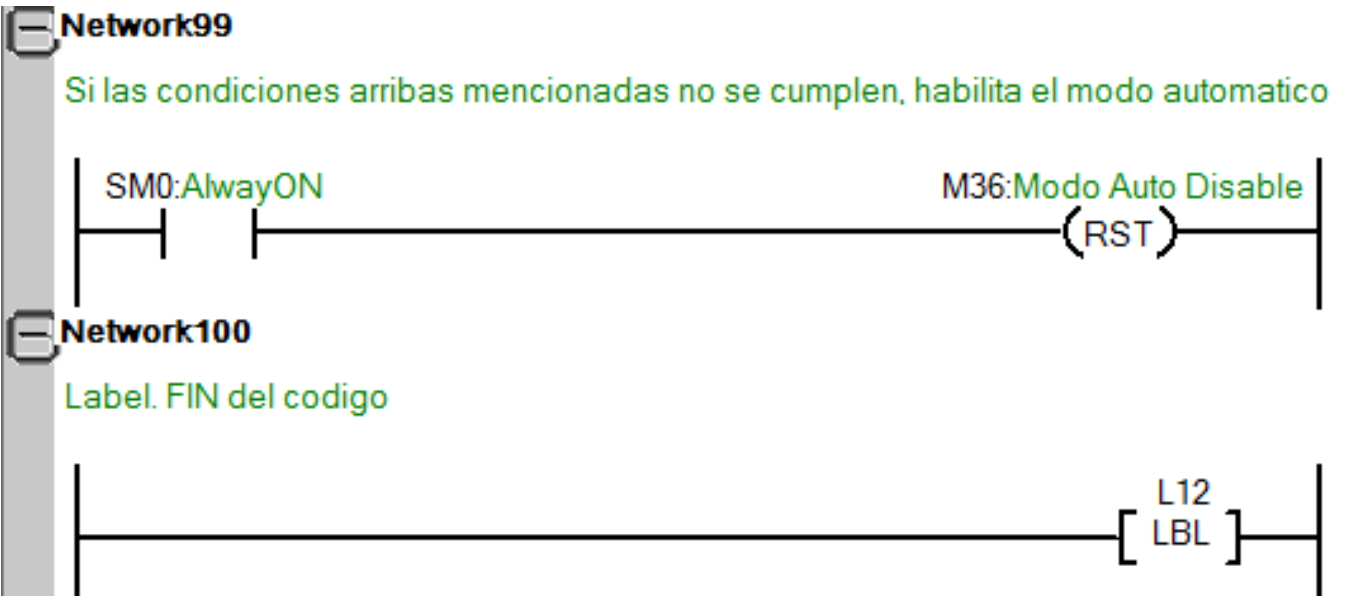
Si ya no hay fallas se resetea el comando de reset. Valvula de fondo



Network98

Si alguna valvula o soplador esta en mantenimiento o alguna valvula se encuentra en falla, deshabilita el modo automatico, pasa a modo manual yda por terminada la secuencia en modo automatico





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

Apéndice B

A continuación se incluyen algunas cotizaciones de los costos totales en mano de obra y elementos electromecánicos empleados en la propuesta de automatización para el sistema de lavado de filtros de agua potable.

Ítem	Descripción	Cant.	Precio Unitario	Precio Total
1	Suministro PLC marca Flexem Modelo FL2N-24MT-4HS: 24 Vdc, 12DI,12DO puerto RS232, RS485. Módulo de expansión Análogo modelo FL2N-4AD-4DA 4AI, 4 AO	1	\$ 670.000	\$ 670.000
2	Suministro HMI Marca Flexem F007. Capacitivo Multi-Touch. 7" TFT 16:9 1024*600,IPS Full view,24-bit color, USB HOST*1,USB SLAVE*1, 4 separate serial Ports, Ethernet, 24VDC power.	1	\$ 700.000	\$ 700.000
3	Consola de Operación. Incluye:	1	\$ 3.700.000	\$ 3.700.000
	- Suministro Tablero en material metal cromado.			
	- Suministro de accesorios eléctricos: Bornas, Fuente, Breakers, Cableado, Protecciones.			
	- Mano de obra de conexionado de tablero eléctrico			
4	Programación PLC. Incluye:	1	\$ 2.100.000	\$ 2.100.000
	- Configuración puerto de comunicación.			
	- Desarrollo lógicas de operación en modo manual y automático.			
	- Asignación de entradas y salidas.			
	- Pruebas FAT, pruebas SAT y puesta en marcha.			
	- Documentación.			
5	Programación HMI. Incluye:	1	\$ 2.100.000	\$ 2.100.000
	- Configuración Puerto de Comunicación			
	- Desarrollo de despliegues de operación.			
	- Configuración alarmas, eventos.			
	- Creación de usuarios			
	- Configuración de tendencias e históricos			
	- Pruebas FAT, SAT y puesta en marcha.			
	- Documentación.			
			Subtotal SIN IVA	\$ 9.270.000
			IVA 19%	\$ 1.761.300
			TOTAL	\$ 11.031.300

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



Técnicas Eléctricas Electrónicas de Antioquia sa.

Calle 6 Sur # 51 - 41 - Conm. 265 35 00 - 362 17 17 - Fax 265 35 00
 Apartado Aéreo 95197 - Medellín - Colombia
 E-mail: diegoe@epm.net.co
 NIT: 890.937.525-6

Medellín, Julio 10 de 2017	COTIZACIÓN	1934
-----------------------------------	-------------------	-------------

CLIENTE:	Esneider Salazar		
Contacto			
Dirección	cra 58 57-39 apto 201		
Teléfono	310 392 92 50		
Fax		Asesor Ccial:	MIGUEL MUÑOZ
E-mail:	esr1129@hotmail.com	Cel.	3146832152
Ciudad:		E-mail:	miguel.munoz@tecnelec.com.co
Proyecto:			

Ítem	DESCRIPCIÓN	Unid	Ctd	Valor Unitario	Valor Total
	actuador electrico con selenoide qtres bay	2		1200usd	\$ 2.400
	actuador electrico con selenoide batr bray	2		967 usd	\$ 1.934
	actuador electrico con selenoide atrs bray	1		550usd	\$ 550
	SUBTOTAL				\$ 4.884
	IVA 19%				927.96
	TOTAL				5811.96

CONDICIONES COMERCIALES	
Forma de Pago:	Contado
Vigencia cotización:	30 Días
Tiempo Entrega:	10 Días Hábiles
NOTA:	El montaje se realiza en Horario Hábil y en el momento en que la obra tenga todas las canalizaciones totalmente terminadas. El cable para la instalación se liquida de acuerdo al real instalado. En Caso de que la Obra Requiera Alquiler de Equipos de Construcción para dicha Instalación se cotizaran por aparte.
Garantía:	1 Año por defectos de fábrica

TECNELEC DE ANTIOQUIA S.A. Lo mejor en Electrónica Industrial en Colombia	
Atentamente,	MIGUEL MUÑOZ
	Aceptado,

Favor devolvemos el original firmado y sellado en señal de aceptación
 Calle 6 Sur # 51 - 41 - Conmutador: 265-35-00, 362-17-17 - Fax: 265-35-00
 Apartado Aéreo 95197 - Medellín - Colombia
 E-mail: diegoe@epm.net.co

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



Técnicas Eléctricas Electrónicas de Antioquia sa.

Calle 6 Sur # 51 - 41 - Conn. 265 35 00 - 362 17 17 - Fax 265 35 00
 Apartado Aéreo 95197 - Medellín - Colombia
 E-mail: diegoe@epm.net.co
 NIT: 890.937.525-6

Medellín, Julio 10 de 2017	COTIZACIÓN	19836
-----------------------------------	-------------------	--------------

CLIENTE:	Esneider Salazar		
Contacto			
Dirección	cra 58 57-39 apto 201		
Teléfono	310 392 92 50		
Fax		Asesor Ccial:	MIGUEL MUÑOZ
E-mail:	esr1129@hotmail.com	Cel.	3146832152
Ciudad:		E-mail:	miguel.munoz@tecnelec.com.co
Proyecto:			


Ítem	DESCRIPCIÓN	Unid	Ctd	Valor Unitario	Valor Total
	valvula mariposa de 8" bray	2		\$455usd	\$ 910
	valvula mariposa de 4" bray	2		\$128usd	\$ 256
	valvula mariposa de 2" bray	1		\$107usd	\$ 107
	SUBTOTAL				\$ 1.273
	IVA 19%				241.87
	TOTAL				1574.87

CONDICIONES COMERCIALES	
Forma de Pago:	Contado
Vigencia cotización:	30 Días
Tiempo Entrega:	10 Días Hábiles
NOTA:	El montaje se realiza en Horario Hábil y en el momento en que la obra tenga todas las canalizaciones totalmente terminadas. En Caso de que la Obra Requiera Alquiler de Equipos de Construcción para dicha Instalación se cotizaran por aparte.
Garantía:	1 Año por defectos de fábrica.

	TECNELEC DE ANTIOQUIA S.A. Lo mejor en Electrónica Industrial en Colombia	
Atentamente, _____	MIGUEL MUÑOZ	Acceptado, _____

Favor devolvemos el original firmado y sellado en señal de aceptación
 Calle 6 Sur # 51 - 41 - Conmutador: 265-35-00, 362-17-17 - Fax: 265-35-00
 Apartado Aéreo 95197 - Medellín - Colombia
 F-mail: diegoe@epm.net.co

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

 PETROS INGENIERIA S.A.S.							
BOGOTA, 14 de Julio de 2017							
Concepto:							
De acuerdo a su amable solicitud presentamos cotización de los siguientes productos y/o Servicios:							
CLIENTE	Esneider Salazar		CONTACTO	Esneider Salazar		Cotizacion No.	
DIRECCION	Carrera 9 # 7 – 25, Itagüí		TELEFONO	310 3929250		364	
CELULAR	310 3929250	E-MAIL	esr1129@gmail.com				
ITEM	DESCRIPCION			UN	CANT	VR. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Suministro PLC marca Flexem Modelo FL2N-24MT-4HS: 24 Vdc, 12DI,12DO puerto RS232, RS485. Módulo de expansión Análogo modelo FL2N-4AD-4DA 4AI, 4 AO			Un	1	\$ 670.000,00	\$ 670.000,00
2	Suministro HMI Marca Flexem F007. Capacitivo Multi-Touch. 7" TFT 16:9 1024*600,IPS Full view,24-bit color, USB HOST*1,USB SLAVE*1, 4 separtate serial Ports, Ethernet, 24VDC power.			Un	1	\$ 700.000,00	\$ 700.000,00
3	Consola de Operación. Incluye:			Un	1	\$ 3.700.000,00	\$ 3.700.000,00
	- Suministro Tablero en material metal cromado.						
	- Suministro de accesorios eléctricos: Bornas, Fuente, Breakers, Cableado,						
	- Mano de obra de conexionado de tablero eléctrico						
4	Programación PLC. Incluye:			Un	1	\$ 2.100.000,00	\$ 2.100.000,00
	- Configuración puerto de comunicación.						
	- Desarrollo lógicas de operación en modo manual y automático.						
	- Asignación de entradas y salidas.						
	- Pruebas FAT, pruebas SAT y puesta en marcha.						
- Documentación.							
5	Programación HMI. Incluye:			Un	1	\$ 2.100.000,00	\$ 2.100.000,00
	- Configuración Puerto de Comunicación						
	- Desarrollo de despliegues de operación.						
	- Configuración alarmas, eventos.						
	- Creación de usuarios						
	- Configuración de tendencias e históricos						
- Pruebas FAT, SAT y puesta en marcha.							
- Documentación.							
OBSERVACIONES:						Subtotal	\$ 9.270.000,00
						Descuento	\$ 0,00
						Valor IVA (19%)	\$ 1.761.300,00
						Total Cotización	\$ 11.031.300,00
CONDICIONES COMERCIALES							
VALIDEZ:	30 Días a partir de la fecha de esta oferta.						
FECHA DE EJECUCION:	Entrega equipos en 6 semanas.						
PRECIO EN:	Pesos colombianos (COP).						
TERMINOS DE PAGOS:	Anticipo del 50% y entrega final 50%.						
DOCUMENTOS ENTREGABLES:							
Favor emitir su orden de compra a favor de PETROS INGENIERIA S.A.S							
Atentamente							
Luis Florez						112	
Ingeniero Proyectos PETROS INGENIERIA S.A.S.							

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

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

FIRMA ESTUDIANTES Esneider Sulazar R.

Daniel Seguro

FIRMA ASESOR Manuel A. Osorio A.

Se envia para 2da Evaluación por parte del Jueves Septiembre 26 de 2017 13:30 FECHA ENTREGA: 26/09/17

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: _____

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

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: _____